



## Risikofaktoren für Rückenschmerz im Volleyball

---

TU München Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften  
Lehrstuhl für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

Thore-Björn Haag

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende(r): Prof. Dr. J. Hermsdörfer

Prüfer: Prof. Dr. M. Lames  
Prof. Dr. H. M. Mayer

Diese Dissertation wurde am 13.06.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften am 21.10.2016 angenommen.





## Vorwort

Die Anfertigung dieser Dissertationsschrift erfolgte im Rahmen des Projekts zur Erfassung der Risikofaktoren von Rückenschmerzen im Hallenvolleyball. Im Kontext dieses Forschungsvorhabens wurden zusätzliche Abschlussarbeiten verfasst, deren Stellenwert und Anteil im Folgenden klar abgegrenzt werden soll, um eine differenzierte Betrachtung und Bewertung der erbrachten Leistungen zu ermöglichen (das Vorwort ist in allen Arbeiten identisch):

Thore-Björn Haag initiierte, formulierte und leitete das Projekt. Er ist alleinig verantwortlich für die Planung und Umsetzung der Studie, den Abschluss und die Kommunikation mit Kooperationspartnern, die Auswahl der Messmethoden, deren Beschaffung sowie ausführliche Anleitung des Messpersonals, die Akquise der Probanden, die statistische Auswertung der Daten sowie die Erstellung der Athleten-Feedbacks. Ebenso ist Herr Haag verantwortlich für die Erstellung und Formulierung des verwendeten Fragebogens, die Analyse sämtlicher verwendeter Daten, die Datenverarbeitung und -bereinigung, die Beschaffung eines Mietwagens sowie den Transport der Messgeräte und des Personals. Zudem oblag die Finanzierung des Forschungsvorhabens alleinig seinem privaten Budget.

Judith Kirmeier fertigte ihre medizinische Dissertation (Dr. med.) an der LMU im Rahmen der Analyse von Verletzungsmustern im Volleyball an. Hierfür half Sie bei der Probandenakquise, unterstützte bei der Routenplanung und führte bei der Untersuchung mit jedem Probanden ein Anamnese-Gespräch. Die von ihr erhobenen Daten werden in der Gesamtschrift zu Risikofaktoren im Rückenschmerz jedoch keine besondere Berücksichtigung finden, da sämtliche relevante Parameter im eigens erstellten Online-Fragebogen abgeprüft werden. Zusätzlich ergänzte sie ihre Daten um Web-erfasste Verletzungsmuster, um Korrelate zu berechnen. Eine statistische Auswertung erfolgte mit Unterstützung von Herrn Haag.

Lena Himmelreich unterstützte im Rahmen ihrer Bachelorarbeit (Studiengang: Wissenschaftliche Grundlagen des Sports, Betreuung: Dr. T. Brauner) die Akquise der Probanden, die Planung der Route sowie die Durchführung der Messungen mit der DIERS electronics Lichtrasterstereographie. Der Fokus ihrer Arbeit liegt auf dem Vergleich der Wirbelsäulenform zwischen 1. und 2. Ligisten anhand der erhobenen Parameter. Sie unterstützte zudem aktiv den Transport der Messinstrumente zu den Erhebungsorten.

Johannes Kessler fertigte ebenfalls eine Bachelor Thesis mit Hilfe dieses Projekts, unter der Betreuung von Prof. M. Lames im Studiengang wissenschaftliche Grundlagen des Sports an. Er untersuchte die physischen Unterschiede zwischen 1. und 2. Ligisten anhand der maximalen Sprungleistungsfähigkeit, gemessen durch die Sprungkraftdiagnostik mittels einer KISTLER Kraftmessplatte. Hierfür unterstützte er ebenfalls die Akquise der Probanden, plante die Fahrtstrecken, unterstützte den Transport und führte die notwendigen Messungen durch.

## Inhalt

Zusammenfassung .....	5
Abstract .....	5
1. Einleitung und Problemstellung .....	7
1.1 Motivation der Untersuchung .....	8
1.2 Theoretische Einbettung in den gesamtwissenschaftlichen Kontext .....	11
1.2.1 Verletzungen und Prävention im Spitzensport .....	13
1.2.2 Verletzungsprävention als Thema der Trainingswissenschaft .....	18
1.3 Gliederung der Arbeit .....	20
2. Forschungsstand .....	21
2.1 Der Aufbau der Wirbelsäule und ihre Schwachstellen .....	21
2.2 Der Rücken im Fokus von Sportmedizin und Trainingswissenschaft .....	29
2.3 Begriffsbestimmung (Rücken-)Schmerz .....	30
2.4 Begriffsbestimmung posturale Kontrolle .....	33
2.5 Begriffsbestimmung Risikofaktoren .....	38
2.6 Forschungsstand im volleyballspezifischen Kontext .....	40
2.6.1 Sportmedizinische Untersuchungen im Volleyball .....	40
2.6.2 Potentielle morphologische Mechanismen für Rückenbeschwerden im Volleyball Sport .....	46
2.6.3 Volleyball inhärente Prädiktoren für Rückenschmerz .....	50
2.6.4 Präventive Maßnahmen volleyballspezifischer Verletzungen .....	61
2.7 Hypothesen .....	63
3 Methoden .....	66
3.1 Studiendesign .....	67
3.2 Messablauf .....	67
3.3 Kollektiv .....	69
3.4 Operationalisierung der Prädiktoren .....	72
3.5 Inhalte des Fragebogens .....	74
3.6 Erhebung der Körperlängen und –Volumina .....	77
3.7 Messung der Stabilisationsfähigkeit .....	83
3.8 Erfassung der Sprungleistung .....	86
3.9 Lichtrasterstereographie .....	87
3.10 Pedobarographie .....	92

3.11	Ärztliche Anamnese .....	93
3.12	Datenverarbeitung.....	93
3.13	Feedback Reports .....	96
3.14	Statistische Methoden der Untersuchung .....	98
3.14.1	Gütekriterien der Untersuchung .....	98
3.14.2	Objektivität.....	99
3.14.3	Reliabilität.....	99
3.14.4	Fehlerabschätzung.....	100
3.14.5	Validität.....	107
3.14.6	Überprüfung der statistischen Voraussetzungen .....	109
3.14.7	Logistische Regressionsanalyse.....	112
3.14.8	Darstellung multivariater Abhängigkeiten.....	116
4	Ergebnisse.....	119
4.1	Verletzungen im Volleyball .....	119
4.2	Typisierung von Rückenschmerzen innerhalb der Kohorte .....	120
4.3	Psychische Einflussfaktoren.....	126
4.4	Anthropometrische Parameter .....	127
4.5	Biomechanische Parameter .....	133
4.5.1	Stabilisationsfähigkeit.....	133
4.5.2	Tests zur Sprungfähigkeit.....	134
4.5.3	Training des Rumpfes .....	137
4.6	Wirbelsäulenformkennziffern.....	138
4.7	Arbeitsbedingte Belastung und Erholung .....	141
4.8	Anmerkungen zur inferenzstatistischen Verarbeitung der Ergebnisse .....	142
4.8.1	Partielle Korrelationen .....	144
4.8.2	Entwicklung des Nomogramms.....	150
5	Diskussion .....	153
5.1	Kritische Betrachtung der Methoden .....	153
5.2	Diskussion der Ergebnisse .....	156
5.2.1	Posturale Kontrolle .....	162
5.2.2	Sprungkraft als leistungsbestimmendes Kriterium im Volleyball.....	163
5.2.3	Die Wirbelsäulenform als Prädiktor für Rückenbeschwerden .....	164
5.2.4	Der Einfluss additiver, trainingsexterner Rumpfkraftübungen.....	174

5.2.5	Beurteilung des Nomogramms.....	174
5.2.6	Integration von Interventionsmaßnahmen in den Volleyball Spitzenbereich.....	175
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	182
7	Abkürzungsverzeichnis .....	186
8	Tabellenverzeichnis.....	188
9	Abbildungsverzeichnis.....	189
10	Literaturverzeichnis .....	191
	Anhang .....	210

## Zusammenfassung

Die Zielsetzung dieser Arbeit besteht in der Identifikation von Risikofaktoren für die Entstehung von Rückenschmerzen im Hochleistungssport Volleyball. Um dies zu bewerkstelligen, bedient sich die vorliegende Arbeit eines multidisziplinären, quasi-experimentellen Ansatzes, welcher sich Erkenntnisse der Anatomie, Psychologie und Physiologie des Menschen zu Nutze macht, um potenzielle Schwachstellen des Rückens zu definieren und das Konstrukt ‚Rückenschmerz‘ einzuengen. Ergänzend werden mittels trainingswissenschaftlicher bzw. spielstrukturanalytischer Recherchen volleyballinhärente Risikofaktoren identifiziert. Anhand einer Stichprobe von 422 Bundesligaathleten werden über biomechanische Messverfahren und Erhebungsinstrumente des psycho-sozialen Versorgungskontextes jeweils sowohl anthropometrische, psycho-physische als auch leistungsspezifische Parameter empirisch erfasst. Das Verfahren der logistischen Regression wird zur Evaluation des Einflusses der diversen Prädiktoren herangezogen und mündet in der Erstellung eines Nomogramms zur handsamen Einschätzung des individuellen Erkrankungsrisikos. Als wichtigste Faktoren zur Prädiktion von Rückenbeschwerden im Volleyball stellen sich neben weiteren Faktoren vor allem der Grübchenabstand, die Beckenneigung und die statische posturale Kontrolle heraus. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird eine sensomotorische Trainingsintervention vorgestellt, welche sich bereits als vielversprechend in der Therapie persistierender Beschwerden erwiesen hat und der, nach aktuellem Forschungsstand, ebenso ein präventiver Effekt zugeschrieben wird.

## Abstract

The aim of this project was to identify potential risk factors, which are responsible for the evolution of back pain in elite volleyball athletes. To attain that goal, a multidisciplinary, quasi-experimental approach considering the anatomy, psychology and physiology of the human body was used to define weaknesses of the trunk and to limit the scope of the concept of back pain. Additionally, due to research regarding training science and the analysis of the game structure, volleyball inherent risk factors were identified. A sample of 422 first and second league athletes from Germany was investigated for anthropometric, psycho-physical as well as performance-specific parameters with the help of biomechanical methods and instruments of psycho-social-assessments. The concept of a logistic regression was used to evaluate the influence on back pain of every single predictor and leads to a feasible nomogram to estimate the individual risk for disease. The highest predictive value is, among others, attributed to the distance between the dimples, the inclination of the pelvis and the static postural control. Based upon these findings, a sensory-motor training intervention is introduced, which proved itself promising for the therapy of persistent back pain and which has been positively correlated to preventive effects in current research.





# 1. Einleitung und Problemstellung

Um geeignete Diagnostiken entwerfen und adäquate Therapieempfehlungen für die Behandlung von Rückenbeschwerden (RB) geben zu können, muss bekannt sein, welche Faktoren zur Entstehung der Symptome beitragen. Diese Risikofaktoren, die das Zustandekommen bestimmter Ereignisse beschreiben, werden aufgrund ihres vorhersagenden Charakters als *Prädiktoren* bezeichnet. Gerade in der Medizin gelten Früherkennungssysteme als entscheidend für den Verlauf einer Krankheit. Durch diese lassen sich häufig Variablen identifizieren, welche – mittels einer Kalkulation anhand der Prädiktoren – das Auftreten eines gewissen Symptoms evaluieren. In der Folge können Gegenmaßnahmen ergriffen und das tatsächliche Eintreten des Krankheitsbildes eventuell verhindert werden. Anders als bei konkret spezifizierbaren Erkrankungen (Malignome - Tumormarker, Diabetes mellitus Typ II - Blutzuckerspiegel, usw.) gelten Rückenschmerzen als ein schwer spezifizierbares, multifaktorielles Konstrukt. Eindeutige Hinweise auf die Ursachen von (unspezifischen) Beschwerden der Wirbelsäule (WS) sind noch nicht erbracht, diesbezügliche Forschungsparadigmen besitzen jedoch aufgrund der ökonomischen Tragweite einen hohen Stellenwert. So wurden bereits zahlreiche potentielle Faktoren für die Entstehung chronischer, unspezifischer Rückenschmerzen der Allgemeinbevölkerung präsentiert, u.a. eine Lumbalgie-Historie (Hestbaek, Leboeuf-Yde & Manniche, 2003), „Weakness and imbalances in the muscles that surround the hips, spine, and pelvis; poor abdominal muscle endurance; hamstring tightness; poor spinal flexibility“ (Hammil, Beazell & Hard, 2008, S.452), „stress, anxiety, depression“ (Hoy, Brooks, Blyth & Buchbinder, 2010, S.769), physische Inaktivität (Airaksinen et al., 2006) u.v.m..

Weiterhin stellen Hoy et al. (2010) heraus, dass Rückengesundheit einen immensen Einfluss auf die Lebensqualität der Allgemeinbevölkerung besitzt: „Low back pain has an enormous impact on individuals“ (2010, S.769). Erwiesenermaßen spielen Rückenschmerzen jedoch auch im Hochleistungssport eine herausragende Rolle (Schulz, Lenz & Büttner-Janzen, 2015; Bono, 2004; Tall & De Vault, 1993, Mehdizadeh et al., 2013).

Basierend auf der Divergenz bisheriger Erkenntnisse bzgl. der Entstehung von Rückenschmerzen und der Prävalenz der Symptomatik im Spitzensport soll im Folgenden anhand einer multifaktoriellen Querschnittsanalyse von Bundesligaathleten, exemplarisch im Hallenvolleyball durchgeführt, eine Identifikation potentieller Prädiktoren erfolgen. Um die Bedeutsamkeit für die Sportpraxis darzulegen, wird zunächst anhand eigener Erfahrungen und Statements unterschiedlicher Trainer und Athleten des Spitzensports die Relevanz von RB im Volleyball dargelegt. Da bisher noch keine Ausführungen zur Auswirkung von RB auf die Leistungserbringung im Volleyball existieren, soll anschließend über eine Einbettung der Thematik in den umfassenden, gesamtwissenschaftlichen Kontext aus Sportmedizin und der Rolle der Trainingswissenschaft für präventive Zugänge die Notwendigkeit intensiver Auseinandersetzung als gewinnbringend für die Sportpraxis herausgestellt werden.

## 1.1 Motivation der Untersuchung

Welche Rolle Rückenschmerzen im Spitzensport Volleyball einnehmen ist besonders dann ersichtlich, wenn Einblick in die Interna der Verbände, Vereine und Mannschaften existiert. Als ehemaliger Spieler, aktiver Trainer und Co-Trainer einer Bundesligamannschaft, Spielbeobachter diverser 1. Liga Teams sowie Nachwuchsmannschaften und ehemaliger Landeslehrwart Bayerns für Beachvolleyball kann der Autor dieser Arbeit aus einem breiten Spektrum an Erfahrungen und Kontakten im Hochleistungsvolleyball schöpfen. Dabei sind nicht nur starke Differenzen in der strukturellen Konzeption der Vereine bzw. Teams auffällig, sondern auch die kontroversen Ansichten gegenüber *Prävention von Rückenschmerzen zum Leistungserhalt* zwischen Verbänden (im Rahmen der Lehrausbildung) und Trainereinstellungen bemerkenswert.

Zum einen lässt sich konstatieren, dass ein starkes organisatorisches Gefälle zwischen erster und zweiter Bundesliga (BL) besteht. Während fast durchgehend alle Teams der 1. BL über Co-Trainer, Athletik-Coaches und Spielbeobachter verfügen, reduziert sich das Personal der 2. BL auf einen Co-Trainer (in wenigen Fällen ebenfalls ein Spielbeobachter). Das Athletiktraining gehört somit in dessen Aufgabenbereich. Aber auch geschlechtsspezifische Unterschiede sind zu verzeichnen. Der Herren Bereich präsentiert sich weitaus professionalisierter, als es im Damenvolleyball aktuell möglich ist. Aufgrund mangelnder finanzieller Mittel kann bei den Damen daher in der Regel nur mit einem Zweigespann aus Trainer/Co-Trainer agiert werden, welches sich oft nur durch ehrenamtliche Mitglieder erweitern lässt. Einer gezielt präventiven Intervention zur Reduktion der Inzidenz chronischer Beschwerden wird also schon rein systembedingt wenig Platz eingeräumt.

Zum anderen wird in persönlichen Gesprächen mit Trainern, Athleten und aktiven Verbandsmitgliedern deutlich, dass die Schwerpunktsetzung für vorhandene Ressourcen stark zwischen den Personengruppen divergiert und selten die Behandlung von RB priorisiert:

Dachverbands-Vorstände zielen erfahrungsgemäß auf einen langfristigen Aufbau im Rahmen der olympischen Zyklen und fordern daher eine erfolgsorientierte Herangehensweise vor dem Hintergrund des großen Kaderns potentieller Athleten (bestehend aus allen aktiven, gemeldeten Spielern). Im Vordergrund steht die Optimierung der Leistung auf internationaler Ebene, aber nicht zwangsläufig die Zuteilung finanzieller Mittel zur Berücksichtigung langfristiger Präventionsmaßnahmen. Lediglich im Kontext der Jugendnationalmannschaften wird Prävention als bedeutsam proklamiert. Da jedoch auch hier kaum Gelder zur Verfügung gestellt werden, sind die Möglichkeiten bzgl. optimaler Interventionen begrenzt. Umso positiver kann herausgestellt werden, dass der Deutsche Volleyball Verband die durchgeführte Untersuchung offiziell unterstützte, indem er die Kontakte und Kommunikation sicherstellte.

Doch auch die vom Landes- sowie Bundesverband selbstverantwortlich gestalteten Lehrmittel zur Trainerausbildung geben einen Einblick in das geringe Bewusstsein

bzgl. der weit verbreiteten Rückenschmerz-Problematik. Während in dem „Handbuch Leistungsvolleyball“ (Papageorgiou & Spitzley, 2006) – dem inoffiziellen Leitfaden für sämtliche spielstrukturellen Aspekte des modernen Volleyballspiels – eine rein taktische Analyse im Zentrum der Betrachtungen steht, sind zur Ausbildung innerhalb der Landesverbände unterschiedliche Werke Usus, die jeweils nur einen minimalen Anteil der Prävention widmen.

Exemplarisch sei das Werk „Der Volleyballtrainer“ (Meyndt, Peters, Schulz & Warm, 2010) des bayerischen Landesverbands angeführt, welches für die gesamte C- und B-Trainer Ausbildung des Freistaates herangezogen wird. Hierin werden, neben der minuziösen Aufarbeitung technischer und taktischer Spielelemente, ebenfalls Aspekte des Kraft- und Stabilisationstrainings aufgeführt (S.155). Diese, lediglich einseitige Darstellung zwölf unterschiedlicher Rumpfkraftigungsübungen, beinhaltet jedoch keinerlei explizite Ausführung der Wichtigkeit und Sinnhaftigkeit regelmäßiger und konsequenter Übungsausführungen, die nach trainingswissenschaftlichen Erkenntnissen jedoch nötig wäre (Sarabon, Palma, Vengust & Strojnik, 2011). Vielmehr wird der Fokus auf die ‚Umwerbung‘ eines Trainingsgerätes (Vibroplatte) gelegt. Das Buch schließt mit einer einseitigen Illustration von Tapeverbänden des Sprunggelenks.

Ergänzend zum vorgestellten Werk verwendet der Baden-Württembergische Volleyballverband den „Supertrainer Volleyball“ (Anrich, Krake, Zacharias & Lichte, 2005). Auch hier stehen Elemente der Trainings-, Technik-, Taktik- und Spielvermittlung im Vordergrund, sodass innerhalb des gesamten Lehrwerks keinerlei medizinische Aspekte Berücksichtigung finden. Es zeigt sich also, dass der Lehrinhalt der einzelnen Landesverbände nur wenig sportmedizinische Aspekte beinhaltet. Eine intensive Aufarbeitung, gerade auch in präventivmedizinischem Kontext, obliegt oftmals allein der Eigeninitiative der Trainer, die durch die unmittelbare Praxisnähe für Beschwerden der Athleten sensibilisiert, aber ebenfalls an kurz- und mittelfristigen Erfolg gebunden sind.

Die Ansichten zur Bedeutsamkeit von Präventionsmaßnahmen unterscheiden sich zwischen den einzelnen Trainern jedoch eminent. Während die überwiegende Mehrheit sich der Relevanz der Rumpfgesundheit für die Leistungserbringung bewusst ist (u.a. Max Hauser, Trainer der 1. Bundesliga Mannschaft des TSV Herrsching: „Prehabilitation [gemeint ist die Kombination aus Prävention und Rehabilitation] des Rumpfes ist ein wichtiger Bestandteil unserer Trainingsplanung. Leider haben wir dafür kaum Kapazitäten“), herrschen auch Meinungen vor, die eine klare Haltung zur Eigenorganisation der Athleten fordern, wie es in dem Gespräch mit einem Trainer zur Teilnahme an der Studie deutlich wird: „Prävention? Interessiert mich nicht“.

Zusätzlich verhindert eine hohe Fluktuation der Spieler einen langfristigen Ansatz zur Prävention chronischer Verletzungen. Lediglich akute Traumata werden mit Hilfe physiotherapeutischer Maßnahmen kuriert, wohingegen chronischen Beschwerden wie Rückenschmerzen oft nur im Rahmen der Saisonvorbereitung Inhalte im Training eingeräumt werden. Bei akuten Beeinträchtigungen wird nur symptoma-

tisch behandelt, wie exemplarisch die Entwicklung des wichtigsten Diagonalangreifers VfB Friedrichshafens in den Halbfinalspielen der Play-Offs 2014 verdeutlicht.

Da sich über die komplette Saison hinweg latente Beschwerden des unteren Rückens entwickelten, musste der Athlet im Hinspiel bereits nach nur drei gespielten Punkten ausgewechselt werden. Beim Rückspiel (3-Tage danach) trat er erneut an und erreichte eine Serie von 13 Aufschlägen in Folge (6 Asse) – offenbar ohne Einschränkungen. Zusätzlich wurde er nach Abschluss der Saison zum ‚most valuable Player‘ der Play-Offs gekürt und verließ den VfB. Durch akute, symptomatische Behandlung konnte kurzfristige das Leistungsniveau wiederhergestellt werden, ob jedoch diese intensive Belastung positiven Einfluss auf den Gesundungsprozess ausübte, bleibt zweifelhaft.

Neben diesem Fallbeispiel lassen sich aber noch zahlreiche andere Athleten des Spitzensports Volleyball finden, welche eine Leidenshistorie aufzeigen. U.a. wären hier zu nennen Vize-Europameisterin Jennifer Geerties (2013), die Deutsche Meisterin im Beachvolleyball Kira Walkenhorst (2013 + 2015) oder sogar Olympiasieger im Beachvolleyball (2012) Jonas Reckermann, der aufgrund seiner Beschwerden seine Karriere beenden musste.

Persönliche Gespräche mit Athleten der 1. BL (auch im Rahmen der durchgeführten ärztlichen Anamnesen), der Nationalmannschaft sowie Verbandsärzten bestärken den Verdacht, dass RB keine hohe Aufmerksamkeit gewidmet wird. Vielmehr dominieren hier die Verdrängung geringer Schmerzintensität und die symptomatische Behandlung mittels Analgetika. Gleichwohl ist es auffällig, dass die Teilnahme an einer Studie von den Athleten intensiv befürwortet wird. Womöglich läuft die Dokumentation von Beschwerden konträr zu der eigenen Außendarstellung gegenüber Trainern und Vereinen (insbesondere vor dem Hintergrund des eigenen Marktwertes). Es wird vermutet, dass die Dunkelziffer der Rückenschmerzgeplagten deutlich über den bisher im Leistungssport identifizierten 57% liegt. Dabei gilt als gesichert, dass Rückenschmerzen insbesondere in Bewegungseinschränkungen resultieren und darüber hinaus einen hohen Grad an Chronifizierung aufweisen.

Es lässt sich resümieren, dass RB im Volleyball in hohem Maße vertreten sind und mitunter zu Trainings- und Spielausfall oder sogar Karriereende führen können. Dabei ist bereits in anderen Sportarten gezeigt worden, dass ein statistischer Zusammenhang zwischen Sieg/Niederlage und der Ausfallzeit von Spielern existiert (Raysmith & Drew, 2016). Wenngleich die Aufmerksamkeit bzgl. dieser Problematik durchweg gering ausfällt, lässt sich anhand der hohen Zustimmung seitens der Verbände, Athleten und Trainer für die hier dargelegte Untersuchung die praktische Notwendigkeit intensiverer Auseinandersetzungen nicht leugnen.

## 1.2 Theoretische Einbettung in den gesamtwissenschaftlichen Kontext

Nach Hohmann, Lames und Letzelter (2010, S. 17f) ist das Selbstverständnis der Trainingswissenschaft maßgeblich durch den Bezug zur Praxis geprägt. Sie stellt innerhalb der sportwissenschaftlichen Disziplinen eine „integrative, empirische und angewandte Wissenschaft“ (S.18) dar und vereint demnach die Erkenntnisse diverser Disziplinen. Dabei stellen empirische Grundlagenforschungen im Rahmen ihrer explorativen Idee vor dem Hintergrund komplexer Systeme überwiegend probabilistische Gesetzmäßigkeiten auf. Besonders im Kontext der Sportmedizin ergeben sich hier Gemeinsamkeiten:

„Die Wurzeln der Trainingswissenschaft liegen im Bestreben, das leistungssportliche Training auf eine wissenschaftlich fundierte Basis zu stellen. Dabei kam es zunächst zu einer Zusammenarbeit mit der Sportmedizin, dann auch mit anderen Wissenschaften wie Biomechanik, Psychologie und Soziologie“ (Hohmann et al., 2010, S.12).

Die statistischen Methoden sind in vielerlei Hinsicht auch der Medizin inhärent, u.a. im Konzept der Risikofaktoren bei Inzidenzen oder Rückschlüssen aus Prävalenzangaben. Es handelt sich überwiegend um Aussagen in Form wahrscheinlichkeitsbasierter, potentiell fehlerbehafteter Schlussfolgerungen. Die Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft (dvs) beschreibt u.a. „Sportmethodische, biomechanische, leistungsphysiologische und kognitive Tests“<sup>1</sup> als relevante Verfahren zur Klärung trainingswissenschaftlicher Fragestellungen. Aus diesem Ansatz geht hervor, dass sich in der Trainingswissenschaft ebenso der Medizin und Biomechanik bedient werden muss, um ein multiples System zur Bewegungsbeschreibung und -Erklärung im Sport zu erreichen und vor wissenschaftlichem Hintergrund praxisnahe Hinweise zu generieren.

Im Rahmen einer fachübergreifenden trainingswissenschaftlichen Auseinandersetzung scheint die inhaltliche Fixierung einzelner Begriffe unumgänglich. Dabei ist vor allem die historische Entwicklung für das heutige Verständnis von *Training* nicht unerheblich. Über Jahrzehnte hat sich der Trainingsbegriff geöffnet, von recht eng gefassten Definitionen hin zu einem breiten Spektrum.

Während zu Beginn noch von einem pädagogischen Prinzip des Hochleistungssports zur Definition der Leistungsentwicklung ausgegangen wurde (Harre, 1971), entwickelte sich zunehmend der Begriff in biologischem Kontext zu spezifischen physiologischen Adaptationen als Ursache von Steigerungen der Leistungsfähigkeit (Hollmann & Hettinger, 1976).

Nach heutigem Stand hat sich der Trainingsbegriff, der sich anfänglich eher am Spitzensport orientierte, auch für den Bereich des Breitensports geöffnet. So sprechen Hohmann et al. (2010) zunächst von Training als „planmäßige und systematische Realisation von Maßnahmen (Trainingsinhalte) zur nachhaltigen Erreichung von Zielen (Trainingsziele) im und durch Sport“ (Hohmann et al., 2010, S.14f). So-

---

<sup>1</sup> Nachzuschlagen auf der offiziellen Homepage der dvs unter der Adresse: [www.sportwissenschaft.de/index.php?id=711](http://www.sportwissenschaft.de/index.php?id=711), zuletzt aufgerufen am 25.04.2016

mit ist ein offener Begriff, wie von Ballreich und Kuhlow (1975) gefordert, Inhalt der Definition und bezeichnet auch Übungen fernab des Hochleistungssports als Training. Selbstkritisch wird jedoch auch hier noch auf die bestehenden Unklarheiten hingewiesen, seien es Überschneidungen mit anderen Fachgebieten oder die Beliebigkeit, der sich eine offene Begriffsbildung aussetzt (Hohmann et al., 2010, S.16f). Im Rahmen dieser Dissertationsschrift wird sich dennoch auf die letztgenannte Begriffsbestimmung des Trainings geeinigt, da diese sowohl die Ziele innerhalb des Sports, aber auch jene, die allgemein durch sportliche Aktivitäten anvisiert werden, integriert und damit einen fachübergreifenden Austausch ermöglicht. Als ein weiterer zentraler Begriff zwischen Sportmedizin und Trainingswissenschaft ist die *sportliche Leistungsfähigkeit* zu nennen. Schnabel, Harre und Krug (2009) definieren diese als:

„Gesamtheit der personalen Leistungsvoraussetzungen. Unterschieden werden die Voraussetzungen, die die Handlungsorientierung, Handlungsausführung und Handlungskontrolle betreffen, von den Handlungsantrieben, d.h. Einstellungen (Motivation), Emotionalität, Volition, gesondert auch als Leistungsbereitschaft erfasst“ (Schnabel et al., 2009, S.43).

Der Erhalt der Leistungsfähigkeit ist als einer der Gegenstandsbereiche der Trainingswissenschaft (wenngleich nur implizit in den Ausführungen Hohmann et al. (2010)) zur Definition der Trainingswissenschaft integriert und nicht explizit erwähnt, also auch abhängig von sportmedizinischen Aspekten. Dies äußert sich vor allem in den personalen Leistungsvoraussetzungen, die ebenfalls von Fröhner und Wagner (2012) als medizinisch relevant eingestuft und später genauer erläutert werden.

Neben den Gemeinsamkeiten der Sportmedizin und der Trainingswissenschaft, die im Zuge dieser Arbeit mehrfach verdeutlicht werden, gibt es jedoch auch wesentliche Unterschiede, die durch eine systemische Herleitung offengelegt werden. Während die Trainingswissenschaft sich erwiesenermaßen aus den Erkenntnissen des Spitzensports bediente, um Rückschlüsse auf die Allgemeinbevölkerung zuzulassen (adäquat zu der ätiologischen Herleitung des Trainingsbegriffs, Ballreich & Kuhlow, 1975), ist die medizinische Perspektive zunächst ursprünglich in der kurativen Verantwortung gegenüber dem Allgemeinwohl verankert und wendet sich erst im Verlauf der Jahrzehnte den besonderen Gegebenheiten des Spitzensports zu (siehe auch Bundesärztekammer, 2010). Die Trainingswissenschaft basiert demnach ursprünglich auf einem induktiven Vorgehen, wohingegen die Medizin und demzufolge auch die aus ihr entstandene Sportmedizin ein deduktives Konzept verfolgen.

Dies erschließt sich ebenfalls anhand der wissenschaftstheoretischen Definitionen der Fachgebiete. So formulieren Hohmann et al. die Sichtweise der Sportmedizin als „nicht aus einer ganzheitlichen, sondern aus ihrer disziplinären Perspektive“ (Hohmann et al., 2010, S.17) und deuten damit auf die fachinterne Begutachtung diverser Problematiken hin. Hierbei fehlt jedoch der vielseitige Ansatz, der den direkten Anwendungsbezug ermöglicht und in so hochspezialisierten Gebieten wie

dem Leistungssport von Nöten ist. Als übergreifende Disziplin mit dem Fokus auf Training und Wettkampf ist die Trainingswissenschaft hingegen auch durch ihre Nähe zur Trainingslehre unmittelbar mit dem kompetitiven Sport verbunden. Während also der Nutzen der Medizin sich nach der Behandlung weit verbreiteter Phänomene bemisst, stellt sich der Erfolg der Trainingswissenschaft zunächst an den Resultaten der Elite des Sports dar.

Das hier dargelegte Projekt beschreibt zunächst Elemente der Grundlagenforschung mit dem Ziel, Schlussfolgerungen aus dem aktuellen Hochleistungssport zu ziehen. Gleichzeitig sollen jedoch nach Abschluss der Analysen auch konkrete Handlungsanweisungen gegeben werden, die (über das entwickelte Nomogramm) auf Basis singulärer/individueller Prognosen präventive Behandlungsansätze empfehlen. Beabsichtigt ist also die Verknüpfung von Grundlagentheorien und Anwendungsforschung, um den direkten Übertrag in die Praxis zu gewährleisten.

Trotz der allgemein eher medizinisch ausgerichteten Thematik dieser Dissertation, lässt sich – wie dargestellt – die komplexe Problematik nur multidisziplinär erfassen und ist aufgrund dieser Vielseitigkeit optimal durch die Trainingswissenschaft repräsentiert und bearbeitet. Der grundtheoretische Bogen überspannt das Gebiet sportmedizinischer Forschungsarbeit zur Ursachenforschung des Rückenschmerzes, verwendet hierzu biomechanische Methoden zur Evaluation von volleyballspezifischen Leistungsbeeinträchtigungen und physiologischen Parametern, beurteilt auf Basis sportpsychologischer Fragebögen im Rahmen eines psycho-sozialen Paradigmas potentielle Stressoren, integriert eine der Sportmotorik innewohnende funktionale Betrachtungsweise aus neuronalem In- und Output und resultiert, auf der Basis trainingswissenschaftlicher Theorien, in praxisrelevanten Hinweisen zur Optimierung der neuronalen Adaptation und Senkung des Erkrankungsrisikos.

Im Folgenden sollen, nachdem der theoretische Rahmen geschaffen wurde, zunächst wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Sportmedizin bzgl. Verletzungen im Hochleistungssport betrachtet werden, um die Relevanz der Untersuchung aus praktischer und theoretischer Sicht offenzulegen. Weiterführend wird über die Prävention, als maßgeblichem Bestandteil der Trainingswissenschaften, die Verknüpfung zu biomechanischen Messmethoden hergestellt, bevor in dem zweiten Kapitel volleyballspezifische wissenschaftliche Aspekte in den Fokus rücken.

### *1.2.1 Verletzungen und Prävention im Spitzensport*

Die Geschichte der engen Verbindung von Medizin und Gymnastik lässt sich bis in die Antike zurückverfolgen. Im Zusammenhang dieser Ausführung soll es genügen, einen kurzen Abriss der entscheidenden Entwicklungen seit dem 18. Jahrhundert anzureißen. Dies wird als nötig erachtet, um einen Einblick in die überschaubare Historie deutscher Sportmedizin und Prävention im Spitzensport zu erhalten. Dabei sollen insbesondere Verletzungen und Prävention, als Kernbegriffe dieser Dissertationsschrift, im Spitzensport Beachtung finden<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Eine intensive Aufarbeitung der sportmedizinischen Entwicklung in Deutschland ist in Hollmann und Tittels (2008) „Geschichte der Sportmedizin“ nachzulesen.



Einleitend ist der Franzose Joseph Clément Tissot (\*1747) zu nennen, der als einer der Ersten den positiven Einfluss von täglicher Ertüchtigung auf das medizinische Wohl schriftlich fixierte (Hollmann & Tittel, 2008). Mit seinem auf Deutsch erschienenen Werk „Medicinische und chirurgische Gymnastik oder Versuch über den Nutzen der Bewegung oder der verschiedenen Leibesübungen, und der Ruhe bey Heilung der Krankheiten“ gilt er mitunter als Begründer der Bewegungstherapie (Schwender, 2008). Aber auch inländische Wissenschaftler wie der promovierte Arzt Friedrich Hoffmann (\*1660) oder Prof. Dr. Johann Frank (\*1745) konnten durch ihre Grundlagenforschungen zum Effekt der Bewegung auf medizinische Systeme den Weg der Sportmedizin mitbestimmen. Von dem Zeitpunkt an, als namhafte Vertreter der medizinischen Versorgung den positiven Einfluss körperlicher Aktivität propagierten, wandelte sich die Diskussion um den Effekt von Bewegung hin zu der Frage nach den methodischen Aspekten. Dabei rückte auch der Begriff der adäquaten Übung bzw. des Trainings mehr und mehr in den Vordergrund.

Mit der Gründung 1912 des „Deutsche[n] Reichskomitee[s] zur Wissenschaftlichen Erforschung des Sportes und der Leibesübungen“, [der] erste[n] sportärztliche[n] Vereinigung der Welt“ (Hollmann & Tittel, 2008, S.22) rückten bereits Themen wie die Sinnhaftigkeit internationaler Wettkämpfe, Übertraining und diverse Apparaturen zur Diagnostik in den Vordergrund. Dieser Aufschwung einer zum damaligen Zeitpunkt bahnbrechenden Forschungsrichtung erlebte während des zweiten Weltkriegs einen herben Rückschlag und so gründete sich erst 1951 der deutsche Sportärztebund mit den selbstdefinierten Aufgaben u.a. der „Förderung der Leibesübungen im Dienste der Gesundheit“ oder „Ausbildung von Sportärzten“ (Hollmann & Tittel, 2008, S.61). Seit der Umbenennung des „Deutschen Sportärztebunds“ in die aktuell noch gültige „Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin“ 1999 (Hollmann & Tittel, 2008, S.70) gilt die Einbettung der Mediziner in den sport-präventiven Sektor als abgeschlossen. Entgegen dem deduktiven Vorgehen der klassischen Medizin, erlangte die Sportmedizin eine Ausnahmestellung für den Bereich des Spitzensports, so dass sich die bis heute typischen medizinischen Fall- und Epidemiologie Studien etablierten.

Der Fokus der Verletzungsforschung liegt häufig auf Traumata, die einen akuten Ausfall zur Folge haben und eindeutige strukturelle Diagnosen zulassen. RB sind hingegen (abgesehen von Bandscheibenvorfällen) durch ihre Komplexität und ihre oft gering ausgeprägte aber persistierende Natur eher selten Hauptbestandteil von Untersuchungen. Dank technologischer Neuheiten (moderne Trainingsgeräte, optimierte Schutzhelme, angepasstes Schuhwerk, etc.), Regelanpassungen (verschärfte Übertritts-Regel oder Netzberührung im VB) und sich entwickelnder Trainingsmethoden konnte die Prävalenz akuter Traumata im Entwicklungsverlauf der Sportarten verringert werden. Allerdings etablierten sich zunehmend Überlastungssyndrome durch immer intensivere und umfangreichere Trainingseinheiten. Diese hatten meist keinen akuten Ausfall zur Folge, besaßen aber einen hohen Grad an Chronifizierung, insbesondere da sie häufig von Sportlern ignoriert wurden, um kei-

nen unmittelbaren Trainings- oder Wettkampfausfall zu erleiden (Briner & Lawrence, 1997; Hibbs, Thompson, French, Wrigley & Spears, 2008).

Der höchste Anteil an Verletzungen im Sport aktuell ist den unteren Extremitäten, insbesondere dem Sprunggelenk in sog. „court games and team sports“ (Fong, Hong, Chan, Yung & Chan, 2007, S.73), zuzuschreiben. Dabei ist – nach eigener klinischer Erfahrung – im Spitzensport nicht zwangsläufig allein die Hauptsportart für Traumata verantwortlich, sondern häufig auch die betriebenen Ausgleichssportarten. Der Grund hierfür scheinen die diversen Belastungsprofile der Sportarten zu sein, die sich in den (innerhalb der Wissenschaft ausführlich dokumentierten) jeweilig unterschiedlichen Verletzungsprävalenzen äußern.

Verletzungsforschung im Spitzensport fokussiert aber nicht nur sportartspezifische Differenzen, sondern auch internationale Unterschiede. Diese sind auf die jeweilig veränderten Fördermaßnahmen, trainingswissenschaftlichen Methoden oder divergierenden Schwerpunktsetzungen von Prävention zurückzuführen. So konnten Chan, Eng, Taot und Krassioukiv (2016) zeigen, dass insbesondere Wirbelsäulenverletzungen in manchen Ländern und Sportarten deutlich häufiger auftreten, als in anderen (insgesamt wurden 25 Nationen untersucht). Hingegen offenbarten die Häufigkeitsverteilungen von Verletzungen in spezifischen Sportarten innerhalb des Ländervergleichs keine Unterschiede.

Neben strukturellen Beeinträchtigungen können aber auch Belastungen der Psyche einen Grund für Trainings- oder Wettkampfausfälle darstellen. Der mit den Jahren stetig wachsende Erfolgsdruck, die frühe sportliche Einbindung in den Leistungssport, vielseitiger Verzicht (auch sozial) sowie stete Ausschöpfung körperlicher Potenziale stellen so eine ernstzunehmende Belastung für das emotionale Befinden der Elite-Athleten jeder Sportart dar (Hagemann, Tietjens & Strauß, 2007, S.135). Insbesondere die Faktoren Depression, Anspannung und Vitalität (Galambos, Terry, Moyle & Locke, 2005) zeigten sich als geeignet zur Klassifizierung von Verletzungen. Speziell Rückenschmerzen können durch besagte Parameter sogar noch besser zugeordnet werden (39% korrekte Klassifizierungen der Verletzungen, 48% bei RB). Die Autoren verweisen jedoch darauf, dass eine reine Klassifikation über psychologische Faktoren nicht ausreichend sei und um physiologische Parameter erweitert werden müsste.

Van Mechelen, Hlobil und Kemper (1992) gliedern so die wissenschaftliche Herangehensweise an Verletzungsforschung im Sport in drei Schritte: Zunächst müssen epidemiologische Daten über Verletzungen in der betreffenden Sportart erhoben werden, um einen Überblick über die praktische und theoretische Relevanz sowie das Ausmaß zu erhalten. Als weiteren Schritt sollen Faktoren und Mechanismen (Prädiktoren) identifiziert werden, die das Auftreten von Verletzungen verursachen. Dabei handelt es sich weitestgehend um sportartspezifische und Athleten-interne Variablen. Abschließend sind Methoden (anhand der Prädiktoren) zu identifizieren und zu entwickeln, die das Risiko einer Verletzung/Erkrankung verringern können (S.82). Hierbei handelt es sich also bereits um die Integration präventiver Maß-

nahmen. 2008 fügen Tiggelen et al. (2008) dem angesprochenen Modell weitere Arbeitsschritte hinzu, die sowohl ein regelmäßiges Screening der Risikofaktoren zur longitudinalen Studie als auch eine Compliance Überprüfung der Intervention und das Risikoverhalten der Athleten integrieren und somit die Validität des bisherigen Modells erhöhen können. Ergänzend findet auch das Arbeitsumfeld des Athleten (Infrastruktur, Personal) Berücksichtigung und ermöglicht so eine umfassendere Beurteilung.

Cools, Johansson, Borms und Maenhout (2015) begründen für die Prävention von Verletzungen in Überkopfsportarten ein ähnliches, aber dennoch unterschiedliches Konzept. Sie legen vor allem Wert auf die Definition und Identifikation der Risikofaktoren (Schritt 1) und propagieren die Verwendung dieser Prädiktoren als Return-to-play (RTP) Kriterium im Rahmen der Verletzungstherapie (Schritt 2). Weiterhin ermahnen sie zur validen und reliablen Erhebung der Prädiktoren (Schritt 3) sowie der Erstellung eines Präventivtrainings als abschließende Maßnahme (Cools et al., 2015, S.331). Hier zeichnen sich jedoch Schwächen ab, die sich zum einen auf die zunächst für präventive Zugänge irrelevant erscheinende RTP Definition zum anderen aber auch auf die Ermahnung zu wissenschaftlicher Arbeitsweise beziehen.

Doch schon Parkkari, Kujala und Kannus (2001) beschreiben das optimale Vorgehen zur Erstellung von Präventionsprogrammen in einem weiteren, umfassenden Modell, das sowohl die Analyse der Verletzungsmuster als auch die Identifikation der Risikofaktoren, die Operationalisierung des Outcomes und die valide Erfassung der Ausfallzeiten beinhaltet. In diesem Rahmen sollten vor allem Randomised Controlled Trials zur Aufklärung dienen und die bisher gängigen Methoden überprüfen:

„such as preseason medical screenings, warming up, proprioceptive training, stretching, muscle strengthening, taping, protective equipment, rehabilitation programmes and education interventions“ (Parkkari, Kujala & Kannus, 2001, S.1).

Laut Drew, Cook und Finch (2016) sollte jedoch vielmehr der *workload*, also die Belastung, im Fokus der Präventionsforschung stehen. Zum einen sollten belastungsbezogene Risikofaktoren vor Wettkämpfen identifiziert, zum anderen die Mechanismen für Verletzungen auf Basis des Trainingspensums betrachtet und abschließend die Heranführung an den Workload mittels posttraumatischer, rehabilitativer Programme in den Ansatz inkludiert werden. In ihrem weiterführenden Review (Drew & Finch, 2016) bestätigen sie diese Vermutung und bestärken die Erfassung interner und externer Belastungen (z. B. die subjektive Beanspruchung über die BORG Skala oder objektiv über diverse biomechanische Modellierungen/inverse Dynamik) zur Prävention von Sportverletzungen.

Häufig zielen präventive Maßnahmen auf die sportartspezifische physische Stärkung der Strukturen ab, wie z.B. das von der FIFA empfohlene Aufwärmprogramm Fifa 11+ (Silvers-Granelli et al., 2015) oder das von Cools et al. (2015) propagierte Programm zur Prävention von Schulterverletzungen in Überkopfsportarten. Hingegen sollte laut Weiß und Whatman (2015) die Identifikation der Mechanismen, die zu Unfällen führen und die daraus resultierende Modifikation der Mechaniken, das Ziel präventiver Zugänge sein. Die alleinige Stärkung umgebender/beteiligter Struk-

turen sei nicht geeignet, sondern vielmehr die Veränderung der Belastungsstruktur über die Optimierung biomechanischer Bewegungsabläufe anzustreben. DiStefano et al. (2016) bestätigen dies, indem sie einen kurzfristigen Effekt eines präventiven Programmes nachweisen können, der jedoch, ohne die regelmäßige Durchführung des Trainings, frühzeitig wieder abnimmt. Die dauerhafte Veränderung der Technik bzw. der damit verbundenen Modifikation der strukturellen Beanspruchung scheint hingegen besser geeignet zu sein.

In diesem Zusammenhang stellen Padua et al. (2015) als ersten Schritt ein Scoring System im Fußball vor, welches mit Perspektive auf potentielle ACL Verletzungen eine Beurteilung der Landetechniken vornimmt und eine akzeptable prädiktive Kraft aufweist. Hierdurch soll mittels eines Biofeedbacksystems die direkte Rückkopplung an die Athleten über die Qualität des Bewegungsmusters erfolgen. Die infolgedessen selbstständige Modifikation der Belastungsstruktur soll die Dynamik optimieren und so Verletzungen präventiv entgegenwirken. Derartige Ansätze scheinen in der aktuellen Forschung breite Zustimmung zu erhalten (Kotler, Babu & Robidoux, 2016; Monajati, Larumbe-Zabala, Goss-Sampson & Naclerio, 2016).

Neben den genannten theoretischen Ansätzen zur Prävention von Verletzungen im Spitzensport (Parkkari et al., 2001) hat sich vor allem die Ausführung sensomotorischen Trainings (Training zur neuronalen Adaptation) als vielversprechend erwiesen, wie es auch Thacker et al. (2003) in ihrem Review bzgl. der Prävention von Knieverletzungen propagieren:

„Six prospective studies that addressed the impact of conditioning and training showed promise of proprioception and neuromuscular training for protection against knee injury“ (Thacker et al., 2003, S.165).

In ihrer Befragung der zuständigen Teamärzte von 33 UEFA Elite Teams zu angewandten Präventionsstrategien konnten McCall, Dupont und Ekstrand (2016) zudem „eccentric, balance/proprioception and core training“ (McCall et al., 2016, S.1) als die häufigsten durchgeführten Methoden identifizieren.

Neuromuskulär fokussiertes Training zeigt sich aber nicht nur für die Behandlung von RB geeignet, wie später explizit hervorgehoben wird, sondern scheint ebenfalls die Therapie von Verletzungen der unteren Extremität zu adressieren. Dies kann auch durch eine prospektive Studie anhand einer Stichprobe deutscher Handballegerinnen von Petersen et al. (2005) bestätigt werden. Ursachen für den positiven Einfluss werden vor allem in der Optimierung der Koordination bzw. Bewegungskontrolle gesehen (Gollhofer, Granacher, Taube, Melnyk & Gruber, 2006). Diese zielt überwiegend auf die Verbesserung der „situativen Einstellung von Gelenkspositionen“ und die „dynamische motorische Kontrolle“, zwei wesentlichen Merkmalen in der Entstehung von Verletzungen (Gollhofer et al., 2006, S.266). Höhere Effekte konnten lediglich in kombinierten Methoden erzielt werden, die sowohl die Optimierung der neuromuskulären Ansteuerung als auch die Steigerung des Kraftpotentials und zudem die Modifikation der sportartspezifischen Bewegungsmechaniken zum Ziel haben (Owen et al., 2013). Eine weiterführende Aufarbeitung der posturalen

Kontrolle und der Bedeutung für Rückenbeschwerden erfolgt jedoch erst im gleichnamigen Kapitel dieser Niederschrift (2.4 Begriffsbestimmung posturale Kontrolle).

Resümierend betrachtet, ist man von der Diskussion um den präventiven Einfluss sportlicher Aktivität längst abgekehrt, da dieser als evident angesehen wird. Vielmehr hat sich Prävention im Rahmen sportlicher Höchstleistungen als eigenständiger Trainingsinhalt etabliert. In Anbetracht der sich über die Zeit entwickelnden Methoden und des steigenden Leistungsanspruchs im modernen Hochleistungssport ist dies ein notwendiger Aspekt des langfristigen Leistungsaufbaus, wie sich anhand des folgenden Kapitels zur Rolle der Prävention für die Trainingswissenschaft herauskristallisieren wird.

### *1.2.2 Verletzungsprävention als Thema der Trainingswissenschaft*

Zur unmittelbaren Vernetzung zwischen Trainingswissenschaft und Sportmedizin bzw. Verletzungsprävention hilft die Orientierung an der von Schnabel, Haare und Krug (2014) verwendeten Definition der Leistungsfähigkeit und den Leistungsvoraussetzungen. Diese werden in eine handlungsbezogene und eine Basisebene untergliedert, wobei erstere die sportartspezifischen Fähigkeiten und Fertigkeiten repräsentiert und die zweite Ebene die morphologischen Gegebenheiten sowie physiologischen Parameter in den Blick nimmt (S.41f). Anhand der Definition wird deutlich, dass die Basisebene den Grundstein für sämtliche motorischen Handlungen legt. Diese durchweg endogenen Faktoren stellen also einen wichtigen Beitrag zur Erbringung und Sicherung von Leistung und beinhalten medizinisch erfassbare Parameter wie die neuromuskuläre Kontrolle, den Energiestoffwechsel oder auch Eigenschaften des Muskel-, Sehnen- und Bandapparates.

Fröhner und Wagner (2012) fügen ergänzend hinzu, dass

„zwingende Voraussetzungen für einen erfolgreichen Leistungsaufbau [...] die Belastbarkeit als Grundlage für die Gesundheit des Sportlers, die Toleranz des Trainings und damit die Anpassung an höhere Belastungen [sind]“ (Fröhner & Wagner, 2012, S.9).

Damit rücken sie die Bedeutsamkeit präventiver Zugänge für die Nachhaltigkeit und Entwicklung der Leistungsfähigkeit in den Fokus. Ohne die medizinische Sicherstellung der Gesundheit oder der Identifikation der Belastbarkeitsgrenzen des Organismus ist die strukturierte Planung des Trainings also nicht möglich. Dies gilt insbesondere, da das trainingsmethodische Vorgehen auf elementaren Erkenntnissen zur physiologischen Adaptation aufgrund von Reizen beruht (Mechanismen wie Planung von Trainingsintensität und -Umfang, Gestaltung von Pausen, Höhe der Reizsetzung, usw., u.a. in Weineck, 2009).

Gleichermaßen ist es jedoch Aufgabe der Trainingswissenschaft (wie zuvor bereits erläutert) die Resultate aus physiologischer und medizinischer Diagnostik mit Ergebnissen der Biomechanik und Motorik unter Berücksichtigung auch der psychischen Belastbarkeit zu kombinieren, um in der Folge ein individuell optimiertes Training anhand der Adaptationsschwellen zu gestalten und die Nachhaltigkeit der Gesundheit zu garantieren. Fröhner und Wagner (2012) propagieren in diesem Zu-

sammenhang die „Ermittlung der Ursachen von Belastbarkeitsstörungen“ als „wirksames Vorgehen zur Sicherung von Gesundheit und Belastbarkeit“ (Fröhner & Wagner, 2012, S.9f). Dabei verdeutlicht die Vielzahl teilhabender Wissenschaftsgebiete (anhand der diversen internen und externen Risikofaktoren) die zwingende Kooperation aller am Trainingsprozess teilhabenden Personen (Trainer, Ärzte, Physiotherapeuten, Athleten, usw.; Fröhner & Wagner, 2012).

Wenngleich der Prävention vor allem im Jugendalter, aufgrund der sich ständig verändernden hormonellen und strukturellen Gegebenheiten, ein besonderes Maß an Aufmerksamkeit zuteilwird, ist – gerade vor dem Hintergrund des langfristigen Leistungserhalts – auch im Erwachsenenalter Vorsorge hochgradig relevant. Hierfür ist die stete Rückkopplung und Kombination leistungsspezifischer Parameter und medizinischer Variablen von größter Bedeutung, da sich Verfehlungen in den Kategorien der allgemein-organismischen, mechanischen oder psychischen Belastbarkeit häufig erst bei Auftreten krankheitsbedingter Symptome identifizieren lassen (Fröhner & Wagner, 2012, S.17). In diesem Kontext erhält die konsequente sportmedizinische Betreuung laut Schnabel, Harre und Krugs (2014) Definition trainingswissenschaftliche Relevanz:

„Sie umfasst Diagnostik, Therapie, Beratung der Sportler und sicher[n] die Kontinuität des Trainings und der Wettkämpfe. Dazu sind neben dem ärztlichen Wissen ausreichend sportwissenschaftliche Kenntnisse erforderlich“ (Schnabel, Harre, Krug, 2014, S.504).

Zusätzlich können u.a. Hägglund, Walden und Ekstrand (2006) herausarbeiten, dass die wichtigsten Risikofaktoren für das Auftreten von Verletzungen ehemalige Traumata derselben Lokalisation darstellen. Hierdurch erlangt die Prävention eine noch größere Bedeutung, da es das Erstauftreten – als entscheidenden Prädiktor – für einen langfristigen Leistungsaufbau zu verhindern gilt.

Mit dem sportmedizinischen Ruf nach der Entwicklung von Methoden und Maßnahmen zur Verletzungsprävention durch die Erkenntnisse der Trainingswissenschaft stellt sich jedoch gleichermaßen die Herausforderung der Identifikation von Mechanismen und Risikofaktoren der Verletzungen. Denn bevor geeignete Strategien entworfen werden können, müssen die Variablen identifiziert werden, die ursächlich für die Entstehung von Sportunfällen sind. Zur Lösung derartiger Fragestellungen sind sowohl biomechanische Kenntnisse vor allem aber auch die Expertise bzgl. sportspezifisch-inhaltlicher und -struktureller Handlungsabläufe notwendig.

Die Schaffung präventiver Zugänge ist also allein durch eine sportmedizinische oder biomechanische Betrachtungsweise nicht abgedeckt und benötigt umso mehr die umfassende Charakteristik der Trainingswissenschaft. Demzufolge kann Verletzungsprävention nicht nur als Thema, sondern vielmehr als Aufgabe der Trainingswissenschaft verstanden werden.

### 1.3 Gliederung der Arbeit

Nachdem im ersten Kapitel eine kurze Einbettung in den gesamtwissenschaftlichen Kontext erfolgte, wird im Folgenden, anhand evidenzbasierter Forschung, volleyballspezifisch die Prävalenz von RB dargestellt, bevor über die theoriegeleitete Identifikation potentieller Prädiktoren eine Abgrenzung biomechanischer und psychologischer Methoden erfolgt. Im Rahmen der Ausführungen zur literaturgeleiteten Begründung der Prädiktoren werden anatomische, biomechanische sowie psychologische Grundtheorien und Begriffe erläutert, die einen tieferen Einblick in das Konstrukt des Rückenschmerzes ermöglichen. Dabei werden neben strukturellen Parametern des Rumpfes auch trainingswissenschaftliche Hinweise und Forschungsberichte herangezogen. Abschließend werden die Hypothesen als Synopsis der ersten beiden Kapitel dargelegt.

Das dritte Kapitel befasst sich mit der methodischen Darstellung der Untersuchung und beinhaltet neben der Operationalisierung der Prädiktoren die ausführliche Offenlegung der angewandten biomechanischen Methoden zur Datenerfassung. Überdies ist ein Ausblick auf das Outcome der Studie anhand eines exemplarischen Feedback Reports beigefügt. Abschließend findet neben der Evaluation der klassischen Gütekriterien eine naturwissenschaftliche Berechnung der Messunsicherheiten statt bevor das Konzept der logistischen Regression näher erläutert wird.

Kapitel vier ist strukturell am Aufbau der Hypothesen orientiert und befasst sich eingehend mit den Resultaten der Studie. So finden neben den beschreibenden Charakteristika der Stichprobe die Ergebnisse der anthropometrischen und biomechanischen Untersuchungen Erwähnung. Diese werden bzgl. ihres interpartiellen Zusammenhangs analysiert und begründen die Erstellung des Nomogramms zur Einschätzung des Erkrankungsrisikos für Rückenbeschwerden.

Kapitel 5 beginnt mit der selbstkritischen Betrachtung der angewandten Methoden unter Berücksichtigung statistischer und messtechnischer Schwierigkeiten bei der Durchführung. Anschließend werden die zentralen Prädiktoren posturale Kontrolle, maximale Sprungkraft und wirbelsäulenformbeschreibende Parameter vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Erkenntnisse volleyballspezifisch bzw. praxisnah eingeordnet. Auf Basis dieser Interpretationen findet ein Interventionsansatz zur Beseitigung und Prävention von RB Berücksichtigung, der in weiterführenden Projekten einer Effizienzüberprüfung standhalten soll.

Die Arbeit schließt mit der Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse und gibt einen Ausblick auf die daraus resultierenden Forschungsfragestellungen und weiterführenden Arbeitsschritte zur Durchführung weiterer Studien unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Leistungssport-Settings.

## 2. Forschungsstand

Nachdem im ersten Kapitel allgemein die kooperativen Aspekte der Sportmedizin und Trainingswissenschaft im Leistungssport und der Prävention erläutert wurden, sollen in den folgenden Ausführungen zunächst die strukturellen Gegebenheiten des menschlichen Körpers dargestellt werden bevor sportartspezifisch eine Definition des Ansatzes über Risikofaktoren die Herangehensweise begründet. Anschließend wird eine volleyballspezifische Betrachtung bisheriger Erkenntnisse nicht nur sportartinhärente Prädiktoren darlegen, sondern auch typische Verletzungsmuster aufzeigen, um die Bedeutsamkeit von Kapazitäten der Prävention als ein entscheidendes Kriterium für Erfolg und Leistungserhalt zu verdeutlichen.

Das folgende Kapitel führt weiterhin die für diese Arbeit relevanten Rahmenkonzepte der einzelnen Themengebiete (Medizin, Biomechanik, Sportwissenschaft) speziell für den Volleyballsport zusammen und erörtert die hieraus resultierende Problemstellung. Dabei wird zunächst die Anatomie des menschlichen Körpers, speziell die der Wirbelsäule, in den Fokus gerückt und versucht, mit Hilfe biomechanischer Methoden die Entstehung von Rückenschmerzen ätiologisch herzuleiten. Die sich anschließende Betrachtung häufiger Beschwerdebilder stützt diese Argumentation. Des Weiteren dient eine Annäherung an das Thema anhand einer Begutachtung der anatomischen Gesetzmäßigkeiten der Herleitung differenzierter biomechanischer Methoden, die den Grundstein der Diagnose von Risikofaktoren für Rückenschmerz darstellen. Abschließend sollen die sportwissenschaftlichen Aspekte durch die Definition eines Anforderungsprofils des Volleyballspiels einen Beitrag zur Kombination aller drei Fachgebiete liefern. Anhand der identifizierten klassischen Bewegungsabläufe des aktuellen Hochleistungs-Volleyballs kann der Bezug zu den zuvor identifizierten biomechanischen und anatomischen Schwachpunkten der Wirbelsäule hergestellt und so eine Begründung der parametrisierten Risikofaktoren geliefert werden.

### 2.1 Der Aufbau der Wirbelsäule und ihre Schwachstellen

Um die Entstehung von Rückenschmerzen und deren Auswirkungen im Volleyballsport zu erfassen, bedarf es eines eingehenden Verständnisses der zugrundeliegenden anatomischen Strukturen. Dieses Wissen ermöglicht eine Einbettung in den Kontext sportspezifischer Bewegungsmuster, indem es die Gesamtheit aller während einer Handlung auf den Körper einwirkenden und inhärenten Kräfte biomechanisch begründbar macht. Daher sollen, trotz bereits bestehender Aufbereitungen dieser Thematik (u.a. in Kleins & Sommerfelds, 2004; Lanz & Wachsmuth, 1982), die Grundgedanken im Folgenden erläutert und mit eigenen Überlegungen ergänzt werden und u.a. als Bausteine der Begründung ausgewählter biomechanischer Tests dienen. Dabei wird, unabhängig von altersbedingten morphologischen Veränderungen, die Wirbelsäule (WS) eines gesunden Erwachsenen in ihrem Auf-



bau betrachtet. Es wird jedoch davon abgesehen, diese Aufarbeitung bis in die mikroskopischen Gegebenheiten zu erläutern. Vielmehr sollen die wichtigsten Eckpfeiler zur Illustration und Verknüpfung von Anthropometrie und Mechanik im Volleyball unter medizinischen Aspekten dienen. Im Laufe dieses Kapitels werden einige strukturelle Schwachstellen erläutert, die für die Entstehung von Rückenschmerz verantwortlich sein können. Die Häufigkeit derartiger morphologischer Prädiktoren verdeutlicht die Komplexität des Systems und der damit verbundenen Vielzahl differenzierter Beschwerdebilder, die in dieser Arbeit nicht speziell betrachtet werden können. Aus praktischen Überlegungen heraus scheint eine Begrenzung sinnvoll, da für klar diagnostizierte Pathologien, nach klinischer Erfahrung, unmittelbar Therapiemaßnahmen eingeleitet werden können. *Unspezifische* Schmerzen sind jedoch schon per Definition undiagnostiziert (Hoy et al., 2010, S. 775), weshalb die Entwicklung präventiver Maßnahmen hier einen bedeutenden Erkenntnisgewinn darstellt. So wird der Fokus auf die weithin als „unspezifischen“ bezeichneten Beschwerden gelegt.

Laut Lanz und Wachsmuth (2004, S.184f) gibt es drei Formen der Haltung: die „Normale Haltung“, die „Fehlhaltungen“, welche durch funktionelle Schwachstellen produziert werden und die „Fehlformen“, die „fixierte Formanomalien“ darstellen, also genetische oder traumatisch bedingte, physiologische Veränderungen der Morphologie. *Haltung* ist aber - bewusst gewählt - ein auch in der Psychologie gebräuchlicher Begriff, der einen somatischen und psychischen Zustand beschreibt. Die tatsächliche menschliche Haltung stellt sich also als Summe diverser Systeme dar, die separat betrachtet vollkommen verschiedene Aufgaben erfüllen (Lanz & Wachsmuth, 2004). Aus diesem Anlass ist eine ganzheitliche Perspektive in der Beschreibung von Haltungsparemtern unabdingbar. Zunächst müssen jedoch die separaten Bausteine funktionsanalytisch eingeordnet werden. Abbildung 1 zeigt die einzelnen Segmente der WS. Dabei ist in erster Linie die Doppel-S-förmige Struktur (zervikal- & lumbal-Lordose, thorakal- & sakral-Kyphose) bemerkenswert, bestehend aus sieben Hals-, zwölf Brust-, fünf Lenden-, fünf Kreuzbein- und vier/fünf Steißbeinwirbeln. Der Sakralbereich (Kreuz- und Steißbein) wird keine besondere Beachtung finden, da er durch seine starke Verknöcherung und das Fehlen der *disci intervertebrales* kaum zur Beweglichkeit beiträgt (Drake, Vogl & Mitchell, 2015).

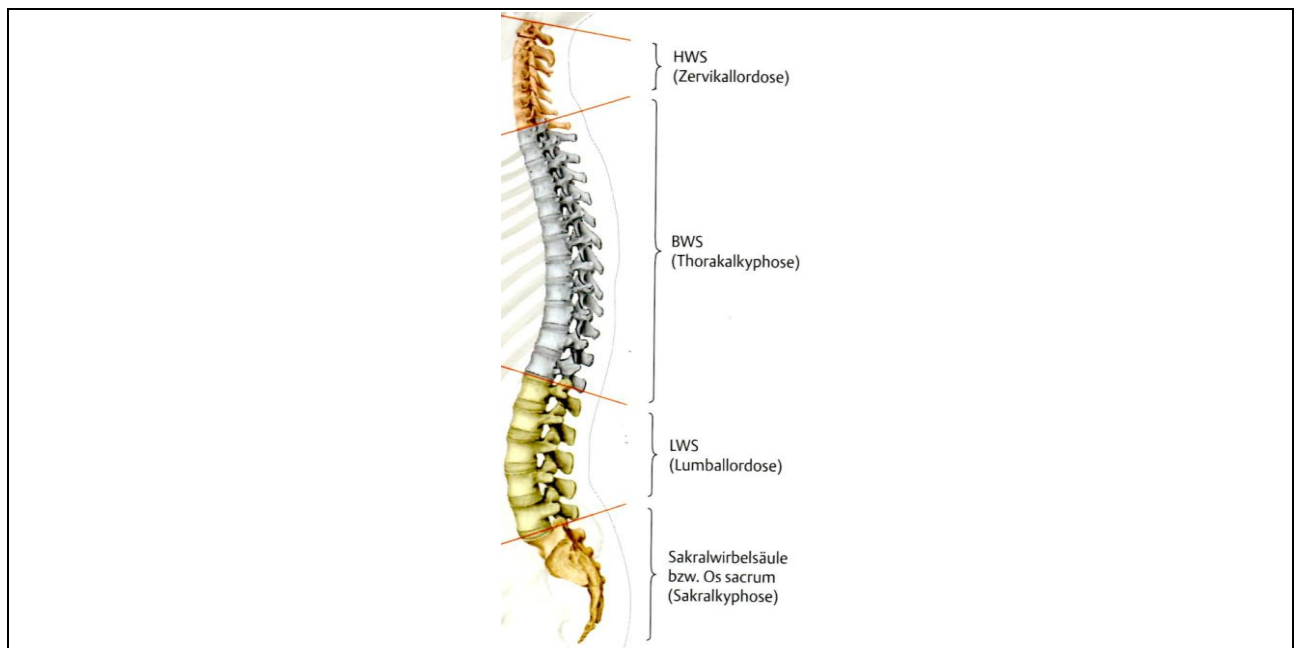


Abbildung 1: Der Aufbau der menschlichen Wirbelsäule; aus Schünke et al., 2002, S. 101.

Der zervikal- wie lumbal- Bereich wird überwiegend muskulär unterstützt, während die thorakal-Segmente hauptsächlich durch Ligamente und Ossa (Costae, Sternum) stabilisiert werden (Schünke, Schulte, Schumacher, Voll & Wesker, 2002). Die exakte Wirbelsäulenform wird maßgeblich von diesen umgebenden Strukturen beeinflusst, welche die WS überwiegend auf Zug belasten.

„Alle massiven Abweichungen von diesen, der Funktion angepassten Biegungen [doppelte S-Form] der Wirbelsäule sind offensichtlich mechanisch unzweckmäßig und führen zu einer vermehrten und ungünstigen funktionellen Beanspruchung. Dies gilt sowohl für die zu stark gekrümmte wie für die übermäßig gestreckte Wirbelsäule“ (Lanz & Wachsmuth, 2004, S.185).

Ob derartige Funktionsanpassungen im Sport eventuell als notwendige morphologische Adaptionen anzusehen sind, ist noch ungeklärt. Dieses Forschungsvorhaben soll für die Gruppe der Volleyball-Athleten dies bzgl. einen Lösungsansatz bieten.

Für die Form und Bewegung der WS sind neben Muskeln hauptsächlich Bandscheiben, Wirbel, Gelenke und Bänder verantwortlich. Ergeben sich Asymmetrien in der Architektur – sei es durch strukturelle Defizite oder andauernde, hohe Kräfte, die die Absorptionsfähigkeit der Muskulatur übersteigen (wie z. B. häufiges Landen nach Maximalsprüngen), – kommt es zum Ausgleich über umliegende Gewebe. Dabei erhöht/verändert sich nicht nur der Druck auf die Bandscheiben, sondern kann neben der Belastung der intervertebralen Gelenke (Art. Zygapophysialis, Facies Articularis) auch eine potentielle Zugerhöhung an den proc. Spinosi und Transversalis bzw. den Ligg. Supraspinalia, Interspinalia, Intertransversaria, Longitudinalia und Flava zur Folge haben (Hamill & Knutzen, 2009, S.264f). Eine Flexion des Rumpfes, wie sie vor allem durch die ständige Vorhalte der oberen Extremitäten für Volleyball charakteristisch ist, geht überwiegend mit einer Straffung der Ligg. sowie der Erhöhung des Druckes auf den frontalen Anteil der Bandscheiben

einher, wohingegen die Extension (typisch für einen Hechtbagger oder den Angriffsschlag) den posterioren Anteil der Zwischenwirbelscheiben belastet und (weitestgehend) mit einer Entlastung des dorsalen Bandapparates korreliert. So können bei dauerhafter Einwirkung nicht kompensierbarer Kräfte altersunabhängig degenerative Veränderungen im Bereich der WS resultieren.

Typische Krankheitsbilder sind hier neben den Bandscheibendegenerationen, Wirbelkörperdeformitäten/-Frakturen oder vor allem auch Spinalkanalstenosen, welche durch eine Verknöcherung der Wirbelkörper (Erhöhung der kraftübertragenden Fläche) zu einer Einengung des Foramen intervertebrale bzw. der Nervenbündel führen können (Schünke et al., 2007, S.128). Dabei ist der Faserring der Bandscheiben im Allgemeinen beim erwachsenen Menschen frei von Nervenbahnen und Blutgefäßen (Lanz & Wachsmuth, 2004). Seine Überlastung äußert sich zunächst in feinen Mikrorissen, ähnlich der Frakturierung knöchernen Gewebes (Adams, 2004) bis hin zum letztendlichen Funktionsausfall.

Eine rein „axiale Belastung [scheint aber] nicht ursächlich für Bandscheibenvorfälle“ (Brinckmann, Frobin, Leivsetz & Drerup, 2012, S.337). Vielmehr lässt sich eine Überlastung durch Landungen in Hohlkreuzhaltung nachweisen (Lanz & Wachsmuth, 2004), welche die Biegungsachse der Bandscheiben (im Lumbalbereich) hinter deren Neutralachse nahe des Wirbelkanals verlegt (Krayenbühl et al., 1968). Ergänzend hierzu ließ sich zeigen, dass Damen in der allgemeinen Bevölkerung eine höhere Lendenlordose besitzen als Herren (Schröder, Stiller & Mattes, 2011), wodurch sich die Distanz der Neutralachse zur Biegungsachse in Hohlkreuzhaltung zusätzlich vergrößert. Speziell im unteren Teil der Wirbelsäule können die Recessi Lateralis die Spinalnerven festhalten, so dass die Bandscheiben direkten Druck ausüben können (Lanz & Wachsmuth, 2004, S.37).

Insbesondere im Volleyball ist durch die regelmäßige Hyperextension der WS eine Abnutzung im dargelegten Rahmen zu erwarten. Sharma, Lancaster, Bagade und Hildebolt (2014) identifizieren in ihrer MR gestützten Analyse einer jungen Population auch vorwiegend eine Schädigung des Anulus Fibrosus und des Nucleus Pulposus, nicht aber der Endplatten (S.3). Bei Hyperflexion unter hoher Belastung ist es jedoch möglich, dass „dorsale Bandverbindungen reißen und die Bandscheibe sich teilweise von der Endplatte des Wirbels“ löst (S.337). Die Kompressionslast auf die Bandscheiben ist aber bei Flexion des Rumpfes am größten (Brinckmann et al., 2012) und lässt sich nur durch muskuläre Anspannung kompensieren. Diese Stabilisierung des Rumpfes erfolgt über das Zusammenspiel einer Vielzahl lokaler und globaler Muskeln, reflexinnerviert oder willentlich angesteuert. Es wird deutlich, dass gerade im Volleyballsport die intensive Ausbildung rumpfstabilisierender Muskulatur zwingend notwendig erscheint.

Im Folgenden werden funktionsanalytisch die betreffenden Muskelpartien nur knapp erörtert, da diese überwiegend in der Literatur im Konzept des *Cores* impliziert und bereits mehrfach anschaulich illustriert sind (Schünke et al., 2007; Tittel, 2003). Eine Darstellung erscheint dennoch u.a. für die exakte Planung trainingsbezogener Rehabilitationsmaßnahmen struktureller Defizite notwendig. Diejenigen

hüftumgreifenden Anteile, welche ursprünglich nicht in genannter Definition enthalten sind, werden aufgrund ihrer Bedeutung für den Verlauf der WS dennoch in den Etat aufgenommen. Funktionell werden zunächst die Rumpfextensoren vor den Flexoren dargestellt, bevor die hüftstabilisierende Muskulatur Beachtung findet. Es werden jedoch nie nur einzelne Muskelzüge funktionspezifisch isoliert angesteuert, vielmehr überschneiden sich die Anteile der Muskulatur an Bewegung und Stabilisation (Lanz & Wachsmuth, 2004, S.93). Das folgende anatomische Kapitel orientiert sich an den Ausführungen von Schünke et al. (2007) und Tittel (2003).

Der laterale Trakt der autochthonen Rückenmuskulatur zeichnet hauptsächlich für die Dorsalextension des Rumpfes verantwortlich. Dabei stellt die Fascia Thoracolumbalis einen der wichtigsten Ansatzpunkte dar. Neben den Rippenmuskeln M. Iliocostalis und M. Longissimus dienen vor allem die Mm. Intertransversarii zwischen den Procc. Mamillares der Lendenwirbel der Stabilisierung der WS sowie ebenfalls der Extension. Dies wird vom medialen Anteil des Erector Spinae unterstützt, welcher sich hauptsächlich durch die Quer- und Dornfortsätze der WS zieht (Mm. interspinales, Mm. Rotatores Breves und Longi, Mm. Multifidi, M. Semispinalis) und demnach unmittelbar zur Steuerung der Stabilität beiträgt. Antagonistisch zu den beschriebenen Partien steht die Bauchwandmuskulatur, welche in ihren frontalen Anteilen (M. Rectus Abdominis, RA) aber auch dem dorsal gelegenen M. Quadratus Lumborum (QL) zunächst der Ventralflexion dient. Lateralorientierte Muskeln (Mm. Obliqui, M. Transversus Abdominis, TrA) unterstützen zudem die Seitneigung sowie Rotation des Rumpfes.

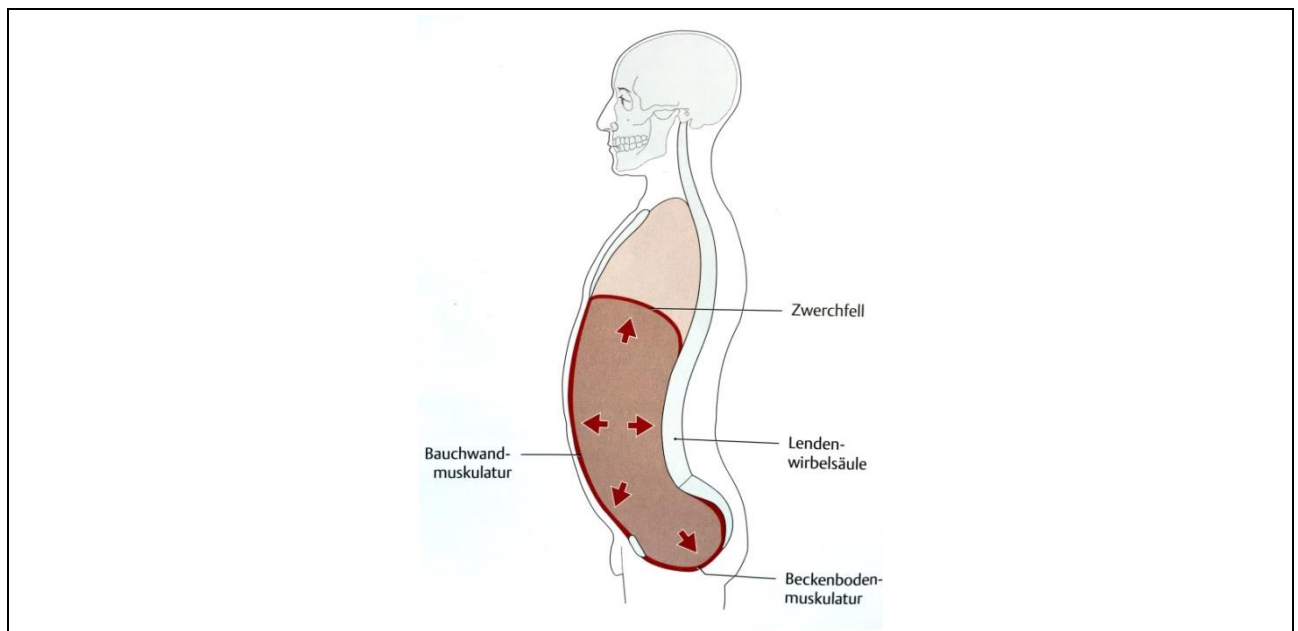


Abbildung 2: Illustration der Wirbelsäulenstabilisierung durch die Bauchpresse bzw. die Erhöhung des intraabdominalen Drucks, aus Schünke et al., 2007, S.154.

Den Muskeln QL, RA und TrA kommt eine weitere Aufgabe zu, welche zwar nicht primär die Stabilität der WS gewährleistet, aber einen relevanten Beitrag hierzu liefert: die Bauchpresse. Durch die Erhöhung des intraabdominalen Drucks

(Abbildung 2), unterstützt durch das Diaphragma, lässt sich die WS stabilisieren, indem die Spannung der Lordosierung der Lendenwirbelsäule entgegenwirkt. Neben den genannten rumpfumgebenden Muskeln bildet aber auch die Hüfte einen zentralen Baustein der WS-Form. Eine Kippung des Beckens (ventral) ist gleichbedeutend mit der Lordosierung der WS und hauptsächlich einem Missverhältnis zwischen RA (Aufrichtung des Beckens) und M. Iliopsoas (Kippung des Beckens) geschuldet.

„Ein Ungleichgewicht zwischen autochthonen Rückenmuskeln und Bauchmuskeln macht sich besonders im unteren Wirbelsäulenbereich und bei der Kippung des Beckens bemerkbar [...]. Bei erschlaffter und wenig trainierter Bauchmuskulatur resultiert eine passive schlaaffe Haltung mit einer übermäßigen Beckenkippung nach vorne. Hierbei wird die Lendenwirbelsäule durch die zunehmende Verkürzung der autochthonen Rückenmuskeln übermäßig lordotisch. Diese Haltung wird durch den zur Verkürzung neigenden M. iliopsoas (Mm. Psoas major und M. iliacus) unterstützt“ (Schünke et al., 2007, S.155).

Aber auch größere Muskelgruppen (Mm. Glutaeus, M. Biceps/Triceps Femoris) setzen an der Hüfte an (Faries & Greenwood, 2007; Akuthota, 2004) und bestimmen somit deren Ausrichtung, wie Hibbs et al. (2008) bestätigen (Abbildung 3).

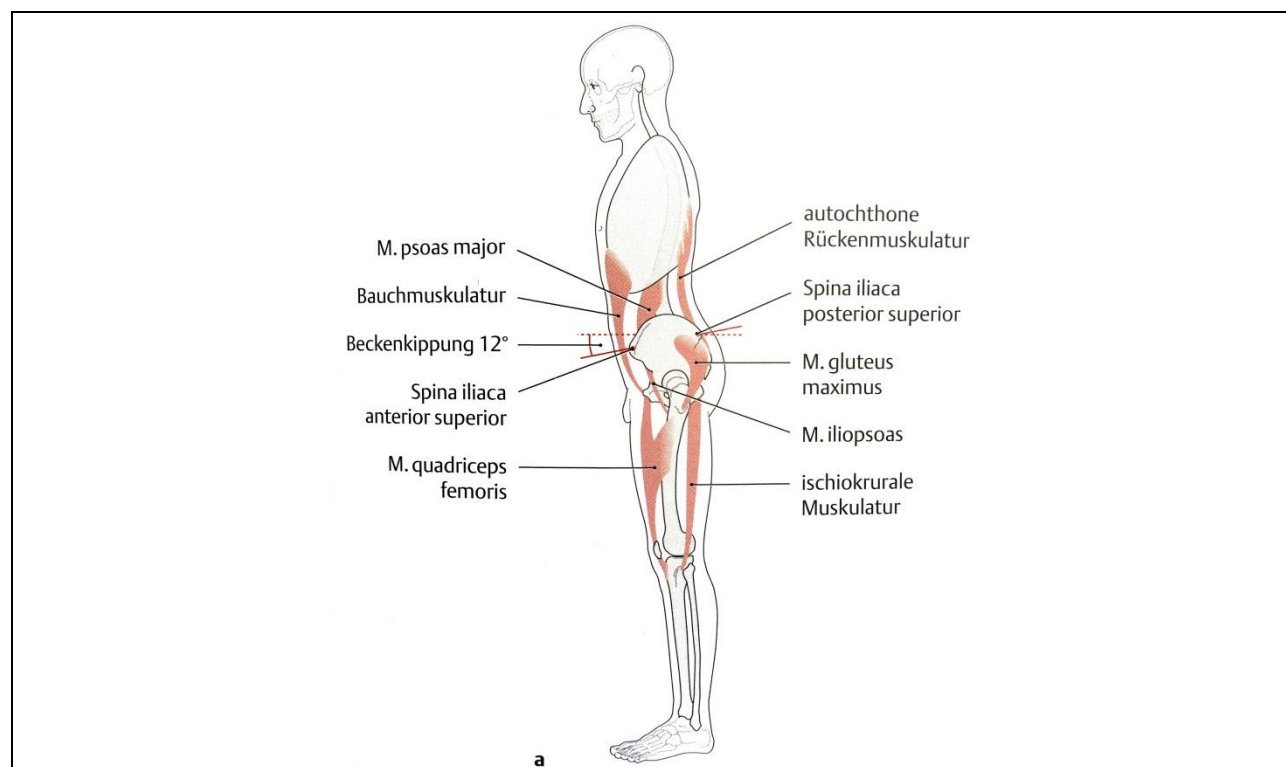


Abbildung 3: Darstellung der globalen, hüftumgreifenden Muskulatur, aus Schünke et al., 2007, S.155.

Auch für Kibler, Press und Sciascia (2006) stellen die unteren Gliedmaßen einen Teil des Cores dar, welcher infolgedessen ebenfalls betrachtet und trainiert werden muss. Insbesondere der M. Iliopsoas, welcher für die Beugung des Hüftgelenks verantwortlich ist, verstärkt die Lendenlordose, indem er der Aufrichtung des Beckens entgegenwirkt (Lanz & Wachsmuth, 2004). Durch die Aufrichtung (dorsal Rotation um die Transversalachse) wird der massive, tragende Teil des Rückens

(lumbal) entlastet und das Schwerelot dem Lot der Wirbelsäule angenähert (nach dorsal verschoben). Diese Winkeländerung bewirkt in der Folge eine Verringerung der Lendenlordose sowie letztlich eine Entlastung des dorsalen Anteils der Bandscheiben (Nukleus Posteriorisierung, Lanz & Wachsmuth, 2004). „So werden z. B. Änderungen der Beckenstellung, was auch immer ihre Ursache sein mag, durch eine entgegengesetzte Krümmung der Wirbelsäule kompensiert“ (Lanz & Wachsmuth, 2004, S.95).

Ein „langer, steifer und flacher Rücken“ ist jedoch, kontrovers dazu, ebenso als Risikofaktor zur erstmaligen Entstehung von Rückenschmerz anzusehen (Adams, Mannon & Dolan, 1999, S.2500), da durch die vertikale Aufrichtung „beim Menschen vorwiegend die kranio-kaudale Belastung der Wirbelsäule in Relation zur Körpermasse zu [nimmt], was vor allem für die Lendenwirbelsäule zutrifft“ (Klein & Sommerfeld, 2007, S.2). Dies führt zu unterschiedlichen Belastungen jedes Wirbels, so dass vergleichsweise C1 nur ~5% der Gesamtkörpermasse trägt (Caput), während hingegen L4 bereits mit ~46,6% (Caput, Trunkus & obere Extremitäten) belastet ist. Die Angabe der Teilkörpermassen beruht auf dem Modell von Zatsiorsky (2002) und ist von diversen Faktoren abhängig (Körpergewicht, Körperfettanteil, Geschlecht, Knochendichte, etc.). Die Kräfte, welche an jedem Wirbel ansetzen sind abhängig vom Körperschwerpunkt (KSP), der durch die unterschiedliche Massenverteilung des Körpers sowie die Form der WS je Wirbel anderenorts lokalisiert ist. Eine erhöhte Masse bzw. ein höheres Körpervolumen der oberen Körperhälfte könnte sich demnach negativ auf die Rückenstatik auswirken (Visnes & Bahr, 2012). Aber auch ein langer Rumpf könnte durch den verlängerten Hebel zu erhöhten Kraftmomenten führen. „Nimmt man eine vermehrte Anteriorisierung eines partiellen (segmentalen) Schwerpunkts an, so kommt es zur Kompensation in einem [der] darunterliegenden Gelenke“ (Klein & Sommerfeld, 2007, S.17). Dies wird durch Pennings et al. (1978) Röntgenuntersuchung bzgl. des Rotationspunktes einzelner Wirbelsegmente bestätigt und auch Brinckmann resümiert:

„Die Verschiebung nach caudal bedeutet, dass eine Rotationsbewegung der Wirbel immer mit einer Verschiebung nach ventral oder dorsal verbunden ist. Neigt man beispielsweise den Wirbel L3 gegenüber dem Wirbel L4 nach vorn [...], so bewegt sich, bedingt durch die Lage des Drehpunkts L3/L4, der Wirbel L3 als Ganzes nach vorn“ (Brinckmann et al., 2012, S.330).

Besonders im Volleyballsport, für den das untere Zuspiel (uZ) durch das Vorhalten der oberen Extremitäten (OE) als Technikausführung obligatorisch ist (Meyndt, Peters & Schulz, 2010), ist eine dauerhafte Anteriorisierung des KSPs als typisches Belastungsmuster der WS zu verzeichnen. Die Flexion der Wirbelsäule während der Ausübung des uZ (Abbildung 4) verstärkt die besagte Vorverlagerung des KSP.

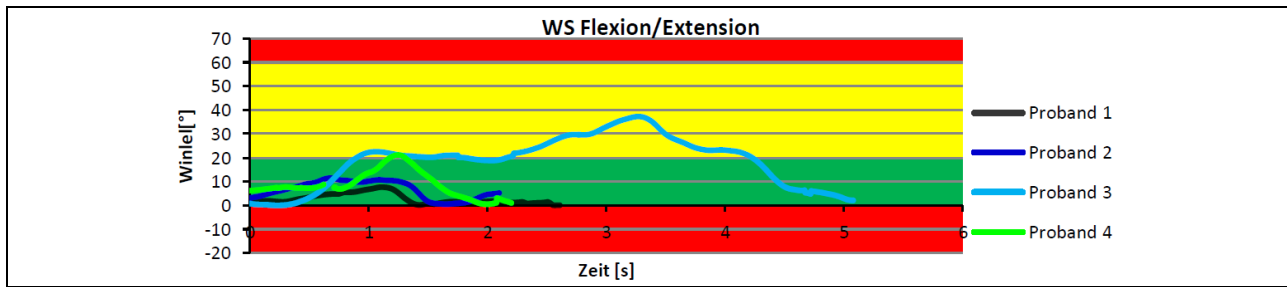


Abbildung 4: Winkelverlauf der thorakalen Wirbelsäule beim frontalen unteren Zuspiel (UZ); aus Fett, 2015, S.67.

Die Auswirkungen (primär muskulär) dieser Anteriorisierung auf den Rumpf werden von Hammill, Beazell und Hart (2008) konkreter spezifiziert. Demnach ist schon durch ein geringes Vorwärtslehnen die gesamte dorsale Muskelkette beansprucht, insbesondere bei anschließenden dynamischen Belastungen und wirkt sich hauptsächlich auf die Kraftspitzen des unteren Rückens aus:

„In theory, a forward-leaned posture or a reduction in trunk proprioception would cause a shift the center of mass, resulting in a reorganization of lower extremity moments during activity. For example, in the sagittal plane, a more anteriorly displaced center of mass would cause ground reaction forces to pass closer to the knee joint in the sagittal plane, resulting in altered knee joint mechanics. This is concerning since poor ground reaction force attenuation by eccentric quadriceps activity may lead to proximal transmission of forces through the knee, hip, and lumbar spine joints. This combined with the possibility of reduced quadriceps muscle activation (increased inhibition) in the presence of lumbar paraspinal fatigue leaving the musculature of the lumbar spine responsible to absorb an excessive amount of force” (Hammill et al., 2008, S.457).

Dies wird auch von Lanz und Wachsmuth (2004) bestätigt, die der gesamten dorsalen Rückenmuskulatur ein Entgegenwirken der Ventralverlagerung zuschreiben. Der interpartielle Zusammenhang anatomischer Strukturen lässt sich anhand unterschiedlicher Studien verdeutlichen: Loram et al. (2004) konnten bei leichter Oszillation des Oberkörpers während der anterioren Bewegungsphase u.a. eine Aktivität des M. Triceps Surae nachweisen und Nadler et al. (1998) identifizieren eine Korrelation zwischen LWS-Beschwerden und einer Dysbalance der hüftumgebenden Muskulatur. Umgekehrt beobachtet Zazulak et al. (2007) ein erhöhtes Verletzungsrisiko der unteren Extremität bei geringerer motorischer Kontrolle der Lendenwirbelsäule (gemessen über einen Wobble-Chair). Defizite in einzelnen Strukturen können sich demzufolge gleichermaßen kranial wie kaudal auswirken, wie bereits Zak (1997) in seiner Untersuchung zum Einfluss funktioneller Wirbelsäulenstörungen auf die Schulter von Athleten verifiziert. Daher wird die individuelle Körperzusammensetzung (in dieser Arbeit repräsentiert durch anthropometrische Maßzahlen, Volumina der Segmente und Körperproportionen) als ein wichtiger Prädiktor für die Entstehung von Rückenschmerz gesehen.

Neben globalen Zusammenhängen lassen sich jedoch auch Hinweise auf die Bedeutung lokaler Schwachstellen finden. So kann die isolierte Aktivierung der lendenwirbelsäulenumgreifenden Muskulatur laut Tsao und Hodges (2008) zur Schmerzreduktion beitragen. Da es sich hierbei ausschließlich um wirbelsäulennahe Muskulatur handelt, welche überwiegend stabilisierende Funktionen einnimmt,

scheint es kaum verwunderlich, dass Defizite der angesprochenen Strukturen Schmerzsymptome hervorrufen können. Ein Hinweis darauf, ob sich Schwachstellen in den lokalen primären Stabilisatoren (TrA & M. Multifidus; Norris, 1999) stärker als in den sekundären (Obliquus & Quadratus Lumborum; Norris, 1999) auswirken ist bisher noch nicht erbracht worden.

In diesem Kapitel wurden die strukturellen Gegebenheiten der Wirbelsäule und ihrer umliegenden Gewebe inklusive potentieller Schwachstellen erörtert. Neben den Bandscheiben konnte so die Bedeutung muskulärer Stabilität, ligamentärer Unterstützung aber auch neuraler Ansteuerung des Rumpfes sowie der Hüfte dargelegt werden. Insbesondere muskuläre Dysbalancen, degenerative Erkrankungen der WS, der Einfluss der neuromuskulären Kontrolle und dauerhafte Innervation der Rumpfmuskulatur erwiesen sich zudem als provokante Variablen zur Entstehung von RB. Wirbelsäulenbeschreibende Parameter scheinen demnach unabdingbar in der Diagnose symptomatischer Patienten. Neben der statischen Interpretation der Morphologie scheint jedoch auch die Betrachtung der spezifischen dynamischen Belastungsanforderungen zur Erklärung sportartbedingter Rückenbeschwerden unabdingbar und soll daher im folgenden Kapitel Berücksichtigung finden.

## **2.2 Der Rücken im Fokus von Sportmedizin und Trainingswissenschaft**

Der Rumpf und die WS sind nicht nur als medizinisch hochkomplex anzusehen, sondern auch als Zentralorgan wichtiger Bestandteil von Bewegung und Bewegungssteuerung. Über den Spinalkanal leiten afferente und efferente Nervenbahnen Reize des zentralen Nervensystems an die motorischen Einheiten weiter, um die Muskulatur anzusteuern (relevant für Handlungen innerhalb des sportlichen Kontextes). Beeinträchtigungen des Rückens gehen häufig mit Bewegungsdysfunktionen einher und wirken sich so ebenfalls auf alle erdenklichen motorischen Handlungsabläufe bzw. Bewegungen im Sport aus. Dies bewirkt sowohl eine hohe Relevanz der Gesundheit des Rumpfes aus medizinischer als auch aus sportwissenschaftlicher Sicht.

Rückenschmerz kann vielerlei Ursachen haben, die multifaktorielle Struktur der Beschwerden ist also durch eine ganzheitliche Wissenschaft wie der Trainingswissenschaft optimal abgedeckt, wie sich in der folgenden Begriffsbestimmung zu Rückenschmerz herauskristallisieren wird. Dabei soll der Anspruch dieses Kapitels nicht in einer ganzheitlichen Erfassung sämtlicher Krankheitsbilder bestehen, sondern zunächst über die Mechanismen und Faktoren zur Entstehung von Beschwerden die Kontroverse bzgl. des nicht trivialen Zusammenhangs von Schmerz und Wirbelsäulenform aufgreifen. Anschließend werden sowohl präventive Interventionen als auch therapeutische Maßnahmen als Resultate trainingswissenschaftlicher Studien aufgegriffen, um neben der Definition einer Stabilität des Rumpfes auch den aktuellen Wissensstand von Therapiemöglichkeiten zwischen Allgemeinbevöl-



kerung (Nationale Versorgungsrichtlinie der Bundesärztekammer (NVL), 2010) und Spitzensport zu differenzieren.

## 2.3 Begriffsbestimmung (Rücken-)Schmerz

Als multifaktorielles Phänomen ist Schmerz u.a. höchst subjektiv, d.h. abhängig von individueller Verarbeitung und Empfindung wie Melzack und Wall (1965) bereits früh konstatieren: „pain as a complex phenomenon that comes about through an interaction of sensory-discriminative, motivational-affective, and cognitive-evaluative components“ (S.329). Siemonsma et al. (2013) liefert ebenfalls Hinweise, die auf einen kognitiven Anteil chronisch unspezifischer Rückenschmerzen hindeuten, indem er die Aktivität symptomatischer Patienten nach kognitiver Behandlung erfasst (Siemonsma et al., 2013, S.436). Laut der Internationalen Gesellschaft zum Studium des Schmerzes (Merskey et al., 1994) definiert sich Schmerz als:

„An unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage, or described in terms of such damage“ (Merskey et al., 1994, S.210).

Niemier und Seidel (2012) beschreiben ergänzend, dass die Schmerzverarbeitung unter belastenden Bedingungen (traumatische Erlebnisse, Stress, emotionaler Befangenheit, wiederkehrenden Schmerzen) beeinträchtigt und anfälliger sein kann:

„Nervenzellen werden hypersensibel, die zentrale Repräsentation betreffender Körperbereiche verändert sich und in den affektverarbeitenden Systemen des ZNS [Zentralen Nervensystems] kommt es zu einer verstärkten Erregung. Diese Veränderungen können eine erhöhte Schmerzempfindlichkeit und/oder eine Ausbreitung des Schmerzes bewirken. Die zentrale Schmerz- und Affektverarbeitung stellt sich auf den Schmerz ein und eine besondere schmerzbezogene Aufmerksamkeit entwickelt sich“ (Niemier & Seidel, 2012, S.54).

Ferner kann durch besagte Prozesse die Angst vor Bewegung entstehen, die sich in weiterer Folge auf das soziale Umfeld sowie die Lebensqualität auswirken kann. Gatchel, Polatin und Mayer (1995) konnten zudem den hohen Einfluss psychosozialer Risikofaktoren für die Entstehung von Rückenschmerzen zeigen. Zwar wurde in ihrer Befragung von Arbeitern kein eindeutiger Hinweis auf die Richtung des kausalen Zusammenhangs identifiziert, 90% der Stichprobe konnten jedoch anhand der Ausprägung innerhalb der Fragebogen-Items korrekt klassifiziert werden. Diesen Verdacht erhärtet die aktuelle wissenschaftliche Forschungslage, die in vielen Untersuchungen den positiven Einfluss kognitiver Therapien bzw. verhaltenstherapeutischer Interventionen auf die Schmerzbeseitigung bei chronischen Beschwerden propagiert (Eccleston, Malleson, Clinch, Connell & Sourbut, 2003; Nicholas, Wilson & Goyen, 1992; McCracken & Turk, 2002). In weiterführenden Studien gelang es zudem der Gruppe um Gatchel (Dersh, Polatin & Gatchel, 2002) im Rahmen eines Literatur Reviews, den Einfluss der psychischen Gesundheit auf chronischen Schmerz zu bestätigen. Demnach scheinen psycho-soziale Belastungen prädestinierend für die Entwicklung von Beschwerden und brechen bei Auftreten von Schmerzen aus, was sich in einer messbaren Psychopathologie wieder spiegelt (S.773).

Eines der ungelösten Probleme der Wissenschaft in Bezug auf unspezifischen (chronischen) Rückenschmerz ist dessen konkrete Definition bzw. Operationalisierung. Hierfür wurden zahlreiche Konzepte vorgeschlagen, welche innerhalb der Kategorien (temporär, topographisch) differieren. Eine Reduktion der Identifikation von Beschwerden auf rein temporäre Bezüge wie Punkt-, Monats- oder Jahresprävalenz weist selbst bei ähnlichen methodischen Vorgehensweisen und Rahmenbedingungen (Biering-Sorensen, 1982; Hestbaek et al., 2003; Andersson et al., 1993) eine Differenz von bis zu 30% auf. Eine Typisierung des Rückenschmerzes anhand der Lokalisation oder Art der Beschwerden ohne zeitlichen Bezug scheint jedoch ebenso fragwürdig. In ihrem umfangreichen Review zur Epidemiologie von Rückenschmerzen plädieren Hoy et al. (2010) für die von Dionne, Dunn, Croft et al. (2008) implementierte Beschreibung des ‚lower back pains‘. Im Rahmen eines 28-köpfigen Expertengremiums wurde eine Definition von unteren Rückenschmerzen festgelegt, welche wie folgt zusammengefasst werden kann:

„pain between the inferior margin of the 12th rib and inferior gluteal folds that is bad enough to limit usual activities or change the daily routine for more than 1 day. This pain can be with or without pain going down into the leg. This pain does not include pain from feverish illness or menstruation“ (Hoy et al., 2010, S.775).

Ein zentraler Aspekt, der gerade im lumbalen Anteil der WS angesiedelten Schmerzdefinition, ist die explizite Einteilung unspezifischer Beschwerden nach den Kategorien „upper lumbar“, „lower lumbar“ and „lumbosacral spinal pain of unknown or uncertain origin“ (Merskey et al., 1994, S.31f). Gemäß dem Schmerzkatalog gilt also die Existenz unspezifischer Pathologien bereits als gesichert, wird jedoch nur als Übergangszustand bis eine Störung der strukturellen Integrität erwiesen ist, beschrieben:

„This diagnosis may be used as a temporary diagnosis. Patients given this diagnosis could in due course be accorded a more definitive diagnosis once appropriate diagnostic techniques are devised“ (Merskey et al., 1994, S.178).

Dabei können nachweislich psychologische Störungen (Linton & Halldén, 1998), soziale Umstände und Gewohnheiten (u.a. Rauchen, Lebensgemeinschaft, Elternschaft; Neuhauser, Ellert und Zisse, 2005) verantwortlich für Beschwerden des Rückens sein wie auch eine Schwangerschaft (Russell, 1997) oder Bewegungsmangel (Neuhauser et al., 2005). Aber auch berufliche Beeinträchtigungen wie z. B. lange Wochenarbeitszeiten, Schichtdienst oder Leistungsdruck stellen Stressoren dar, welche den psycho-physischen Stress und somit die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung von RB erhöhen können (Haber, 2009, S.115f).

Im Kontext Sport zeigen Hibbs et al. (2008), dass Leistung nicht notwendigerweise bedeutet, schmerzfrei zu sein, sondern nur sportartspezifische Leistungsparameter zu erbringen. Dabei ist jedoch die Auswirkung von Schmerz auf die Leistungserbringung und -entwicklung fraglich. Nach Descarreaux et al. (2005) hat eine Schmerzapplikation während Extensions-/Flexions-Bewegungen keine Auswirkungen auf die motorische Kontrolle. Allerdings sind hier weder Lat. Flexionen noch Rotationen des Rumpfes noch die Athleten des Spitzensports berücksichtigt. Die

motivationale Komponente des Leistungssports (häufig auch ökonomischer Natur) findet ebenfalls keine Berücksichtigung in den Ausführungen Descarreaux. Wilke und Buhmann (2013) können hingegen an Patienten aus der allgemeinen Bevölkerung zeigen, dass Bewegungsmuster unter Schmerzen qualitativ schlechter ausfallen als ohne Beschwerden. Ein Ansatz, welcher die subjektive Empfindsamkeit gegenüber Schmerz illustriert, ist das fear-avoidance-beliefs Modell (FAM). George et al. (2007) beschreiben jenes Konzept wie folgt:

„Psychological models are commonly used to explain one manner in which chronic disability develops from LBP and one specific model is the Fear-Avoidance Model. This model proposed that fear-avoidance beliefs and pain catastrophizing are the primary psychosocial factors involved in the development and maintenance of chronic symptoms“ (George et al., 2007, S.3).

Descarreaux et al. (2006) unterstützen diese These durch ihre isometrischen Messungen der Rumpfmuskulatur bei Lumbalgie Patienten. Für sie liegt die Vermutung nahe, dass veränderte Kraftparameter hauptsächlich auf fear-avoidance-beliefs zurückzuführen sind. Die Europäischen Richtlinien widersprechen jedoch diesem Ansatz und negieren den Einfluss der Angstvermeidung auf biomechanische Untersuchungen bei Rückenschmerzpatienten (lumbale RB).

Die subjektive Erwartung bzgl. der Rehabilitation bzw. Erholung von Rückenschmerzen (*recovery expectations*, Kongsted et al., 2013) scheint geeigneter für die Erklärung des Verlaufs der Symptomatik zu sein. Altmaier et al. (1992) konnten jedoch keinen signifikanten Effekt einer psychologischen Intervention zur Rehabilitation von LBP Patienten feststellen. Als gesichert gilt hingegen, dass Training in der Lage ist, die kognitive Leistungsfähigkeit zu steigern (Alves et al., 2013) und somit auch das psychologische Empfinden und Erleben. Dabei hat sich in der Ausbildung neuronaler Strukturen ein Trainingsumfang von über vier Stunden pro Woche als *threshold* etabliert (Gil, Moreno, Moreno, Garcia-Gonzales, Claver et al., 2013). Ob die kognitive Leistungsfähigkeit auch mit der Schmerzkompensation zusammenhängt, ist nicht geklärt. Der Einfluss psychologischer Faktoren auf den Verlauf von Rückenschmerzen gilt jedoch als gesichert, wenngleich dieser von der individuellen, affektorischen Wahrnehmung abhängig zu sein scheint (Siemonsma et al., 2013). Aus diesem Grunde können nur schwer generalisierende Aussagen getroffen werden, es existieren jedoch einige Versuche der Psychologie, Schmerz zu operationalisieren.

Vor dem Hintergrund der Vielzahl differenzierter Bewertungen von Rückenschmerz hat sich so ein Tool etabliert, welches einen Konsens unterschiedlicher Forschungsansätze bildet. Es kombiniert die Verwendung von Fragen zur Befindlichkeit und Bewegungseinschränkung mit Schmerzskalen und einer graphischen Darstellung der Rückenpartien zur Schmerztypisierung. Da hier jedoch lediglich die Spezifikation lumbaler Beschwerden Berücksichtigung findet, ist für die Diagnose der gesamten Wirbelsäule eine Erweiterung notwendig. Auch Dionne et al. (2008, S.98) argumentieren für die situationsgerechte Optimierung des angesprochenen Konzepts: „hence, the intent was not to find ‚the best‘ low back pain definitions or to

present the final definitions as ‚the only‘ low back pain definitions“ (Dionne et al., 2008, S.98).

Das vorliegende Konzept besteht aus international validierten Fragebögen (Korff et al., 1992; Dionne et al., 2008; D’Hemecourt et al., 2012; Liang et al., 2013). Zur Erfassung psychosozialer Einflussfaktoren auf die Entstehung von Schmerz. Die Orientierung an der Zusammenstellung des bereits erwähnten Projekts des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (MiSpEx-Network, FKZ: IIA1-080102A/11-14, AZ: AZA18pt4fEA) erscheint hier geeignet. Die angesprochene Untersuchung setzt sich eingehend mit der neuronalen Adaptation sensomotorischer Trainingsinterventionen auch vor dem Hintergrund psychologischer Einflussfaktoren auseinander und dient als Orientierungspunkt/Vergleichsstudie. Eine gute Übersicht über die einzelnen Messinstrumentarien ist im Handbuch des deutschen Schmerzfragebogens der deutschen Gesellschaft zum Studium des Schmerzes e.V. (Pfungsten, Nagel, Emrich, Seemann & Lindena, 2007) zu finden: u.a. Korff-Schmerzfragebogen, Fear Avoidance Beliefs (FAB-Q), Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) und Vital Exhaustion (VE). Diese Zusammenstellung gilt bereits als validiert und findet in der klinischen Praxis Anwendung. Im Kapitel bzgl. des methodischen Vorgehens erfolgt eine eingehende Darstellung der angewandten Tests.

## 2.4 Begriffsbestimmung posturale Kontrolle

Orientiert man sich an den gängig zitierten Publikationen (Panjabi, 1992; Klein & Sommerfeld, 2007) zur posturalen Kontrolle, so lässt sich diese als Aufgabe passiver und aktiver Strukturen in Verbindung mit einem neuronalen Steuerungssystem beschreiben (Tabelle 1).

Tabelle 1: Systematisierung der an posturaler Kontrolle beteiligten Strukturen

Systematisierung der stabilisierenden Strukturen	Anatomische Einteilung
Passive Strukturen	Wirbelkörper, Facettengelenke, Bänder, Gelenkkapseln, Bandscheiben
Aktive Strukturen	Muskeln, Sehnen
Steuerungssystem	Propriozeptoren (Golgi Apparat, Muskelspindeln) in Bändern, Sehnen und Muskeln; ZNS

Unverständlich scheint hierbei speziell die Zuteilung der Sehnen, die laut Panjabi (1992) neben den stabilisierenden Muskeln den aktiven Strukturen zuzuordnen sind. Da Sehnen jedoch als Ansatz und Ursprungspunkt für die spannungserzeugende Muskulatur dienen und selbst lediglich Impulsüberträger sind (ähnlich des Bandapparates), scheint ihre Zuordnung zu den passiven Systemen zutreffender. Gerade aus physiotherapeutischer Sicht hat sich im Laufe der Forschung der Begriff *Core* und in dessen Zuge auch das sog. *Core Training* entwickelt. So wurde diesbezüglich in den vergangenen Jahren ein immenser Forschungsaufwand betrieben, um ein solches Konzept zu ergründen. Reeves et al. (2007) stellen in ihrer Kombination aus Review und Delphi-Design-gestützter Analyse zur Stabilität der Wirbelsäule mehrere essentielle Erkenntnisse vor, welche im Folgenden näher be-

trachtet werden, da sie zum Grundverständnis eines anatomischen Gleichgewichts beitragen. Demnach steht vor allem die Differenzierung der Begrifflichkeiten *Stabilität*, *Robustheit* und *Leistung* im Vordergrund, welche seitens Reeves et al. (2007, S.267f) sinngemäß wie folgt differenziert werden müssen: Während die Stabilität den Gesamtzustand des Systems beschreibt, der unveränderlich binär codiert ist (stabil, instabil), bezeichnet die Robustheit das tolerierbare Ausmaß einwirkender Kräfte bevor der Zustand des Gleichgewichts (stabil) kippt. Als Leistung eines Systems wird in diesem Zusammenhang die Geschwindigkeit angesehen, mit welcher das stabile, aber perturbierte System (ohne Überschreitung der Robustheitsgrenzen) in seine Ausgangslage zurück pendelt. Dabei unterliegen Stabilität und Robustheit laut Reeves et al. (2007, S.268) häufig einem Fehlgebrauch, da das Training eines Systems (z. B. Core Training) dieses nicht stabiler, sondern nur robuster werden lässt. Ein unberücksichtigter Begriff, welcher jedoch aufgrund der Häufigkeit seines Gebrauchs (v.a. von Hrysonmallis, 2007; Hrysonmallis, 2011) ebenfalls zu definieren ist, ist das System der *Balance* (auf den Körper bezogen). Diese bezeichnet im allgemeinen Sprachgebrauch die Fähigkeit, den Erhalt eines Gleichgewichts zu gewährleisten und ist somit der Robustheit gleichzusetzen. Im Folgenden ist *Balance Training* also als Training der Robustheit zu verstehen. In der Literatur wird der besagten Balance-Fähigkeit sogar ein Einfluss auf leistungsrelevante Faktoren im Sport zuerkannt: „Balance ability has been found to be significantly related to a number of performance measures in a number of sports“ (Hrysonmallis, 2011, S.7). Die Kapazität der Balance beinhaltet per Definition sowohl statisch als auch dynamisch stabile/instabile Systeme und lässt sich so auch auf funktionale Systeme des Menschen (in diesem Falle die Wirbelsäule, sei es in Ruhe oder in Bewegung) darstellen. Die sportinhärente dynamische Stabilität ist also ein wichtiger Faktor bei der Leistungserbringung. Sie ist jedoch nach Hibbs (2008, S.995) wesentlich schwieriger zu gewährleisten als in langsamen/statischen Prozessen, da sie aufgrund der Vielzahl einwirkender Kräfte ein höheres Maß an Komplexität besitzt. Diese These wird auch von Kibler et al. unterstützt:

„the ability to control the position and motion of the trunk over the pelvis and leg to allow optimum production, transfer and control of force and motion to the terminal segment in integrated kinetic chain activities“ (Kibler et al., 2006, S.189).

Es ist also davon auszugehen, dass Athleten nicht nur einen höheren Bedarf muskulärer Stabilität aufweisen als die allgemeine Bevölkerung, sondern auch besser an komplexe motorische Bewegungsabläufe angepasst sind:

„Due to the different demands placed on the body during sporting activities, more complex core exercises are trained (usually highly dynamic movements with added resistance) compared with those used for training the general population (mostly static in nature). As a result, the research findings performed in patients with LBP and the general population cannot be extended to the athletic and elite sports performer“ (Hibbs et al., 2008, S. 996).

Dies ist im Umkehrschluss aber ebenfalls bei der Trainingsplanung/Gestaltung zu berücksichtigen, da sich die Beanspruchung eines trainierten und eines untrainierten Organismus bei identischer Belastung unterscheidet. Nachdem muskuläre

Strukturen formgebend für die Wirbelsäule sind, ist die Ausprägung der Rumpfstabilisatoren als wichtige Kenngröße der WS Form anzusehen. Insbesondere im Sport stellt sich anhand der unterschiedlichen Belastungsprofile die Frage nach dem Einfluss eventuell auftretender Dysbalancen aufgrund repetitiver Bewegungsmuster. Dies könnte vor allem in Bezug auf die WS-Form zu Veränderungen bzw. sportartspezifischen Anpassungen führen, welche sich im Alltagsleben als nicht funktionell herausstellen. Nachdem nun die wesentlichen Parameter der Stabilität erläutert worden sind, soll im Anschluss der muskuläre Rahmen des Cores Beachtung finden, bevor auf die spezifischen Trainingsoptionen zur Verbesserung der Rumpfstabilität eingegangen wird.

Eine ‚bessere‘ Stabilisierungsfähigkeit definiert sich über eine optimale neuronale Ansteuerung und somit hohe Kontrollfähigkeit und Leistungsentfaltung (Un, Lin, Shiang, Chang, Su et al., 2013). Dies zeigt sich auch an Willigenburg, Kingma, Hoozemans und van Dieens (2013) Studie zur Testung der Ansteuerungsfähigkeit der Rumpfmuskulatur im Sitzen: „in conditions without lumbar muscle vibration, tracking errors were 27.1% larger in LBP patients compared to healthy controls“ (S.1). Auch Bruderemanns (2013) konnte eine schwächere Muskelkontrolle der lumbopelvinen Region bei Lumbalgie-Athleten identifizieren („30% der Tänzer ohne Lumbalgie-Historie waren nicht in der Lage, den M. Transversus abdominis einwandfrei zu kontrahieren, bei den Tänzern mit Lumbalgie-Historie waren es 63%“, S.58), während Descarreaux (2005) eine schlechtere motorische Kontrolle anhand seiner isometrischen Rumpfkraftmessungen nur vermuten kann. Schmerzpatienten scheinen also eine geringere motorische Kontrolle in der lumbo-pelvinen Region aufzuweisen.

Hierfür wird ein spezielles Rumpfttraining als geeignete Interventionsmaßnahme deklariert. Dieses zielt darauf ab, durch ein Training der intervertebralen Muskulatur (lokalen Muskulatur) die Robustheit und Performance bzw. die muskuläre Repositionierung der Vertebrae nach Perturbation (Reeves et al., 2007, S.271) und somit die willkürliche Stabilisationsfähigkeit zu erhöhen. Ein reflex-basierter Ausgleich gilt als effizienter und schneller (Reeves, 2007, S.271), greift also unmittelbar in den Stabilisierungsprozess ein. Diese Stabilisierung der Wirbelsäule ist jedoch nicht nur reflektorisch durch Sehnen und Bänder gewährleistet, sondern obliegt ebenfalls der umgebenden Muskulatur, u.a. dem m. Transversus Abdominis sowie den Multifidii (Hammil et al., 2008, S.454). Die willentliche muskuläre Aktivierung wirkt durch ihre Trägheit aber ggfls. additiv/konträr zur reflexartigen Vertebraebewegung und könnte so in einer Über-/Untersteuerung resultieren.

Zusätzlich impliziert Core-Training eine Erhöhung der muskulären Aktivität des TrA und somit des intervertebralen Drucks bzw. der Lumbalkompression (Mack, 1998). Diese scheint zunächst vorteilhaft, da sie die Verringerung der segmentalen Beweglichkeit und somit die Erhöhung der Robustheit der Wirbelsäule impliziert (Fry et al., 2004). Potvin (2008, S.895) schätzt diese Versteifung, ähnlich wie an Adams Studie eingangs dargestellt, jedoch eher als Risikofaktor für die Entstehung von

Beschwerden ein. Symptomatische Patienten zeigten in seiner Bewegungsanalyse einfacher Hebeaufgaben (*lifting tasks*, S.895) ein signifikantes Defizit in den angesprochenen Bereichen. Auch MRT Befunde einer jungen Population von Sharma et al. (2014) deuten anhand der Ausprägungen darauf hin, dass erhöhter intervertebraler Druck für Schäden verantwortlich sein könnte: „stressed spinal segments show an increased burden of disc degeneration involving annulus fibrosus and nucleus pulposus, but not the end plates“ (S.3). Weiß (2013) beschreibt zudem, dass „die lumbale Bandscheibendegeneration [ist] als Prädiktor für Kreuzschmerzen [...] anzusehen“ (S.59) ist, während Hoy et al. (2010) auch den chronifizierenden Effekt eines steifen Rumpfes berücksichtigen:

“recurrent cases of low back pain have been shown to experience increased trunk stiffness, which may, in turn, increase the likelihood of further low back pain recurrence“ (Hoy et al., 2010, S.772).

Weiterhin konnten Reeves et al. (2007) feststellen, „that a stiffer spine resulted in more trunk displacement during the balancing task. [...] Consequently, for some activities requiring precise trunk control, risk of injury could increase with having a trunk that is too stiff“ (S.271). Eine hohe muskuläre Steifigkeit des Rumpfes würde demnach eine Erklärung für die höhere Variabilität in der Rumpfbewegung während Tests der posturalen Kontrolle und für Rückenbeschwerden selbst bei sportlich höchstaktiven Athleten darstellen. Fry et al. (2014) konnten aber auch zeigen, dass axiale Muskelkräfte allein nicht ausreichend sind, um degenerative Instabilitäten einzelner Segmente komplett auszugleichen. Niedere Kontrolle der lokalen Stabilisatoren erweist sich jedoch ebenso als ungeeignet (George et al., 2007; Limaye, 2012), da die Rumpfmuskulatur durchaus in der Lage ist, geringfügige vertebrae Bewegungen durch Coaktivierung kontrolliert auszugleichen (Reeves et al., 2007, S.271). Es ist also unklar, welches Maß an Robustheit des Rumpfes ein optimales Stabilisierungssystem bewirkt.

Berücksichtigt man die Befunde Nelson-Wongs und Callaghans (2012), so stellt die Ausdauer der rumpfumgebenden Muskulatur (gemessen als EMG-Aktivität im zweistündigen, beidbeinigen Stand) einen wichtigen Faktor zur Entstehung von Rückenschmerzen dar. Eine konstante Co-Aktivierung unterhalb der 5% MVC-Grenze (Hibbs, 2008) ist demnach als ein wesentliches Merkmal gesunder posturaler Kontrolle anzusehen. Die defizitäre Ausdauer symptomatischer Patienten sowie die durchschnittlich höhere Co-Aktivierung globaler und lokaler Muskulatur (>5% MVC) bestätigen eine derartige Einschätzung. Strobel et al. (2011) konnten zudem feststellen, dass eine Ausbelastung einen negativen Effekt auf die Stabilisationsfähigkeit ausübt. Teilbelastungen bzw. die Identifizierung eines Cut Offs erfolgten jedoch nicht. Die Befunde lassen vermuten, dass Core Training, welches sich hauptsächlich auf kontinuierliche Anspannung der lokalen und globalen Stabilisatoren stützt, einen vielversprechenden Ansatz für die Therapie chronisch unspezifischer Rückenschmerzen in der Allgemeinbevölkerung darstellt. Zum Training der Core Stability haben sich einige Methoden bereits etabliert: „balance training, perturbation (proprioceptive) training, plyometrix (jump) exercises [...] and sport-specific skill

training [...] using equipment such as wobble boards, roller boards, discs“ (Hibbs, 2008, S.998). Dabei ist zu beachten, „that any trunk-stabilizing muscle weakness is identified and corrected as this significantly increases an individual’s muscle and joint injury risk“ (Hibbs, 2008, S.1001). Die Trainings Methoden werden auch in den „European Guidelines for the treatment of low back pain“ proklamiert und sind in diversen Behandlungskonzepten impliziert (s. MiSpEx-Network, FKZ: IIA1-080102A/11-14, AZ: AZA18pt4fEA). Sie werden innerhalb der Diskussion im Rahmen der Trainingsempfehlungen (siehe 5.Diskussion) an die Probanden abermals aufgegriffen und veranschaulicht.

Hrysomallis (2007) bezieht sich in seinen zahlreichen Publikationen zur *Balance Ability* häufig auf die Beschreibung und Evaluation ausgewählter Parameter zur Optimierung besagter Fähigkeit. Dabei konnte er mehrfach zeigen, dass schlechte Balance nicht nur ein Risikofaktor für Unfälle darstellt, sondern sich durch gezieltes Training auch die Zahl sportbedingter Traumata reduzieren lässt (2007). Bisher haftet der Stabilisierungsfähigkeit, vor allem auf die WS bezogen, jedoch das Problem der Operationalisierung an. Kaum ein Test gilt als geeignet zur Beschreibung der Balance wie auch Essendrop et al. (2003) in ihrem Review von 79 Studien resümieren: „there is a considerable lack of information about the reproducibility of functional measures for the low back“ (S.137). Zwar proklamiert Hrysomallis (2011) die Messung des Center of pressures über eine Kraftmessplatte als ‚gold standard‘ (S.2), reliable und valide Normwerte/Testergebnisse sucht man jedoch in der Forschung in Bezug auf die WS vergeblich.

Auch der Star Excursion Balance Test, welcher eine funktionale, nicht-apparative Diagnostik darstellt, scheint neben seiner simplen Durchführbarkeit nicht nur multifaktoriell abhängig („Results from the SEBT might also be influenced by strength, flexibility or coordination“, Hrysomallis, 2011, S.1), sondern auch von beschränkter Aussagekraft bzgl. der posturalen Kontrolle (Hrysomallis, 2011) zu sein. Über diesen Test herrscht jedoch Uneinigkeit: Gribble, Hertel und Plisky (2012) sehen, basierend auf ihrem Review bzgl. aktueller Forschungsliteratur, darin ein verlässliches Tool, bzw. „highly representative noninstrumented dynamic balance test for physically active people“ (S.339), geben jedoch ebenfalls zu bedenken, dass der SEBT nicht als einziges Erfassungstool geeignet sei: „because of its strong reliability, it should be considered as part of a battery of screening and assessment tools“ (Gribble et al., 2012, S.342). Auch Bouillon et al. (2011) geben in ihrer altersdifferenzierten Betrachtung bzgl. der Stabilisierungsfähigkeit weiblicher Probanden einen Hinweis auf die Aussagekraft des SEBT bzgl. posturaler Kontrolle. Allerdings ist bisher kein wissenschaftlicher Abgleich der Daten des CoP und des SEBTs erfolgt (Hrysomallis, 2007).



## 2.5 Begriffsbestimmung Risikofaktoren

Das Konzept der Risikofaktoren im Sport wurde in den letzten Jahren intensiv von der Forschungsgruppe um Prof. Bahr des Oslo Sports Trauma Research Centers geprägt. In diversen Studien – insbesondere im Volleyballsport – konnten zahlreiche Erkenntnisse über Verletzungshäufigkeiten, -mechanismen und Präventionsstrategien für den Hochleistungsvolleyball generiert werden. Dieser, aus der Herzforschung stammende, Begriff (Kannel, Dawber, Kagan, Revotskie, & Stokes, 1961) wurde insbesondere von der Epidemiologie aufgegriffen. Im medizinischen Kontext handelt es sich dabei überwiegend um Eigenschaften, denen, als Folge bestimmten Ausprägungen, Krankheitsbilder zugeordnet werden. Es handelt sich also um statistische Zusammenhänge zwischen mehreren unabhängigen und einer abhängigen Variablen. Dabei erhalten die diversen Prädiktoren eine unterschiedliche Gewichtung, je nachdem, wie stark die jeweilige Varianzaufklärung bzgl. der abhängigen Variable ausfällt (Hsieh, 1989). Durch die Kenntnis der verletzungs- oder erkrankungsprädisponierenden Variablen, sollen frühzeitig Interventionsmöglichkeiten zur Vorbeugung eingeleitet und die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des negativen Ereignisses vermindert werden. Insbesondere in Forschungsansätzen bzgl. Krankheiten hoher Inzidenz oder Mortalitätsrate (u.a. Diabetes mellitus, Krebs) ist nicht nur der kurative oder therapeutische Aspekt, sondern sind auch die Möglichkeiten präventiver, verhindernder Zugänge hochgradig relevant. So sind auch aktuell noch zahlreiche Forschungsgruppen darum bemüht, frühdiagnostische Parameter diverser Erkrankungen zu identifizieren (u.a. Fekih et al., 2016; Ko et al., 2016).

Bahr und Krosshaug (2005) heben in ihrem Review über die Herangehensweise an Präventionsmaßnahmen besonders die präzise Beschreibung der Mechanismen hervor, die zu Verletzungen führen. Hierzu müssen folglich ebenfalls alle internen und externen Faktoren bekannt sein, wie sie abschließend resümieren:

„To address the potential for prevention, the information on injury mechanism must be considered in a model that also considers how internal and external risk factors can modify injury risk“ (Bahr & Krosshaug, 2005, S.328).

In Anlehnung an das von Bahr und Krosshaug (2005) erstellte Modell zur Erläuterung des Einflusses von Risikofaktoren auf die Entstehung von Unfällen bzw. Verletzungen (Abbildung 5) wird auch in der vorliegenden Arbeit ein spezieller Fokus auf die Differenzierung zwischen internen und externen Prädiktoren gelegt. Die internen Faktoren, welche die Prädisposition für konkrete Verletzungen darstellen, sind nach diesem Konzept von den externen Faktoren zu unterscheiden, die ihrerseits lediglich die Anfälligkeit eines Athleten verstärken. Sämtliche übergeordnete Kategorien der internen Faktoren wurden für die Variablenauswahl dieser Untersuchung herangezogen: Alter, Geschlecht, „Body composition (Anthropometrie), Health (Verletzungshistorie), Physical Fitness (funktionale Beweglichkeit, Ermüdungsindex), Anatomy (Wirbelsäulenform), Skill level (posturale Kontrolle, Spielniveau)“ und „Psychosozial factors“ (Sozialer Versorgungskontext, Beeinträchtigung

durch Schmerz und Schmerzvermeidung). So wird versucht, die Prädisponierung einzelner Athleten zu evaluieren und in der Folge präventive Maßnahmen einleiten zu können.

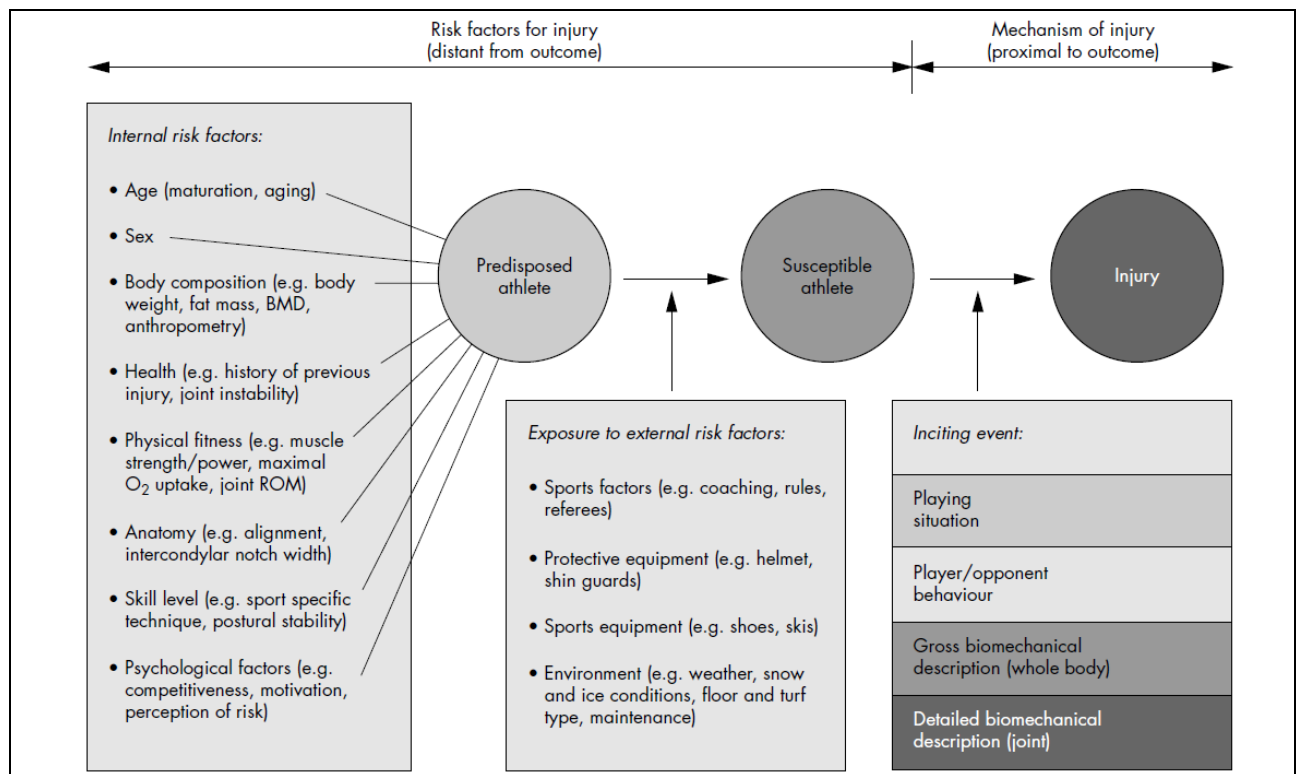


Abbildung 5: Modell zur Ursachenerklärung von Verletzungen, aus Bahr und Krosshaug, 2005, S.327.

Wenngleich sie eine Prädisposition festlegen, sind Risikofaktoren aber keinesfalls nur als genetisch bedingte, unmodifizierbare Größen zu verstehen. Einige lassen sich verändern (bzw. im sportlichen Kontext: trainieren) und ermöglichen so ebenfalls die Modifikation des Erkrankungs-/Verletzungsrisikos, sowohl durch den Athleten selbst (Körperfett, -Gewicht, maximale Sauerstoffaufnahme, posturale Kontrolle, Motivationale Komponenten, usw.) als auch durch Außenstehende wie z. B. Trainer oder Mediziner (Coaching-Strategie, Regelwerk, sozialer Zuspruch, etc.). Im Rahmen dieser Untersuchung werden also Risikofaktoren synonym zu dem Begriff Prädiktoren verwendet und bezeichnen alle unabhängigen Variablen, die sich potentiell auf die Entstehung von Rückenbeschwerden auswirken können, sowohl intern als auch extern. Dabei wird zwischen den Faktoren, die aufgrund von Recherchen in die Analyse integriert werden und jenen, denen tatsächlich ein signifikanter Effekt in der Varianzaufklärung zuzuschreiben ist, begrifflich nicht unterschieden. Da es sich auch in der dargestellten Untersuchung um ein rein probabilistisches Konzept handelt, widerlegt das Fehlen eines signifikanten Zusammenhangs nicht die Möglichkeit, dass es sich dennoch um einen Prädiktor handelt und vice versa.

Zur Identifikation der potentiellen Prädiktoren, wird in den folgenden Ausführungen zunächst auf den wissenschaftlichen Forschungskontext zu Verletzungen im Vol-

leyballsport eingegangen und dieser durch anschließende spielstrukturelle Überlegungen ergänzt.

## **2.6 Forschungsstand im volleyballspezifischen Kontext**

Zwar konnte bereits in den vorigen Kapiteln der Sachbezug zur Thematik des Hochleistungsvolleyballs hergestellt werden, in den folgenden Abschnitten soll jedoch gesondert auf die im Volleyball (kaum) vorhandene Forschungsliteratur eingegangen werden. Hierfür werden zunächst bisherige epidemiologische Studien zur Verletzungshäufigkeit im Volleyball angeführt, deren Ursprung überwiegend in Norwegen verankert ist. Nachdem ein Überblick über die medizinischen Zugänge geschaffen wurde, sollen weiterführend evidenzbasierte Ansätze präventiver Interventionen dargelegt werden. Abschließend wird eine spielstrukturelle, technisch-taktische Übersicht inhärente Prädiktoren ausarbeiten.

### *2.6.1 Sportmedizinische Untersuchungen im Volleyball*

Die Bedeutung von Verletzungen im Volleyballsport ist mit der latenten Professionalisierung der letzten Jahre gerade in Deutschland immens gestiegen. Aktuell agieren 80% professionelle Spieler (als ‚Profi‘ werden jene Sportler bezeichnet, deren Einkommen allein durch ihre sportliche Tätigkeit erbracht wird). Innerhalb der Deutschen Volleyball Liga wird zwischen voll- und semi-professionellen Spielern unterschieden, wobei der Anteil Ersterer in den vergangenen Jahren gestiegen ist. Jeder Ausfall durch Verletzungen, Beschwerden oder deren Folgen spielt hier für die Berufsfähigkeit eine wesentliche Rolle. Präventive Maßnahmen oder eine im Ernstfall zügige Rehabilitation sind daher für die Sicherung des Lebensunterhalts unerlässlich. So erfolgt oft – trotz unvollständiger Genesung oder vorhandenem Schmerz – eine Wiederaufnahme des Trainings und/oder Wettkampfes. Da Nationalmannschaftsaktivitäten keine Vergütung vorsehen, ist die Teilnahme am Ligen-Verband als hauptberufliche Tätigkeit eines Spielers anzusehen. Diese finanzielle Abhängigkeit zwingt Athleten, die Arbeitsaufnahme nach Verletzungen frühzeitig zu beginnen, um keinen großen Trainingsrückstand in Kauf nehmen zu müssen.

Eine Betrachtung sportartbedingter Verletzungen erweist sich, vor dem Hintergrund der bereits dargelegten strukturellen Zusammenhänge der Gelenke, als unumgängliches Verfahren in der Beurteilung der Kriterien für die Entstehung von RB. Neben Trainings- und Wettkampfausfällen sehen sich die Athleten bei derartigen Vorfällen mit Schmerzen, i.d.R. langen Regenerationszeiten, konsequenter rehabilitativer bewegungs- und medikamentöser Therapie konfrontiert. Zudem ließ sich mehrfach zeigen, dass bereits geschädigte Strukturen anfälliger für Verletzungen sind (Bahr & Bahr, 1997) und bei nicht ausreichender Therapie in funktionellen Dysbalancen – durch permanente Schonhaltungen – resultieren können (Kugler, Krüger-Franke, Reiningger, Trouillier & Rosenmeyer, 1996; Modi, Srinivasalu, Smehta, Yang, Song, et al., 2008).

In dem folgenden Kapitel sollen die im Volleyball wissenschaftlich fundierten Erkenntnisse zu Verletzungsinzidenzen und -Prävalenzen erörtert werden und deren spielstrukturelle Herleitung erfolgen. Auf den Rücken wird, als Kernstück dieser Arbeit, im darauffolgenden Kapitel fokussiert Bezug genommen.

Bahr (Bahr & Holme, 2003) stellt in seinen Beiträgen mehrfach die Wichtigkeit von Risikofaktorenstudien heraus, reduziert seine eigene Forschung selbst bisher auf Untersuchungen im norwegischen Raum und den von ihm diagnostizierten Hauptbefund für den Bereich des Volleyballs: die Verstauchung des Sprunggelenks (ankle sprain). Seine Betrachtungen anderer Körperpartien basieren überwiegend auf theoretischen Überlegungen, die keine biomechanischen Messungen implizieren. Reeser, Fleisig, Bolt und Ruan (2010) identifizierten in ihrer Untersuchung während der nationalen Freizeitsport und Unimeisterschaften in Amerika Risikofaktoren für Schulterverletzungen. Ihre Untersuchungsmethode basierte hauptsächlich auf dem „simple shoulder test“ (SST) in Kombination mit Fragebögen zu der Verletzungshistorie. Die Kausalität kann jedoch aufgrund dieses Querschnitts nicht angemessen beurteilt werden (Recall Bias). D.h., dass bisher kaum eine Verbindung zwischen definierten Kenngrößen und Verletzungsrisiken hergestellt wurde.

In der Sportpraxis ist für Trainer und Athleten dennoch in erster Linie die, aufgrund von Verletzungen anhaltende, Dauer der Trainings- bzw. Wettkampfs-Abwesenheit von Bedeutung. Aus diesem Grunde orientiert sich die Definition des Schweregrades von Verletzungen an den resultierenden Ausfallzeiten (siehe Tab.1, Miltner et al., 2012; Gray, 2013). Eine Verletzung wird in der Literatur weithin als Trauma (oder chronischer Schmerz) definiert, das zu einer Arztkonsultation führte (Wang & Cochrane, 2001; Bhairo, Nijsten, Van Dalen & Ten Duis, 1992)

*Tabelle 2: Definition der Schwere von Verletzungen nach Miltner et al. (2012)*

Schwere der Verletzung	Operationalisierung
Minor	< 1 Woche
Moderate	8 Tage bis 4 Wochen
Major	> 4 Wochen

Allerdings muss an dieser Stelle zwischen akuten und chronischen Verletzungen differenziert werden, da die Ursachen hierfür häufig unterschiedlich verankert sind. Akute Verletzungen treten häufiger im Wettkampf als im Training auf (Bahr, 2009) und beschreiben traumatische Erlebnisse mit der Folge eines Trainingsausfalls. Chronische Beschwerden hingegen führen nur in seltenen Fällen zu plötzlichen Ausfallzeiten und verzeichnen einen eher permittierenden Verlauf.

Volleyball ist, verglichen mit anderen, ähnlich populären Ballspielen, eine eher verletzungsarme Sportart. Mit einer Inzidenz von 1,7 – 4,3 Verletzungen pro 1000 Spielstunden (Bahr & Bahr, 1997, 1,7/1000h; Miltner et al., 2012, 4,3/1000h; Aagaard & Jorgensen, 1996, 3,9/1000h; Aagaard, Scavenius & Jorgensen, 1997, 4,2/1000h, aber nur im Freizeitsport) und einer Prävalenz von 1,93 akuten Verletzungen und 0,77 Überlastungsschäden pro Spieler pro Saison (Miltner et al., 2012;

Aagaard & Jorgensen, 1996, 1,5/Spieler; Aagaard et al., 1997, 1,29/Spieler; Augustsson, Augustsson, Thomeé & Svantesson, 2006, 0,68/Spieler) liegen diese Werte durchgängig unter den in anderen Sportsportarten gemessenen (Krämer, Wilcke & Krämer, 2005). Akute Verletzungen sind dabei überwiegend im Sprunggelenk oder der Hand lokalisiert (s. Tabelle 3). Aagaard und Jorgensen (1996) konnten in ihrem Review früherer Daten einen Anstieg der Inzidenz chronischer Verletzungen im Volleyball zwischen den Jahren 1986 und 1996 von 0,5 auf 1,8 pro Jahr feststellen. Kontrovers zu diesem Trend stellt Miltner et al. (2012) in Deutschland eine geringere Inzidenz 2007-2011 fest. Die Ursachen hierfür könnten u.a. an der sich wandelnden Spielstruktur, den sich ändernden Umgebungsbedingungen (Hallenboden, unterschiedliche Bälle), der Weiterentwicklung der Trainingsmethoden oder der medizinischen Diagnostik liegen.

Bahr und Bahr (1997) diagnostizieren in ihrer Studie der Top-level Athleten Norwegens 1992-1993 über 50% akute Sprunggelenks-Verletzungen. Auch Hell und Schönle (1985) zeigen in ihrer Übersicht von 1981-1983 ähnlich hohe Raten auf und sowohl Aagaard und Jorgensen (1996) als auch Miltner et al. (2012) bestätigen den Verdacht, dass das SG die verletzungsanfälligste Körperpartie im Volleyball darstellt.

Tabelle 3: Lokalisation der Verletzungen im Volleyball, aktueller Forschungsstand

	Autor	Hell & Schönle				Aagaard et al.		Bahr & Bahr	Miltner et al.
Lokalisation	Jahrgang	1981	1981	1981	1983	1996	1997	1997	2007-2011
Sprunggelenk		25%	31%	50%	55%	23%	22%	50%	19%
Schulter		3%	4%	-	1%	13%	16%	10%	8%
Knie		24%	9%	12%	9%	17%	18%	9%	18%
Rücken		-	3%	-	1%	11%	-	11%	25%
Finger		13%	38%	-	22%	22%	19%	8%	12%

Die Mehrheit sportmedizinischer Untersuchungen im Volleyball fokussiert sich vor diesem Hintergrund auf die untere Extremität, konkret Traumata des Sprunggelenks und der Sprungsportart-typischen Patella Tendinopathie (PT).

Briner und Lawrence (1997) bestätigen in ihrem Review zu Verletzungsmechanismen im Volleyball, dass der Angriffsschlag sowie Sprünge allgemein die dominantesten Unfallursachen darstellen. Als nahezu einzige offensive Spielaktion des Proivolleyballs, in der ein direkter Kontakt zwischen den Spielern forciert wird, ist dies kaum verwunderlich. Der Abwehrbereich ist dahingegen eher als verletzungsarm einzustufen.

Nachstehende Ausführungen konkretisieren die potentiellen Verletzungsbilder und ordnen diese in den volleyballspezifischen, spielstrukturellen Kontext.

Das Sprunggelenk (SGG) lässt sich durch seine kaudale Lokalisation und den aufrechten Gang zweifelsfrei als eines der am stärksten belasteten Gelenke des

menschlichen Körpers bezeichnen. Es stellt die Schlüsselstelle in der Kraftübertragung der Körpermasse auf die Standoberfläche dar und ist als Zylindergelenk primär nur auf Extension/Flexion ausgelegt. Das gesamte Gewicht des Körpers lastet auf dem SGG, weshalb die unmittelbare Weiterleitung kaudal wirkender Kräfte auf den Boden essentiell für die Unversehrtheit des Gelenks ist. Die umgebenden Muskeln, Sehnen und Bänder erlauben einen gewissen Spielraum, so dass auch minimale Pronationen oder Supinationen möglich sind. Dieser Umstand birgt insbesondere im Volleyballsport ein hohes Verletzungspotential.

Das klassische Supinations-/Pronationstrauma (im allgemeinen Sprachgebrauch sog. *Umknicken*) verursacht im Gang oder Stand i.d.R. nur minimale Mikrotraumata, da die umgebenden Strukturen in der Lage sind, derartige Belastungen weitestgehend zu absorbieren. Insbesondere bei Sprungbelastungen erhöhen sich durch die Erdbeschleunigung und die Fallhöhe die wirkenden Kräfte, so dass aus nicht planmäßiger/ordentlicher Landung (bzw. Druckverteilung über die gesamte Fußsohle) häufig Rupturen der umliegenden Strukturen resultieren.

Im Volleyballsport ist durch den Vortrieb offensiver, netznaher Spielaktionen der Eintritt in die gegnerische Feldhälfte taktisch erwünscht und auch möglich, da beide Spielzonen unmittelbar aneinandergrenzen. Als hauptverantwortlich für die häufigen im VB existierenden Sprunggelenkstraumata ist also die Teillandung nach Angriff oder Block auf den Füßen gegnerischer oder eigener Mitspieler anzusehen (Briner & Lawrence, 1997). Verletzungen des SSG im Rahmen von Abwehrhandlungen sind nicht dokumentiert. Lediglich im Zuspiel lassen sich (wenn auch nur wenige) Fälle derartiger Verletzungen (durch häufiges seitliches Springen) verzeichnen.

Wie Malliaras, Cook und Kent (2006) zeigen konnten, äußern sich Verletzungen des SGG aber auch in Beeinträchtigungen anderer Strukturen. So erwies sich u.a., dass die traumatisch bedingte Reduktion des Bewegungsumfangs des SGG ebenfalls das Risiko der Athleten, an einer Patella Tendinopathie zu erkranken, erhöht.

Die Patella Tendinopathie bezeichnet eine Entzündung der Patella Sehne in Folge repetitiver und intensiver Belastung (über einen ausgedehnten Zeitraum). Sie tritt im VB verstärkt bei jugendlichen Talenten/Nachwuchleistungssportlern auf, da die für intensives umfangreiches Training notwendige funktionale Integrität der Strukturen noch nicht in vollem Umfang gegeben ist.

Die Patella Sehne ist sowohl Ursprungs- als auch Ansatzpunkt diverser Muskulatur und wird so maßgeblich über die Aktivität des M. Quadriceps Femoris kranial, aber auch des M. Peroneus Longus kaudal bestimmt. Diese sind hauptsächlich für die Extension, aber ebenfalls für die Stabilität des Kniegelenks verantwortlich. Diese Bewegungen sind essentieller Bestandteil der volleyball-typischen Spielhandlungen. Vor allem aber stellen die explosive Kraftentfaltung des Absprungs (bei Aufschlag, Angriff und Block) zum Erreichen maximaler Aktionshöhe und das Abfangen des Landeimpulses über die gesamte Streckerschlinge exorbitante Belastungen für die Patella Sehnen dar. Zum einen verlangt der Dehnungs-

Verkürzungszyklus des Absprungs eine hohe konzentrische Kraftentfaltung der Knieextensoren unter Vordehnung, zum anderen erfordern Landungen bei nahezu vollständiger Extension hohe isometrische Stabilität.

Wenngleich die individuelle Belastbarkeit zwischen Athleten stark divergiert, lässt sich anhand diverser Prävalenzstudien der negative Einfluss von Volleyball auf die strukturelle Unversehrtheit des Kniegelenks (v.a. der Patella Sehne) nicht leugnen. Visnes und Bahr (2013) können die Trainingsbelastung und die Körperzusammensetzung als Risikofaktoren für belastungsinduzierte, chronische Beschwerden im Volleyball darstellen. In Ihrer Untersuchung junger Elite-Athleten konnte die Häufigkeit von Tendinopathien der Patella Sehne mit besagten Faktoren als hoch korreliert identifiziert werden.

Auch De Groot, Malliaras, Munteanu, Payne, Morrissey und Maffulli (2012) konnten Risikofaktoren für Tendinopathien des Knies identifizieren. In ihrer Untersuchung der Fußformen von 78 Volleyballern aller Leistungsklassen stellte sich heraus, dass die Fußstellung und Form einen Einfluss auf die Entwicklung einer Tendinopathie der Patella Sehne zu haben scheint. So sei eine Pronation im Fußgelenk weniger anfällig für die Entwicklung einer Patellar Tendinopathie als andere Gelenksstellungen. Eine spezifische biomechanische Begründung hierfür wird jedoch nicht gegeben.

In einer ultraschall-gestützten Untersuchung 17 symptomatischer Athleten (Helland et al., 2013) stellte sich ergänzend heraus, dass Sportler mit Beschwerden eine höhere Sprungleistung erzielten als asymptotische Athleten. Dabei lassen sich keine leistungsspezifischen (Ligen spezifische) Unterschiede in den identifizierten Risikofaktoren bzgl. der PT nachweisen. Es ist also davon auszugehen, dass die höheren Kräfte von Absprung und Landung wesentliche Bestandteile der Ätiologie einer PT darstellen. In ihrer Vergleichsuntersuchung von insgesamt 18 symptomatischen Volleyballern des semi- und professionellen Niveaus konnten zudem Janssen, Steele, Munro und Brown (2015) signifikante Differenzen in der Trainingshäufigkeit und der Dehnbarkeit des Quadriceps Femoris als relevant identifizieren.

Es lässt sich also resümieren, dass der Sehnen- und Bandapparat des Kniegelenks in Folge hoher, stetiger Beanspruchung ein hohes Risiko zur Entwicklung einer Schmerzsymptomatik aufweist. Derartige Belastungsintensitäten stellen aber auch für den Muskel-Sehnen-komplex eine Herausforderung dar, wie sich in den folgenden Ausführungen zu Studien bzgl. des überwiegend muskulär stabilisierten Schultergelenks zeigt.

Als Belastungsfolge repetitiver Beschleunigungs- und Kraftspitzen im Rahmen VB-spezifischer Handlungen (ca. 40000 Angriffsaktionen pro Jahr, Eggert & Holzgraeffe, 1993) sind im Schulterbereich das *Impingement Syndrom* (Fongemie, Buss & Rolnick, 1998) bzw. die Beeinträchtigung der Rotatorenmanschette (neben M. Subscapularis, M. Infraspinatus, M. Teres Minor vor allem der M. Supraspinatus) im VB etabliert. Impingement bezeichnet die zusätzliche Verengung des Spalts zwischen der Unterseite des Acromions und dem Humerus Kopf, hervorgerufen durch Kom-

pression oder strukturelle Störungen der Rotatorenmanschette (Fongemie et al., S.668). Dies fördert die Reizung des Gelenks und kann infolgedessen zu Entzündungssymptomen führen.

Kugler et al. (1996) konkretisieren die Anzeichen Schulterschmerz-geplagter Volleyballer auf eine nach außen orientierte Scapula und eine verkürzte dorsale Muskulatur am hinteren und unteren Teil der Schultergelenkscapsel (S. 256f). Ergänzend können Escamilla und Andrews (2009) anhand einer EMG Untersuchung eine hohe Aktivität des M. Deltoideus und des M. Infra- sowie M. Supraspinatus während der Schlagbewegung nachweisen. Als verantwortlich sind hierfür die Rotationen der Schulter inklusive der maximal schnellen Vorwärtsbeschleunigung des Arms (stabilisiert durch den M. Teres Minor, initiiert/unterstützt durch den M. Supraspinatus) anzusehen (Escamilla & Andres, 2009).

Die Verletzungsbilder der Schulter sind ähnlich der in anderen Wurfsporarten diagnostizierten Beschwerden. Die Ähnlichkeit in der Bewegungsausführung zwischen Angriffsschlag und alternativen Überkopfsportarten (Baseball, Wurf, etc.) wird sowohl in den Lehrbüchern dargelegt (Meyndt et al., 2010) als auch in wissenschaftlichen Publikationen bestätigt (Escamilla & Andrews, 2009). Auch die Verletzungsbilder sind ähnlich. Es lässt sich jedoch zeigen, dass die Prävalenzen im Volleyball geringer ausfallen. Es wird vermutet, dass die Impulsübertragung auf den Spielball weitere Stabilisation nach der Handlung erleichtert, da nur noch eine (relativ gesehen) geringe Kraft von der Muskulatur zu absorbieren ist. Besonders im Jugendbereich, in dem häufiger technische Fehler auftreten, stellt das nicht vollständige Treffen des Balles eine erhöhte Belastung der Schultermuskulatur dar, da besagter Impuls nicht vollständig übertragen werden kann. Bei Wurfdisziplinen hingegen (insbesondere Speerwurf) ist die Beschleunigung der Schulter und des Gerätes komplett durch die eigene Muskulatur abzufangen. Dies würde die vergleichsweise geringe Anzahl von Schulterverletzungen im VB im Vergleich zu Wurfdisziplinen erklären (Notarnicola et al., 2012).

Wie Briner und Lawrence (1997) herausstellen, repräsentieren Hand- bzw. Finger-Verletzungen bei Volleyball Elite-Athleten keinen Grund für Ausfallzeiten (S.69). Aus diesem Anlass wird derartigen Verletzungen nur eingeschränkt Rechnung getragen. Es handelt sich hierbei überwiegend um traumatische Verletzungen der Finger (44% aller Handverletzungen), i.d.R. verursacht durch Block- oder Abwehraktionen (Briner & Kacmar, 1997) im Rahmen einer Hyperextension des Daumens oder der kleinen Finger (Bhairo et al., 1992, S.352). Verstauchungen bzw. Zerrungen besitzen mit 39% aller Fälle hierbei den höchsten Anteil, aber auch Frakturen sind mit 25% relativ häufig vertreten (Bhairo et al., 1992). Abgesehen von der Zu-spielposition ist jedoch die Beeinträchtigung durch Finger-Verletzungen im Profivolleyball als gering einzuschätzen.

Den bisherigen Studien haftet die Problematik an, dass sie überwiegend in Norwegen/Dänemark verortet sind. Einzig Miltner et al. (2012) observiert in seiner Erhe-



bung von 2007 bis 2011 48 deutsche Bundesligaspieler (das entspricht einem Team pro Saison) bezüglich der Prävalenz von Verletzungen. Diese Studie ist bis dato die einzige Untersuchung in international anerkannten Fachzeitschriften und Datenbanken<sup>3</sup> seit dem Jahr 2000, die die Verletzungsrate von VB in Deutschland erfasst. Erst kürzlich konnte diese durch eine weitere Studie dieser Arbeitsgruppe (Pastor, Ezechieli, Classen, Kieffer & Miltner, 2015) ergänzt werden.

Skeptisch zu bewerten ist hierbei, dass bereits vor der Ersterhebung der Daten ein präventives Krafttraining absolviert wurde, das die tatsächliche Verletzungshäufigkeit verzerrt haben könnte. Diese Problematik könnte auch eine Ursache für die differierenden Lokalisationen akuter Verletzungen zu bisherigen Studien darstellen. Im Gegensatz zu Bahr und Bahr (1997) und Aagaard et al. (1997), diagnostiziert Miltner überwiegend Wirbelsäulenverletzungen (25%) und eine deutlich geringere Anzahl an Sprunggelenksverletzungen (11%), obgleich das Sprunggelenk bis dato als die verletzungsanfälligste Körperpartie beschrieben wurde (Beneka et al., 2009; Bahr & Bahr, 1997; Hell & Schönle, 1985; Aagaard et al., 1997). Hier ist zu prüfen, ob eine Wirbelsäulenverletzung tatsächlich bezeichnend für den deutschen Hochleistungsbereich ist. Es wäre denkbar, dass das Präventiv-Programm in Kenntnis früherer Untersuchungen hauptsächlich auf eine Stabilisation der Sprunggelenksstrukturen fokussiert war oder dass für die unterschiedlichen Befunde nur die breite Definition Miltners verantwortlich ist. Diese erfasste auch Wirbelsäulenblockierungen, die zu einer Arztkonsultation führten. Da jedoch Traumata der WS einen wesentlichen Beitrag zur Manifestierung eines chronischen Schmerzes darstellen, muss auch im Volleyball speziell dieser Umstand berücksichtigt werden.

### *2.6.2 Potentielle morphologische Mechanismen für Rückenbeschwerden im Volleyball Sport*

Das folgende Kapitel befasst sich mit den Mechanismen, welche für die Entwicklung einer symptomatischen Erkrankung des Rückens (vornehmlich im Volleyball) verantwortlich sein können. Dabei ist der Titel bewusst vage gewählt, da erfahrungsgemäß nicht jeder radiologische Befund auch zu einer Schmerzsymptomatik führen muss. Dalichau (2001, S.83f) liefert in seinem Werk zu sportinduzierten Wirbelsäulendeformationen eine umfassende Übersicht von Untersuchungen der Jahrgänge 1975 bis 2000 bzgl. der Auftritts-Häufigkeit von Rückenbeschwerden bei fehlendem klinischen/radiologischen Befund. Hier wird, neben der hohen Divergenz sportartspezifischer Prävalenzraten, vor allem der Mangel an Untersuchungen im Volleyballsport offensichtlich. Aufgrund der Vielzahl potentieller degenerativer Veränderungen der WS wird in den folgenden Ausführungen keinesfalls der Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Vielmehr soll sich auf die im Volleyballsport bisher beobachteten und (biomechanisch) sportartbedingten Erkrankungen fokussiert werden, welche sich auch seitens eines umfangreichen Reviews zu WS Verletzungen

---

<sup>3</sup> Zu den integrierten Datenbanken zählen: Bayerische Staatsbibliothek, Datenbank der Deutschen Sporthochschule Köln, Datenbanken der TU München, Europäische Zentralbibliothek, SPOWIS des IAT-Leipzig, medline, pubmed, SPOFOR, SPOLIT und SPOMEDIA.

bei Athleten aller Sportarten von 1951 – 2013 (Mortazavi, Zebardast & Mirzashahi, 2015) als auffallend häufig erwiesen. Dies reduziert die Anzahl auf überwiegend chronische und überlastungsinduzierte Ursachen, da sich Volleyball, eine nicht-Kontakt Sportart, als eher selten verantwortlich für traumatische Rumpferletzungen zeigt (Spondylolyse, Spondylolisthese, Osteochondrosen, Wirbelblockierungen, Bandscheibendegenerationen). Eine Ausnahme bilden Verletzungen der tiefen Rückenmuskulatur, welche akut auch durch den Angriffsschlag (einer Hyperextension bei gleichzeitiger Torsion des Oberkörpers) verursacht werden können (Bahr & Bahr, 1997). Generell ist anzumerken, dass es sich bei Verletzungen im Volleyball aber überwiegend um Schädigungen des Sehnen- und Bandapparates sowie der Muskulatur handelt.

Adams (2004, S.178) sieht den Ursprung chronischer Rückenschmerzen strukturell in den Bandscheiben, Zygapophysial Gelenken und dem Iliosakralgelenk verankert. Insbesondere in Bezug auf die Zwischenwirbelscheiben beschreibt er, dass hoher axialer Druck den inneren Gallertkern dazu bringt, in die anliegenden Wirbelkörper zu drücken und sie zu schädigen. Dabei werden die Endplatten und Trabekel der Wirbelkörper primär beeinträchtigt, bevor es zu einem Versagen der Bandscheiben kommt:

„Damage is mostly located in the end-plate or in the trabeculae just behind it, and is presumably caused by the nucleus pulposus of the adjacent disc bulging into the vertebrae“ (Adams, 2004, S.182).

Brown et al. (1997) konnten um die Jahrtausendwende bereits darlegen, dass die sensorische Innervation der Wirbelkörper-Endplatten, bei Degeneration selbiger, ebenfalls einen Auslöser für Beschwerden des Rückens darstellt. Durch den Druckverlust der Bandscheiben können Nerven und Kapillaren direkt in den Nucleus Pulposus wachsen (Coppes, Marani, Thomeer & Groen, 1997) und so auch Reize als Schmerz wahrnehmen. Berücksichtigt man die hohen axialen Belastungen innerhalb diverser Sportarten (u.a. auch die volleyballspezifischen intensiven Sprung-/Landebelastungen), erscheinen ebendiese für die Pathogenese von RB insbesondere bei Athleten des Hochleistungssports äußerst plausibel.

Aber auch muskuläre Beschwerden der autochthonen Rückenmuskulatur oder des Abdomens scheinen für Schmerzen des Rumpfes verantwortlich, u.a. indem sie sich direkt auf die Form der WS auswirken. Folgende klassische Erkrankungsbilder der Wirbelsäule sollen Beachtung finden:

- Osteochondrosen (Scheuermann)
- Spondylolysen/Spondylolisthesen
- Wirbelblockierungen

Als Osteochondrosen werden knöcherne Abänderungen u.a. der WS bezeichnet, welchen i.d.R. eine Degeneration der Bandscheiben vorher geht. Sie bezeichnen Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes (gemäß ICD-10-WHO, M80-M94, WS unter M42). Zu ihnen gehört ebenfalls die Adoleszenten Ky-

phose, besser bekannt als Scheuermann-Krankheit. Durch intensive Belastung der Zwischenwirbelscheiben (z. B. axialen Druck) ohne ausreichende Erholungsphasen, können diese über einen längeren Zeitraum degenerieren und ihre Viskosität und demnach Funktionalität verlieren. Der Druck auf die Wirbelkörper erhöht sich und es können knöcherne Auswüchse resultieren, welche als Osteochondrose bezeichnet werden. Als häufigste Ursachen für WS Osteochondrosen werden demnach Fehlbelastungen, vorhergehende Traumata und Fehlstellungen der WS (Skoliosen) angeführt. Bei Athleten finden sich bei hoher Belastung im Kindesalter bereits juvenile Osteochondrosen (Aufdermaur, 1981; überwiegend Jungen; 4:1). Aber auch in fortgeschrittenem Alter ist ein derartiges Erkrankungsbild im Hochleistungssport durch die intensiven Belastungen vertreten. Zur Therapie haben sich bisher ein spezielles Training, symptomatische Behandlung mittels nichtstereoidaler Antirheumatika (NSAR) und ggfls. physiotherapeutische Interventionen etabliert.

Spondylolysen sind Ossifikationsstörungen im Bereich der Wirbelbögen (Bildung eines Spalts der Pars Interarticularis), die bei Athleten vor allem als Folge repetitiver Belastungen (meist in Sportarten mit häufiger Hyperextension der WS) bzw. resultierenden Mikrotraumen der knöchernen Strukturen und des Halteapparates angesehen werden können (Stinson, 1993) und häufig während der Wachstumsphasen entstehen. Auch eine genetische Disposition ist nicht auszuschließen (Sakai, Goda, Tezuka, Abe, Yamashita et al., 2016). Die Therapie verläuft zunächst konservativ, eventuell auch mit reduzierter Aktivität und zusätzlichem Fokus auf die betroffenen Regionen bei Sportlern (Bouras & Korovessis, 2015).

Nicht selten folgt eine Spondylolisthese (Wirbelgleiten nach ventral), da die Spondylolyse als solches nicht mit einem klaren Beschwerdebild (sogar erhöhte Beweglichkeit der Wirbel) klassifiziert ist und nur zufällig (oft in schon erweitertem Stadium) diagnostiziert wird (Standaert & Herring, 2000). Dabei handelt es um einen Versatz untereinanderliegender Wirbelkörper, welcher nach Meyerding (1932) in fünf Stadien (in Stufen zu 25% Versatz der Wirbelkörpertiefe plus des Kontaktverlusts als Endgrad) eingeteilt ist. Als Symptome können, durch eingeklemmte Nervenbahnen, ausstrahlende Beschwerden in die Beine oder Lähmungserscheinungen auftreten. Aber auch ein asymptomatischer Krankheitsverlauf mit rein bewegungsabhängigen Schmerzen (z. B. Hyperextension) ist möglich. Als Ursachen für eine Spondylolisthese werden, neben genetischen Prädispositionen, unterschiedlichen Knochenerkrankungen oder postoperativen Folgen, insbesondere bei Athleten auch verschleißbedingte Erscheinungen und Traumata angeführt (Newman & Stone, 1963; Capener, 1931).

Wirbelblockierungen wird in wissenschaftlicher Hinsicht keine besondere Aufmerksamkeit zuteil, da der Begriff selbst als unspezifisch gilt und keine genaue Operationalisierung zulässt. Insofern sucht man konkrete Untersuchungen über besagte Symptome vergebens. Gemeinhin werden sie aber als häufige Ursache von Bewegungsmangel oder – im Gegenteil – hoher körperlicher Aktivität angesehen (auch

im Volleyball, siehe dazu Miltner, Weihe, Heinzinger & Kieffer, 2012; Definition nach der Techniker Krankenkasse, unter [www.tk.de/behandeln-a-z/c/chirotherapie/25218](http://www.tk.de/behandeln-a-z/c/chirotherapie/25218)). Aus divergierenden Spannungsverhältnissen des Sehnen- und Bandapparates, aber auch aus Muskelverspannungen oder anderen minimalen Schädigungen der strukturellen Integrität können atypische Positionsveränderungen der Wirbelkörper resultieren. Diese können sowohl als vorübergehend oder auch als manifestierend charakterisiert werden und gehen häufig mit Beschwerden der betroffenen Bereiche und Bewegungseinschränkungen einher. Oftmals werden durch die Beeinträchtigung der Wirbelsäule jedoch zusätzlich andere, funktional abhängige Körperpartien beeinflusst. Da die Diagnose einer Wirbelblockierung oft nicht im Rahmen bildgebender Verfahren erfolgen kann, wird lediglich über das Aktivitätsniveau des Patienten und nach eingehender Anamnese der Verdacht gestellt. Der therapeutische Verlauf sieht in der Regel ausgleichende sportliche Aktivität vor, selten werden aber auch manual-therapeutische Maßnahmen verschrieben. In dieser Arbeit finden sie dennoch kurz Erwähnung, da Wirbelblockierungen eine der wenigen rumpfbezogenen Symptome darstellen, die innerhalb der bisherigen epidemiologischen Studien im Volleyball aufgegriffen wurden (Miltner et al., 2012).

Neben allen potentiellen morphologischen Mechanismen und Erkrankungen, die für die Entstehung von Beschwerden verantwortlich sein können, finden psychologischen Prädiktoren in der Volleyball Sportpraxis kaum Berücksichtigung, wenngleich diesen in der Literatur eminenten Einfluss zugewiesen wird (Niemier & Seidel, 2012; Haber, 2009; Airaksinen et al., 2006). Es wurde bereits in vorigen Kapiteln die Wahrnehmung von Schmerz bzw. das Schmerzverhalten sowie deren Operationalisierung abzugrenzen versucht. In diesem Teil der Arbeit sei jedoch noch einmal explizit darauf hingewiesen, welche Stressoren im Hochleistungssport Volleyball als potentielle Prädiktoren zu werten sind.

Hier gelten die Stressfaktoren am Arbeitsplatz unter gewissen Vorbehalten adaptierbar für den Berufssportler. Niemier und Seidel (2012) differenzieren äußere personenunabhängige und individuelle, personenabhängige Belastungsfaktoren nach folgendem Raster:

Tabelle 4: Psychische Stressfaktoren am Arbeitsplatz, aus Niemi und Seidel, 2012, S.58.

Äußere Belastungsfaktoren	Individuelle Belastungsfaktoren:
Hoher Zeitdruck	Geringe Anerkennung
Hohe Verantwortung	Mobbing
Rasch wechselnde Anforderungen, häufige Änderung der Arbeitsabläufe	Unzufriedenheit mit dem Arbeitsplatz
Monotonie des Arbeitsablaufs, geringer Gestaltungsspielraum	Über- oder Unterforderung
Unsicherheit des Arbeitsplatzes	-
Lange Anfahrtszeiten	-

So wird schnell ersichtlich, dass auch im Sport einige Stressoren ihre Geltung besitzen. Zweifelsohne lastet auf professionellen Athleten ein hoher zeitlicher Druck, sei es in einzelnen technischen Elementen, der terminlichen Koordination von Trainingseinheiten, Physiotherapie und sonstigen Verpflichtungen. Zu nennen wäre aber auch der Druck der eigenen Leistungsverbesserung. Überdies sieht sich der Athlet einer hohen Verantwortung sich selbst, seiner Mannschaft, dem Trainer, seinen Fans und Angehörigen gegenüber, deren Erwartungen er erfüllen soll. Neben diesen Faktoren kommen dazu noch evtl. lange Anfahrtszeiten zu Trainings- und Spielorten und die durchgehende Arbeitsplatzunsicherheit, die mit den volleyballtypischen ein-Jahres-/Saisonverträgen zusammenhängt.

Externe Belastungen betreffen vorrangig die mediale Geringschätzung der Sportart. Vor dem Hintergrund der Existenzsicherung ist es kaum verwunderlich, dass der benötigte Aufwand zum Aufbau und Erhalt der Leistungsfähigkeit – der sich in seiner Intensität gewiss nicht groß von anderen professionellen Sportarten unterscheidet, aber ökonomisch in keinem Verhältnis steht – zu psycho-sozialer Unzufriedenheit führen kann. Aus eigener Erfahrung kann hier ergänzt werden, dass im Volleyball bereits Nationalspieler anderer EU-Mitgliedsstaaten für nicht mehr als 800€ pro Monat für die Teilnahme in der 1. Volleyball Bundesliga verpflichtet wurden. Dieses Beispiel verdeutlicht die finanziellen Unsicherheiten, vor allem auch mit der Perspektive auf das Karriereende. Dies ist i.d.R. im Volleyball mit einem Lebensalter von 35/36 Jahren erreicht.

### 2.6.3 Volleyball inhärente Prädiktoren für Rückenschmerz

Nachdem potentielle Schwachpunkte des Körpers bereits anatomisch identifiziert wurden, eignet sich zur Festlegung interner und externer Risikofaktoren zunächst die Definition des spezifischen Belastungsprofils zur Ableitung sportartbedingter Prädilektionsstellen. Es folgt also eine trainingswissenschaftliche und biomechanische Auseinandersetzung mit positionsbezogenen Bewegungscharakteristika zur konkreten Einschätzung der physiologischen Beeinträchtigung durch den Volleyballsport.

Dieser zeichnet sich durch kurze Intervallbelastungen (~7-8s) mit anaerobalaktazider Energiebereitstellung aus. Den Hauptanteil der physischen Aktivität

machen Sprünge von submaximal bis maximal kräftigem Einsatz aus. In früherer Zeit wurden ca. 89 Sprünge pro Stunde effektiver Spielzeit (Papageorgiou & Timmer, 1990) und ca. 40000 Sprünge pro Jahr registriert (Eggert & Holzgraefe, 1993). Der Trainingswissenschaftliche Fortschritt, Regeländerungen und die hieraus resultierenden Wandlungen der Spielstruktur haben die Häufigkeit sowie die Schnelligkeit der Aktionen im Laufe der Jahre erhöht. Zwar wurde bisher keine Analyse publiziert, Spielberichte sowie Betrachtungen der 1. und 2. Bundesliga, EM sowie WM lassen jedoch auf eine Sprunghäufigkeit von durchschnittlich 95-100 Sprüngen pro effektiver Spielzeit schließen.

Beim Volleyball-Sport handelt es sich also überwiegend um axiale Belastungen der WS (Dübotzky & Leistner, 1992). Im technischen Bereich berichten Meyndt et al. (2010) von „azyklischen Bewegungen mit maximalem Krafteinsatz und bei maximaler Schnelligkeit“ (S.14). Die spielspezifische Körperhaltung wird übereinstimmend mit Dübotzky und Leistner (1992) im Volleyball besonders „von der zu erwartenden Spielaktion abhängig“ (S.72) und als stets „leicht nach vorn geneigt“ mit dem „Gewicht auf den Fußballen“ (Meyndt et al., 2010, S.42) beschrieben. Dabei identifiziert Iwoilow (1984) Anzeichen aktionsabhängiger Unterschiede der Knie- und Hüftgelenkwinkel, welche vornehmlich durch die Bewegung des Oberkörpers sowie differierende Ballanfluggeschwindigkeiten variieren (Dübotzky & Leistner, 1992, S.82f). Unterschiedliche Bewegungsabläufe der einzelnen Handlungsalternativen bedingen demnach spezifische Regungsmuster, die sich anhand ihrer biomechanischen Eigenschaften differenzieren lassen. Aus diesem Grunde werden nachfolgend die Spielelemente in ihrem Risikopotential für die Entstehung von Rückenschmerzen separat betrachtet. Als technischer Grundetat werden die im Lehrbuch „Der Volleyballtrainer“ (2010) zusammengefassten sog. Knotenpunkte vorausgesetzt. Dieses, von namhaften, ehemals aktiven Spielern sowie Landestrainern (Olympiateilnehmer A. Schulz, bayerischer Landestrainer P. Meyndt, H. Peters und M. Warm) verfasste Werk ist bis dato eine der wenigen in Buchform publizierten und vom DVV anerkannten Aufbereitungen technischer Spielelemente. Es findet daher auch Anwendung als Lehrmaterial in der Trainerausbildung auf Landesverbandsebene (BVV).

Das untere Zuspiel ist gekennzeichnet durch eine leichte Vorverlagerung des KSPs und der damit verbundenen Ventralisation während der Ballspielphase. Je geringer die Vorbereitungszeit (sei es bedingt durch hohe Geschwindigkeiten, kurze Reaktionszeiten oder mangelnde Antizipationsfähigkeit) eines Athleten ist, desto höher sind die Gelenkwinkel der Knie und Hüfte während der Ausführung (in Annahme wie Abwehr, Dübotzky & Leistner, 1992). Umgekehrt proportional verringert sich der Neigungswinkel des Oberkörpers. Bratschke (2014) liefert eine ausführliche Darstellung der aktuell angewandten Technikvariationen des uZ der Erst- und Zweit-Liga Teams (Saison 2012/2013). Im Folgenden soll der Fokus vornehmlich auf die biomechanischen Charakteristika und Belastungsprofile der WS gerichtet werden, die für alle Variationen des uZ ähnlich sind.



Abbildung 6: Low Court Defense / Yuko SANO (JPN) / Olympic Games 2012; nach FIVB

Die Abbildungen verdeutlichen die Grundbewegung des uZ, beginnend in leichter ventral-Verlagerung des KSP, aktiver Anspannung der rumpfumgebenden Muskulatur und Vorschub der Schulter zur Zusammenführung der oberen Extremitäten. Im Herrenbereich werden ca. 65% aller uZ im Stand mit leichter Schrittgrätschstellung durchgeführt. Alternativformen beinhalten Modifikationen v.a. im Bereich der Oberkörperstellung und somit der WS. Bei den Damen liegt die Häufigkeit derartiger Varianten bei ca. 50% (Bratschke, 2014). Dabei werden nur ca. 46% aller Annahmen in ruhender Position gespielt, häufiger erfolgen leichte Sprünge, seitwärts Rotationen oder fallende Ausgleichsdynamiken (Abbildung 7), welche eine zusätzliche Belastung für die WS darstellen.



Abbildung 7: Diving / Yukiko EBATA (JPN) / Olympic Games 2012; nach FIVB

Das obere Zuspiel (oZ) stellt in seiner Ursprungsform eine eher rückschonende Aktion des Volleyballspiels dar. Die Grundhaltung entspricht nahezu dem normalen Stand mit leichtem Vorschub des rechten Beins und geringfügiger Ventralisation des KSPs. Der Ball wird frontal oberhalb des Kopfes gespielt. Dies führt zu einer größeren Hebelwirkung auf die WS-Segmente der Brustkorb-tragenden Anteile des Lendenbereichs. Im Spitzensport ist das oZ jedoch gemäß den hohen athletischen Anforderungen optimiert worden, so dass nach aktuellem Spielverständnis der Zuspieler fast ausschließlich im Sprung agiert. Zudem ist in Bezug auf die sportspezifische Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte eine enorme Steigerung der rückwärtigen Zuspiele (über Kopf) zu verzeichnen. Diese Technik geht mit einer Hyperextension der WS, insbesondere bei langen Passwegen, einher (Abbildung 8).



Abbildung 8: Back Set / Milena SADUREK (POL) / World Cup 2007; nach FIVB

Dabei steht in den seltensten Fällen die Abspielrichtung senkrecht zur Schulterachse, wie es der Lehrmeinung im Anfängerbereich entspräche (Anrich et al., 2005). Vielmehr ist die Rotation um die Longitudinalachse wesentlicher Bestandteil fintierter Zuspiele und bewirkt somit eine Verwindung der WS additiv zur Hyperextension. Zudem wird die hohe Beschleunigung bei der Erzeugung des Kraftimpulses lediglich durch das Erreichen der endgradigen Extension gebremst. Die Notwendigkeit maximalschnell ausgeführter Bewegungsaktionen erfordert die Fokussierung auf die auszuführenden ballgebundenen Aktionen. Der Aufmerksamkeitsfokus liegt, wie auch Parsons et al. (2012) in ihrer Untersuchung zur Modifikation der Landetechnik durch unmittelbares, verbales Feedback demonstrieren, demnach nicht auf den nachfolgenden Aktionen, sondern häufig sind in der direkten Folge maximalschneller Bewegungen unkontrollierte Bewegungsabläufe auszumachen (u.a. einbeinige Landung, Abbildung 9).



Abbildung 9: Jump Set / Lloy BALL (USA) / Olympic Games 2008; nach FIVB

Der Angriffsschlag stellt die wohl risikoreichste und für die WS motorisch komplexeste Bewegung im Volleyball dar. Dübotzky und Leistner (1992) beschreiben das Belastungsprofil allein für die Schlagbewegung mit einer „Verdrehung“, inklusive „Überstreckung der Lendenwirbelsäule mit hoher Zug-, Druck- und Scherbelastung der Wirbelsäulensegmente“ (1992, S.112). Der Angriffsschlag lässt sich wie folgt gliedern in:

- Vorbereitungsphase (Beschleunigung & Absprung): Sie ist gekennzeichnet durch einen flachen, kurzen Orientierungsschritt mit steigender Beschleunigung frontal;
- einen explosiven Stemmschritt mit Absenkung des KSPs über eine Beugung der Knie und Flexion des Rumpfes bei zeitgleicher Rückführung der oberen Extremitäten;
- einen überholenden Abschlussschritt mit kurzer Bodenkontaktzeit zur Unterstützung des Absprungs kombiniert mit der maximalschnellen dynamischen Vorwärtsführung der Arme;
- Hauptphase (Flugphase & Angriffshandlung): Torsion des Rumpfes bzw. maximale Rückführung der Schlagschulter, Aufbau einer Bogenspannung (Hyperextension der Wirbelsäule) und explosionsartige Beschleunigung der Hüfte mit Auflösung der Rotationsspannung des Thorax. Abschließende Beschleunigung der oberen Extremität ähnlich der klassischen Wurfbewegung mit Balltreffpunkt ventral oberhalb des Kopfes;



- Endphase (Landing): beidbeinige Landung zur Abfederung der Fallbeschleunigung mit Folgeschritten zum Ausgleich der frontalen Beschleunigung.

Das beschriebene Bewegungsprofil unterstützt die von Dübotzky und Leistner (1992) beschriebene Belastung der WS innerhalb der Angriffsaktion. Dabei ist nicht auszuschließen, dass eine Torsion um die Longitudinalachse während der Ausholbewegung mit einer Dysbalance-induzierten Lateralflexion einhergeht, wie Fett (2015) anhand ihrer Bewegungsanalyse bestätigt.

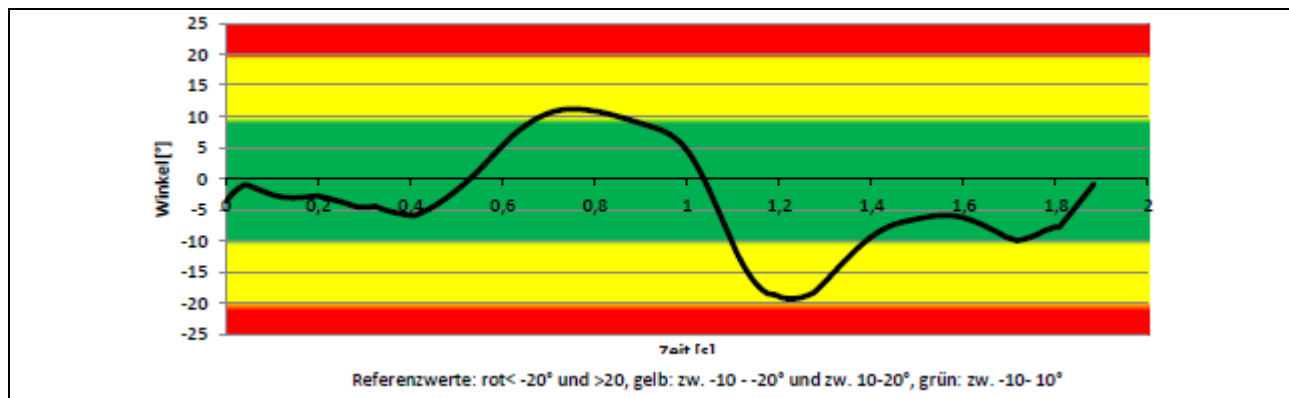


Abbildung 10: Lateralflexion der gesamten WS beim frontalen Angriffsschlag, aus Fett, D., 2015, S.19.

Kuhlmann (2010, S.130f) untersucht in seiner Studie zur Analyse leistungsrelevanter Parameter des Angriffsschlages den jeweiligen Einfluss der einzelnen Körpersegmente auf den Gesamtimpuls des Absprungs. Hierbei ist ein Vorzeichenunterschied der Impulse der rechten und linken unteren Körperhälfte auffällig, was auf eine einseitige Belastung der Körperpartien schließen lässt. Auch Häyrinen, Mikkola, Honkanen, Lahtinen, Paananen und Blomqvist (2011) unterstützen diesen Befund, indem sie den schädigenden Einfluss des Angriffs durch die Häufigkeit sich wiederholender und einseitiger Bewegungsmuster bei maximal möglicher Beschleunigung der beteiligten Körperpartien herausstellen:

„Furthermore good power production abilities in the core, shoulder and arm and optimal function of the kinetic chain are important elements. The mobility of the hip joint and the thoracic vertebrae are also important factors in achieving high ball velocities“ (Häyrinen et al., 2011, S.543).

Abbildung 11 zeigt den Verlauf des Angriffsschlages eines Außenangreifers über die Positionen VI und IV. Die Schlagbewegung, welche in Hauptschlagrichtung (oben), als verdeckter Schlag über die Schulter (mittig) oder als Drehsprung (unten) absolviert werden kann, stellt eine immense einseitige Belastung der Schultermuskulatur (insbesondere Rotatorenmanschette) dar und prädestiniert infolgedessen Dysbalancen der Muskulatur im Bereich der Scapula.

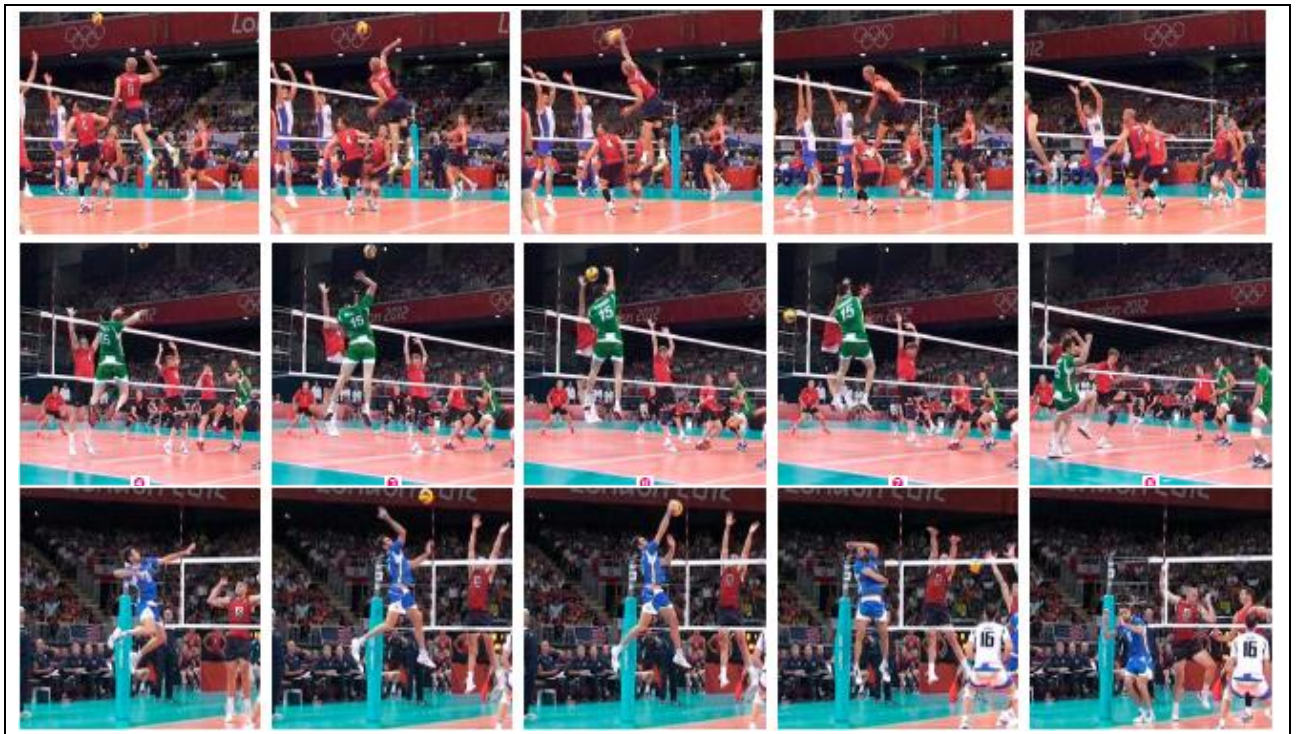


Abbildung 11: Ein Hinterfeld Angriff (Oben, P6 / William PRIDDY, USA) und zwei schnell gespielte Außenangriffe (Mitte, P4 / Todor ALEKSIEV, BUL; Unten, P4 / Christian SAVANI, ITA); Olympische Spiele 2012; nach FIVB.

Überdies lassen sich anhand der Illustrationen die unterschiedlichen Landetypen verdeutlichen, welche neben dem zeitnahen beidbeinigen Aufsatz (oben) auch einbeinige (mittig) und sogar rückwärtige (unten) Landungen dokumentieren. Neben individuellen Techniken spielen positionsbezogene und taktische Aspekte eine Rolle für die Entstehung derartiger Bewegungsmuster. Angriffe über die Position VI werden im oberen Leistungsbereich weiter vom Netz entfernt gespielt als die Angriffe aus netznahen Positionen. Demnach bestimmt neben der Gewinnung von Höhe auch die Überbrückung einer höheren Distanz den Sprungtyp. Marques, Van den Tillaar, Gabbet, Reis und Gonzalez-Badillo (2009) zeigen diesbezüglich, dass eine längere Sprungdistanz im Volleyball mit höheren Geschwindigkeiten und Kräften einhergeht, die auf den Körper des Athleten einwirken. Zudem sind die gegnerischen Blockspieler von dieser Spielposition weiter entfernt und lassen sich auch ohne taktische Manöver überwinden, so dass nicht zwangsläufig alternative, oft schulterbelastende Maßnahmen ergriffen werden müssen, um erfolgreich zu sein. Für die Spielposition IV hingegen ist ein breites Spektrum an Handlungsoptionen von Nöten, welches sich nicht nur in den Schlagvarianten äußert (u.a. verdeckte Schläge über die Schulter, Drehschläge, Cuts, Shots, etc.), sondern sich auch auf die Anlauf-/Absprunggeschwindigkeiten und Weglängen auswirkt (Anlauf nach eigener Annahme, nach voriger Abwehraktion, nach Zuspiel eines Feldspielers, usw.). Kurze Bodenkontaktzeiten, die zu hohen Bewegungsgeschwindigkeiten beitragen, werden überwiegend durch einen Fersenaufsatz bewerkstelligt. Dieser hat jedoch wesentlich höhere Beanspruchungen der Wirbelsäule sowie der unteren Extremitäten zur Folge (Reeser, Verhagen, Briner, Askeland & Bahr, 2006) und be-

dingt eine Vielzahl unterschiedlicher Belastungsanforderungen des Athleten und somit auch der WS. Resümierend lässt sich also festhalten, dass die Belastungssituationen abhängig von der jeweiligen Spielposition sind. Diesen Verdacht bestätigt auch die Abschlussarbeit von Frau Fett, D. (2015), welche sich eingehend mit der biomechanischen Analyse der Bewegungsmuster im Volleyball beschäftigt. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte sie ballgebundene Aktionen in Abhängigkeit von der Spielposition weiblicher Volleyballspielerinnen identifizieren (Abbildung 12) und somit die unterschiedliche Häufigkeit der Ausführung spezieller Techniken je Spielposition darstellen.

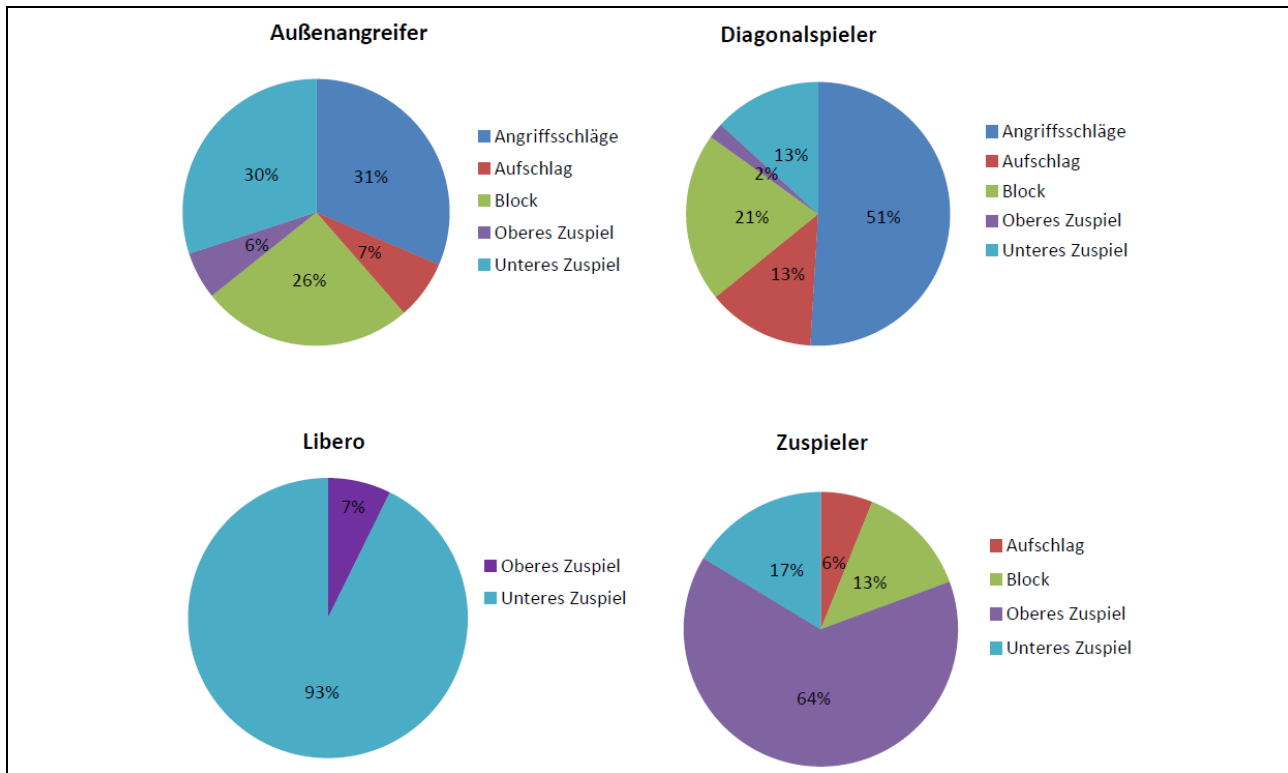


Abbildung 12: Ballbezogene Handlungen unterschiedlicher Spielpositionen, aus Fett, 2015, S.13.

Es lässt sich also sagen, dass der Zuspieler sowie der Libero recht einseitige Positionen besetzen, welche überwiegend eine Technikform anwenden (oZ, uZ). Der Diagonalspieler hingegen scheint neben Block und Aufschlag hauptsächlich für den Angriff zuständig zu sein, während das Anforderungsprofil des Außenangreifers wesentlich ausgeglichener ist. Die Position der Mittelblocker findet in dieser Studie keine Berücksichtigung. Fett resümiert:

„Auffällig große Bewegungsausmaße sind in den Spielaktionen des Angriffsschlags, der Aufschläge, der rückwärtigen Zuspiele, der Blöcke und der Bereitschaftsstellung zu beobachten. Große Extensionen zeigen sich in den rückwärtigen Zuspielen sowie bei den frontalen Angriffsschlägen und den untersuchten Aufschlägen. Bei den frontalen Angriffsschlägen und den Aufschlägen ist die Wirbelsäule zudem noch asymmetrisch belastet“ (Fett, 2015, S.20f).

Die erfassten maximalen Bewegungsausmaße liegen jedoch noch im Rahmen der laut Fett erklärten Norm. Anhand der identifizierten Aktionshäufigkeiten pro Spiel-

positionen werden die unterschiedlichen Anforderungsprofile im Volleyball deutlich. Mit deren Hilfe sollte eine Evaluation des Einflusses einzelner Spielaktionen auf die Entstehung von Rückenschmerzen abgeschätzt werden können.

Weiterhin konnten Ito et al. (2001) bei Frauen, die lebenslang VB praktiziert hatten, Veränderungen bzgl. der Knochendichte in der lumbalen WS, dem Calcaneus und der Tibia zeigen. Klein und Sommerfeld erörtern in ihrer biomechanischen Abhandlung der WS ebenfalls Alters-Einflüsse, die sich negativ auf Beweglichkeit, Knochendichte und Belastbarkeit der Segmente auswirken. Zaccagni, Onisto und Gu-Russo (2009) ergänzen hierzu die biologischen Charakteristika, die sich bei ehemaligen Volleyball Elite-Athleten zeigten. Obgleich bei den älteren Athleten bezüglich der technischen Aspekte ein eher geringer Abfall zu verzeichnen war, erreichten diese wesentlich schneller ihren Belastungsgrenzen als die jungen, aktiven Sportler. Erstere zeigten allerdings auch hier noch überdurchschnittliche Werte im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung.

Neben dem Lebensalter stellt die Körperhöhe und die damit verbundene Aktionshöhe im Volleyball einen entscheidenden Parameter der Spielleistung dar (Akarcesme, Yildiran, Bakir & Arslan 2010). Dies zeigte sich auch in Boldt, Gregory, Jaffe, Dodge und Jones (2011) Untersuchung bezüglich der NCAA Division III Damen Athleten, bei der die durchschnittlichen Körperhöhen der VB Teams größer als die Norm waren. Dieser Befund trifft ebenfalls auf hochklassige Top Athleten zu (Kubanische Nationalspieler; Carvajal et al., 2012; Lidor & Ziv, 2010). Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen der Anthropometrie (Körperhöhe) und der Sprungleistung nachgewiesen (Sheppard, Gabbett & Stanganelli, 2009b; Sheppard, Cronin, Gabbett, McGuigan, Etxebarria et al., 2008). In medizinischer Hinsicht lassen sich ebenso spezielle Pathologien zu der Größe der Spieler in Relation setzen (Malliaras et al., 2006). So scheint die Körperhöhe einen Einfluss auf muskuläre Systeme zu besitzen (auf Basis des Hebelgesetzes physikalisch auch denkbar). Inwieweit dieser Einfluss auch für Rückenschmerzen verantwortlich sein könnte, muss noch geklärt werden. Es finden sich jedoch erste Anzeichen, dass die Größe sich negativ auf die Rückengesundheit auswirkt (Kolt, 2013).

Dieser Umstand könnte aber auch mit der Gesamtkörpermasse zusammenhängen, die i.d.R. mit der Körperhöhe korreliert. So können Hoy et al. (2010) zeigen, dass ein hoher BMI als Prädiktor für RB anzusehen ist. Geht man jedoch von einer durchschnittlich höheren Körpermasse der Männer im Vergleich zu den Frauen aus, stellen Carpenter, Frank, Winter und Peysar (2003), Langlotz (2005) und Hoy et al. (2010) jedoch kontrovers dazu eine höhere Prävalenz von RB bei Damen heraus. Dieses Ergebnis könnte in den divergierenden Körperproportionen der Geschlechter verankert liegen. Dies ist bereits auf Basis anthropometrischer Gesichtspunkte mehrfach analysiert worden (Sheppard et al., 2009b; Malliaras et al., 2006, etc.); eine klare Differenzierung anhand der konkreten Körperteilvolumina ist bisher jedoch noch nicht Gegenstand intensiver Forschung gewesen.

Unter Berücksichtigung belastungsspezifischer Parameter ist offensichtlich, dass unterschiedliche Massenverhältnisse (Oberkörper zu Unterkörper, linksseitig zu

rechtsseitig, Brust-, Bauch-, Oberschenkelumfang, usw.) auch unterschiedlich hohe Anforderungen an die stabilisierende Muskulatur stellen. Die Körperteilmassen (z. B. beim Angriffsschlag) entwickeln separate Impulse, die von lokalen und globalen Muskelgruppen interaktiv wie kooperativ abgefangen werden müssen, um zu kontrollierten Bewegungsabläufen zu gelangen. Dabei konnte bereits eine gewisse muskuläre Dominanz der Spieler in Abhängigkeit von ihrer „Händigkeit“ nachgewiesen werden (Kugler et al., 1996; höhere Schultermasse & hängende Schulter des Schlagarms). Möglicherweise lassen sich Rückschlüsse auf die Entstehung von Beschwerden durch eine Analyse der Arm- und Bein-Dominanz im Rahmen der Spielposition ziehen. Diese Zusammenführung basiert auf der Annahme, dass unterschiedliche Feldpositionen auch differenzierte Bewegungsmuster aufweisen (Fett, 2015).

Besonders Angriffsschläge bedürfen laut Lehrbuch (Papageorgiou & Timmer, 1990) einer Verwindung des Oberkörpers je nach Händigkeit. Dies stellt ein unnatürliches Bewegungsmuster für die WS dar, da die explosive Rückwärtsrotation eine diffizile, willentliche Kontrolle (neuronal und muskulär) erschwert. Assoziiert mit der aktiven Spielposition (rechts/links vom Zuspieler) ergeben sich unterschiedliche Optionen bei der Technikausführung des Angriffsschlages; wobei der Oberkörper beim Angriff zusätzlich zur Rotation in Hyperextension befindlich ist (Fett, 2015). Ein Bewegungsmuster, welches im Angriff eine Rotation weg vom Zuspieler verlangt (Rechtshänder auf der Diagonalposition, Linkshänder auf der Außenposition (IV) könnte in der extensiven Häufigkeit von Topathleten zu Schmerzsymptomen und Dysbalancen führen.

Des Weiteren konnten Marques et al. (2009) positionsbezogene Unterschiede in anderen körperbeschreibenden Variablen („body mass, muscular strength, and upper-body muscular power“; Marques et al., 2009, S.4) nachweisen. Dalichau und Scheele (2002) entdeckten ebenfalls morphologische/strukturelle Veränderungen der WS an Profivolleyballern. Dabei identifizierten sie einen deutlichen Beckenschiefstand sowie eine ausgeprägte Kyphose bei Angriffsspielern, wohingegen L und Z noch eher der Norm entsprachen als die KG. Carpenters et al. (2003) Untersuchung ergänzt diesen Befund durch die Identifikation skoliotischer Fehlhaltungen mit einer konvexen Krümmung hin zur Schlagschulter. Wie Waters, Adkins, Yakura und Sie (1993) berichten, sind Erkrankungen/unnatürliche Veränderungen als ein Hauptprädiktor für die Entwicklung von Verletzungen/Schmerzsymptomen anzusehen. Somit stellt gerade die Vermessung Rückenform-beschreibender Faktoren einen wichtigen Baustein zur Analyse von RB dar. Hier haben sich unter anderem Variablen wie der Kyphoseapex, die Lordose- und Kyphosewinkel, der Grübchenabstand und die seitliche Abweichung (transversalebene) als erkenntnisfördernd herausgestellt (WS wird über diese Parameter definiert).

Nicht nur die Morphologie sondern auch das bereits definierte Konzept der *Core Stability* weist im Zusammenspiel mit der Balance einen prädiktiven Charakter auf. Die, mit dem Zuwachs der Core Stability in Verbindung stehende, Verbesserung der Agilität und Kraftausdauer (Sekulic, Spasic, Mirkov, Cavar & Sattler, 2013),

zeigt einen Einfluss auf die posturale Kontrolle. So konnten Strobel et al. nachweisen, dass bei einer Kraftausdauerbelastung (Fahrradergometrie) die Stabilisationsfähigkeit signifikant nachlässt (2011). Da die Ermüdungswiderstandsfähigkeit also als ein potentieller Prädiktor anzusehen ist, gilt es, die sportartspezifischen Belastungsparameter zu identifizieren und in einem Test adäquat zu simulieren. Auguste, Link, Salimi, Schimanski und Lames (2005) entwickelten hierfür eine Volleyballspezifische Sprungkraftdiagnostik, an deren Durchführung sich die Erhebung innerhalb dieser Untersuchung orientiert. In diesem Zusammenhang werden neben Counter Movement Jumps (CMJ) auch Drop Jumps und ein Sprungkraftausdauer-test auf einer Kraftmessplatte vorgeschlagen. Chen (2013) bestätigt die Aussagekraft der CMJ:

„the CMJ was chosen for testing because it has been shown to be highly reliable in assessing the lower extremity explosive power (intraclass correlation coefficient [ICCR] = 0.97)“ (Chen, 2013, S.3).

Zusätzlich bedarf es laut Sattler, Sekulic, Hadzic, Uljevic und Dervisevic (2012) der Integration eines volleyballspezifischen Angriffs- oder Blocksprungs. Basierend auf den Forschungsergebnissen von (Chen, 2013) wurde auf die Drop Jumps verzichtet, da ein Einfluss von DJ auf die CMJ Sprungleistung gezeigt wird:

„In terms of physiology, the fast-twitch muscle fibers have to be sufficiently recruited during the CMJ performance. The intensity of the DJ used in this study may increase the excitability of motor units and further offer sufficient recruitment of fast-twitch muscle fibers, thereby improving CMJ performance. In addition, the eccentric contraction of DJs can induce high muscle temperature, which can increase the high muscular activation to enhance performance“ (Chen, 2013, S.4).

Es konnte zwar gezeigt werden, dass VB-Angriffssprünge die Anforderungen der Belastungsprofile am besten erfüllen (Sattler et al., 2012), allerdings zeigten sich hier keine nennenswerten Differenzen. Bei der Durchführung sportartspezifischer Messungen ist jedoch mit gravierenden methodischen Komplikationen zu rechnen, die im Rahmen dieser Dissertation einen unzumutbaren zeitlichen Aufwand in Relation zur Höhe des Erkenntnisgewinns darstellen würden. Bisher ist ungeklärt, ob sich die Sprunghöhe als potentiell prädiktiv für Beschwerden des Rückens erweist. Gute Sprungfähigkeit ist bereits mit anderen Beschwerden positiv assoziiert (z. B. Patellaspitzensyndrom; Lian, Refsnes und Engebretsen, 2003; Kulig et al., 2013), weshalb es dies in Hinsicht auf RB zu untersuchen gilt. Nachdem bereits erwähnt wurde, dass axiale Belastungen den intervertebralen Druck erhöhen und somit eine deutliche Belastung für die WS darstellen, scheint es kaum verwunderlich, dass auch Sprungbelastungen einen hohen Einfluss auf die WS aufweisen (biomechanisch begründet).

Hierbei ist jedoch die Berücksichtigung des Körpergewichts unabdingbar, um einen Eindruck des Ausmaßes der einwirkenden Kräfte zu gewinnen. Eine bei der Betrachtung der Gesamtmasse fehlende Größe ist dabei die Verteilung der Teilmassen, welche sich auf die Hebelverhältnisse des Körpers und in Folge dessen der Muskulatur auswirkt. Eine derartige Untersuchung findet sich aufgrund des mess-

technischen Aufwands kaum. Da der bloße Wert der Körpermasse (in kg) jedoch über einen ähnlich wissenschaftlichen Beschreibungsgrad wie der BMI verfügt, sollte eine Erhebung sämtlicher körperbezogener Volumina einen tieferen Einblick in die Proportionen und Dysbalancen von Spitzenathleten liefern. Es kann davon ausgegangen werden, dass Differenzen der Volumina gleicher Körperpartien bei Profisportlern bzw. Athleten der ersten Liga hauptsächlich auf muskulären Unterschieden basieren, da der Körperfettanteil als sehr gering einzuschätzen ist. Diese muskulär indizierten Divergenzen der Ausprägung segmentaler Volumina spiegeln nicht nur eine höhere Adaptation ausgeprägter Körperpartien wider, sondern bewirken auch sich verändernde Längen- und Hebelverhältnisse sowie die Verschiebung des KSP. Z. B. wird ein erhöhtes Rumpfvolumen zur kranialen Verschiebung des KSPs und infolgedessen, bei leichter Anteriorisierung des Oberkörpers, zu einer höheren Aktivierung der dorsalen Kette führen. Im Gegensatz hierzu bedeutet ein überwiegender Massenanteil der unteren Extremitäten die Absenkung des KSP und des damit verbundenen erhöhten Gleichgewichts. Dies würde zunächst für eine überwiegende Ausbildung der unteren Extremitäten sprechen. Allerdings zeigt sich, dass ein verhältnismäßig schwacher Rumpf ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Entstehung von Rückenbeschwerden aufweist. Eine konkretere Auseinandersetzung mit dieser Thematik vor dem Hintergrund von Axialbelastungen und muskulärer Aktivität erfolgt in den Kapiteln zur posturalen Kontrolle und zum Training des Cores.

Neben den dargestellten biomechanischen Parametern gelten jedoch auch psychosoziale Einflussfaktoren als maßgeblich für die Entstehung von Rückenschmerzen. Dabei sind Variablen wie „less income, low educational status“ (Hoy et al., 2010, S.776), angstbedingte Vermeidungsstrategien (Descarreaux et al., 2004) und die Heilungserwartung (Kongsted, 2013) entscheidend in ihrer Bedeutung für die Entwicklung neuer sowie die Chronifizierung bestehender Beschwerden. Einen Hinweis auf einen kognitiven Anteil chronisch unspezifischer Beschwerden liefern auch Siemonsma et al. (2013) in ihrer kognitiv fokussierten Interventionsstudie. Hier konnten sie eine Aktivitätssteigerung der Probanden im Langzeitdesign erwirken, wohingegen jedoch Altmaier et al. (1992) keine signifikante Erhöhung der Effizienz einer therapeutischen Maßnahme durch Ergänzung einer psychologischen Intervention erzielen konnte. Die Rekurrenz von Rückenschmerzen scheint jedoch zweifelsohne der entscheidende Prädiktor für Rückenschmerz zu sein (Elders & Burdorf, 2004). So postuliert Stanton (2008) zwar, dass die Rekurrenz von Beschwerden unvorhersehbar und nicht zwingend vorhanden sei, die Kollegen Hestbaek et al. (2003) sowie Hammil et al. (2008) widersprechen ihm jedoch in ihren Untersuchungen: „The risk of LBP was consistently about twice as high for those with a history of LBP“ (Hestbaek et al., 2003, S.149); „LBP seems to be the best predictor for the likelihood of experiencing a future episode of LBP“ (Hammil, et al., 2008, S. 452).

#### 2.6.4 Präventive Maßnahmen volleyballspezifischer Verletzungen

In Bezug auf die erwähnten potentiellen Erkrankungsbilder sollen nachfolgend präventive Ansätze im Volleyball Sport dargestellt werden, um einen Ausblick auf den praxisrelevanten Erkenntnisgewinn dieser Dissertationsschrift zu geben. Dabei handelt es sich um ausschließlich im Volleyball durchgeführte Studien der Verletzungsmechanismen.

Bzgl. der Prävention von Sprunggelenkstraumata propagiert bereits Briner (1996) den positiven Einfluss von Orthesen oder auch spezifischem, sensomotorischem Training. Bahr und Bahr (1997) greifen diesen Ansatz in ihrem ausführlichen Beitrag zur Sprunggelenksverletzung im Volleyball erneut auf und bestätigen den präventiven Effekt. Weiterhin können Schafle et al. (1992) den positiven Einfluss von Taping auf die Inzidenz zeigen, während Garrick und Requa (1973) sowie Hughes und Stetts (1983) schon früh den positiven Einfluss gelenkstabilisierender Maßnahmen herausstellten. Es ist also davon auszugehen, dass die Modifikation der Stabilität über externe Maßnahmen eine sinnvolle Ergänzung zur Prävention darstellt.

Ebenso herrschen aber spielstrukturelle Ansätze zur Reduktion der Inzidenz – durch veränderte Sprungtechniken – vor. Bahr, Bahr und Lian (1996) raten zu einer primär vertikal ausgerichteten Sprungtechnik in Kontrast zu der im Volleyball etablierten Kombination aus vertikalem und frontalem Absprung. Schon aufgrund der immensen Bedeutung der Hinterfeldangriffe für den aktuellen Hochleistungsvolleyball ist jedoch nicht davon auszugehen, dass dieser zwingende Teil des Trainings aufgrund potentieller Verletzungsmechanismen seitens des Trainerstabs modifiziert werden wird. Auch Reeser et al. (2006) schlagen Regeländerungen zur Verringerung der Traumainzidenz vor, insbesondere die Modifikation der Übertrittsregel (S.596).

Auch im Rahmen der Vorbeugung von Knieverletzungen erweist sich im Volleyball sensomotorisches Training als gewinnbringend. Reeser et al. (2006) setzen jedoch eher auf die Umstrukturierung der exogenen Faktoren, allen voran der Technik- und Trainingsplanänderung (S.597). Die Reduktion des Pensums, respektive die umfangreichere Integration von Pausen, sollen der Überlastung der Patella Sehne vorbeugen. Da bei Erstauftreten einer Schmerzsymptomatik die Heilung der Patella Sehne einen längerfristigen Zeitraum in Anspruch nimmt, empfiehlt sich hier schon a priori die individuelle Planung der hohen Trainingsumfänge im Kindes- und Jugendalter. Aus eigener Erfahrung muss jedoch auf die damit verbundenen Schwierigkeiten (beschränkte Zeitplanung, geringe Hallenkapazitäten) hingewiesen werden, die ein dbzgl. optimales Vorgehen erschweren.

Unklar ist die von Reeser et al. (2006) ebenso propagierte Änderung der Sprungtechnik. Wie dargestellt handelt es sich bei dem angesprochenen Syndrom um eine Überlastungserscheinung, die vorwiegend über die hohe Sprungintensität und -dichte verursacht wird. Die hier postulierte Verringerung des Knieflexionswinkels



auf ein Minimum (S.597) mindert jedoch zugleich die muskuläre Absorption des Landeimpulses über die Streckerschlinge und würde die wirkenden Kräfte auf die rumpfstabilisierenden Strukturen bzw. die WS (insbesondere die ohnehin stark beanspruchten Lendenwirbel) umleiten. In Anbetracht der hohen Relevanz der Gesundheit des Rumpfes bzw. des Erstauftretens chronischer RB für die Persistenz und Chronifizierung empfiehlt sich aber keineswegs die zusätzliche Beanspruchung der Rücken- und Bauchmuskulatur.

Adäquat zu den Sprunggelenkstraumata werden auch hier bisher Taping und Orthesen des betroffenen Kniegelenks angeraten. Insbesondere in der Therapie der PT haben sich diese Mittel als erfolgsversprechende, unterstützende Maßnahmen etabliert (Reeser et al., 2006) und gelten daher als vielversprechend in der Prävention. Entgegen der allgemein propagierten Verwendung von Kinesio-Tape stellte sich in anderen Studien dieses aber als nicht effektiv in der Beeinflussung des EMG Signals und der Flexibilität des M. Quadriceps Femoris bei Volleyballern heraus (Halski et al., 2015).

Zur Vorbeugung von Schulterverletzungen präferieren Aagard und Jorgensen (1996) eine Änderung exogener Faktoren, indem u.a. das Spielgerät im Damenvolleyball angepasst werden sollte: „change the size, weight and pressure of the ball“ (S.231). Dabei ist jedoch bisher unklar, ob die Inzidenz chronischer Schulterüberlastungen durch die Impulsübertragung auf den Ball hervorgerufen wird oder bereits als Folge der repetitiven maximalschnellen Beschleunigung (vorwiegend Innenrotation) des Schlagarms aus Vordehnung resultiert. Da der größte Teil des Bewegungsradius beim Angriffsschlag jedoch ohne Ballkontakt verläuft (Meyndt et al., 2010) und sich der Anteil der klassischer Weise betroffenen Muskeln M. Supraspinatus und M. Infraspinatus in der Phase des Balltreffpunktes als relativ gering darstellt, ist zunächst davon auszugehen, dass eine Überlastung in Abhängigkeit vom Spielgerät als eher unwahrscheinlich anzusehen ist. Hingegen steigen die Anteile der Brustmuskulatur und entlasten die Schulterpartie. Diese Überlegungen lassen sich auch von Escamilla und Andrews (2009) bzgl. ihres EMG Vergleichs diverser Überkopfsportarten bestätigen.

Es ist folglich nicht davon auszugehen, dass die Reduktion der Masse des Spielgerätes einen entscheidenden Einfluss auf die Entstehung von Schulterverletzungen bedingen würde.

Vielmehr kristallisieren Cools et al. (2015) vor allem folgende drei Faktoren als eminent wichtig heraus: „glenohumeral internal-rotation [...] rotator cuff strength and [...] scapular position and strength“ (S.331). So unterstützen sie die Annahme, dass die für die Dehnung innerhalb des Ausholvorganges mit anschließender Beschleunigung verantwortlichen Muskelpartien einer intensiven Beanspruchung standhalten müssen und in Folge dessen gekräftigt werden sollten. Ein geeignetes Trainingsprogramm wird jedoch nicht vorgestellt.

Hieraus ergibt sich, dass bei Schulterverletzungen eine Modifikation der Technik ggfls. als probates Mittel zur Verletzungsprävention anzusehen ist. Aus sportprakti-

scher Sicht ließe sich dies über eine Reduktion des Ausholvorganges bewerkstelligen, hätte jedoch ebenfalls einen Einfluss auf die Schlaghärte.

## 2.7 Hypothesen

Im vorigen Teil dieser Arbeit fanden theoriegeleitet einige potentielle Prädiktoren Erwähnung. Die in diesem Kapitel dargestellten Hypothesen sind das Resultat der Auseinandersetzungen mit der Forschungsliteratur und werden im anschließenden Absatz bzgl. ihrer Operationalisierung genauer durchleuchtet. Im Rahmen dieses Gesamtprojekts ergaben sich also folgende Fragestellungen:

Nach dem bereits dargelegten, von Van Mechelen et al. (1992) propagierten Konzept der sportmedizinischen Herangehensweise, stellt in der Verletzungsforschung die Identifikation von externen und internen Faktoren als Ursache für Traumata einen wesentlichen Bestandteil dar. Da bereits einige Untersuchungen zur Prävalenz und Inzidenz von Verletzungen (wenngleich nur mit minimalem Aufwand in Bezug auf RB) im Volleyball existieren, ist in einem nächsten Schritt der Einfluss einzelner Variablen auf die Entstehung von Verletzungen zu evaluieren. Aus diesem Anlass steht die Aufdeckung der Prädiktoren im Vordergrund der Dissertationsschrift und führt zu der Hauptfragestellung  $F_1$ :

$F_1$ : Lassen sich Faktoren identifizieren, welche für die Entstehung von Rückenschmerzen im Volleyball verantwortlich zeichnen?

Da es sich bei der Studie um eine querschnittliche Erfassung der Prädiktoren handelt, kann die Kausalität des Zusammenhangs von RB und Volleyballaktivität im Rahmen dieser Untersuchung vermutlich nicht eindeutig geklärt werden. Da jedoch die Morphologie der WS maßgeblich durch den muskulären Halte- und Stützapparat geprägt wird, der sich über den Lebensverlauf im Spitzensport sportartspezifisch anpasst (Dalichau, 2001), könnte die Berücksichtigung u.a. zeitabhängiger Variablen (Trainingserfahrung, Wöchentliches Training, Leistungsniveau) einen erklärenden Beitrag zur Ätiologie von RB im Volleyballsport liefern. Frau Himmelreich beschäftigt sich im Rahmen ihrer Arbeit also mit der folgenden Fragestellung:

$F_2$ : Auf welche Weise beeinflusst eine Karriere als Leistungsvolleyballer die Wirbelsäulenform?

In Anbetracht der sich über die Zeit verändernden körperlichen Strukturen, ist ebenfalls ein Augenmerk auf den gegenseitigen Einfluss der Gelenke zu richten. Dabei ist in erster Linie die im Volleyball stark beanspruchte untere Extremität zu berücksichtigen, die sowohl von Sprunggelenkstraumata als auch der PT (als häufigste akute und chronische Verletzungen) betroffen ist. Ein Zusammenhang genannter Beschwerdebilder hat sich bereits in vorigen Untersuchungen gezeigt (Malliaras et al., 2006) und soll daher von Frau Kirmeyer in ihrer medizinischen Dissertation, vor allem in Kombination mit RB, intensiv untersucht werden:

F<sub>3</sub>: Welche Verletzungsmuster der unteren Extremität sind bezeichnend für den aktuellen Hochleistungsvolleyball? Lassen sich Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit bestimmter Verletzungen und RB erkennen?

Bisher ist vor allem noch ungeklärt, welche Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der regelmäßigen und intensiven Ausübung des Volleyballsports und den identifizierten morphologischen Adaptationen existiert. Aus diesem Anlass wird von Herrn Kessler versucht, ligenspezifische Leistungsunterschiede zu skizzieren und mit Veränderungen der WS Form bzw. RB zu assoziieren. Da sich aus eigener Erfahrung in der Volleyball Bundesliga ein starkes organisatorisches Gefälle gebildet hat, welches in divergierende Intensität der Betreuung mündet, ist also davon auszugehen, dass zwischen den 1. und 2. Bundesligen physiologische Differenzen bestehen.

F<sub>4</sub>: Existieren Leistungsunterschiede zwischen den ersten und zweiten Ligen bzgl. der Stabilität, Mobilität oder maximalen Sprungkraft? Sind bereits in der zweiten Liga morphologische Anpassungen der WS zu erkennen oder ist dies erst in der Intensivierung der Aktivität der 1. Bundesliga verankert?

Bezugnehmend hierauf wurden Hypothesen aufgestellt, welche sich überwiegend an der, in dieser Arbeit fokussierten, Fragestellung 1 orientieren. Zur Beantwortung des Einflusses diverser Variablen auf die Entstehung von Rückenschmerz, ist jedoch die Erhebung potentiell ursächlicher Traumata und der Prävalenz von RB innerhalb der Kohorte unabdingbar. Nachdem bisher hohe Differenzen in der Literatur aufzuzeigen sind, sollen auch diese Aspekte Betrachtung finden.

H<sub>1</sub>: Die Häufigkeit traumatischer Verletzungen im Volleyball der unteren Extremität, insbesondere des Sprunggelenks aber auch des Knies und der Hüfte, lässt einen Rückschluss auf die Entstehung von RB zu.

H<sub>2</sub>: Die Prävalenz von Rückenbeschwerden ist im Hochleistungsvolleyball annähernd so hoch wie in der allgemeinen Bevölkerung.

H<sub>3</sub>: Angstvermeidung und habituelles Wohlbefinden (über FABQ und HADS) sind durch das kognitiv anspruchsvolle Training der Volleyballathleten für die Entstehung von Rückenschmerz im Volleyball nicht verantwortlich zu machen.

H<sub>4</sub>: Durch einseitige Trainingsbelastungen herrschen im Volleyball ungünstige Körperteilvolumina-Relationen vor, welche eine Entstehung von Rückenbeschwerden begünstigen (gemessen am BMI und der Relation  $V_{Ob}/V_{Un}$  sowie  $V_{li}/V_{re}$  zu RB).

H<sub>5</sub>: Die Existenz chronischer Rückenbeschwerden wirkt sich auf die Leistungsentfaltung im Hallenvolleyball negativ aus (Senkung der maximalen Sprunghöhe, Steigerung des Center of Pressures).

H<sub>6</sub>: Die stetigen Sprungbelastungen der Athleten wirken sich bei unzureichender Kraftausdauer negativ auf die Rückengesundheit aus (gemessen am Zusammenhang zwischen der Schmerzintensität über die VAS und dem Ermüdungsindex aus 20 CMJ in Folge).

H<sub>7</sub>: WS-Form Abnormitäten wie Abweichungen vom Lot, Oberflächenrotationen oder Skoliosen prädestinieren die Entstehung von Rückenbeschwerden und sind innerhalb der leistungsbezogenen Volleyball Aktivität signifikant häufig anzutreffen.

H<sub>8</sub>: Volleyballbedingte Veränderungen der WS Form betreffen eine Entlordosierung des Lumbalwinkels sowie eine Intensivierung der Brustkyphose bei männlichen Volleyballathleten.

H<sub>9</sub>: Bei weiblichen Volleyballspielerinnen ist eine geringere Ausprägung der Lordose und eine deutlichere Kyphose verglichen mit gleichaltrigen Nicht-Sportlern zu verzeichnen.

H<sub>10</sub>: Beckenschiefstellungen liefern durch die Ausrichtung der WS einen bedeutenden Beitrag zur Entstehung von Rückenschmerzen im Volleyball (gemessen an dem bilateralen Vergleich [Beckenhochstand] sowie der Rotation in der Sagittalebene und der Torsion in Bezug zur Varianzaufklärung von RB).

H<sub>11</sub>: Der Umfang wöchentlicher Berufs-sportlicher Aktivität und der volleyballspezifischen Erfahrung ist entscheidend für die Entstehung von Rückenbeschwerden (Varianzaufklärung der Kategorie „Profithlet vs. Angestellter“ inklusive regelmäßige Volleyballaktivität bzgl. RB).

Neben den genannten Fragestellungen ergeben sich anhand der Qualität der Stichprobe bzw. Datensätze auch zahlreiche Nebenprodukte. Diese sollten, wenngleich sie keinen direkten Beitrag zur Aufklärung der hier als Zielfragestellung formulierten Haupthypothesen besitzen, dennoch Erwähnung finden, da sie weitere Erkenntnisse für die Spielstruktur des Hochleistungsvolleyballs ableiten lassen:

- Normwerte der WS Form für Volleyballspieler des höchsten Niveaus;
- Mittelwerte der Sprunghöhe und Stabilisationsfähigkeit des Hochleistungssports Volleyball;
- Anthropometrische Beschreibung der Kohorte von Volleyballern;
- Unterschiede in der Leistungsklasse bezüglich der Parameter Stabilität und Sprungkraft.

### 3 Methoden

Nachdem im vorigen Kapitel die Ziele der Untersuchung definiert wurden, soll nun die Methodik, welche sich zur Bearbeitung der Forschungsfragestellungen als dienlich erweist, dargelegt werden. So werden zunächst die Stichprobe charakterisiert, das Studiendesigns dargelegt, die Prädiktoren operationalisiert und schlussendlich die Messverfahren illustriert und begründet, bevor die statistischen Grundvoraussetzungen zur mathematischen Auseinandersetzung geprüft werden.

Zur Illustration der Skalenniveaus eignet sich die Klassifizierung der Risikofaktoren in interne sowie externe nach Tabelle 5. Dabei lassen sich die potentiellen Prädiktoren übergeordnet in kontinuierlich- und kategorial-erfasste Merkmale unterteilen, aus welchen auf der Grundlage evidenzbasierter Wissenschaft konkrete Erhebungsinstrumente/Messverfahren resultieren.

Tabelle 5: Darstellung der Methodenentwicklung beruhend auf der Differenzierung potentieller Risikofaktoren separiert nach kontinuierlichen und kategorialen Variablen.

Risikofaktoren	Kontinuierliche Variablen	Kategoriale Variablen	Messverfahren
Interne Faktoren	Neuromuskuläre Kontrolle <sup>b</sup>	Verletzungshistorie <sup>g</sup>	a) Körpervermessung
	Anthropometrie <sup>a,d,e</sup>	Dominanz <sup>c,h</sup>	b) Einbeinstand/SEBT
	Schmerzerleben/-verarbeitung <sup>h</sup>	Geschlecht <sup>h</sup>	c) Sprungdiagnostik/ Kraftmessplatte
	VBErfahrung <sup>h</sup>	Ausgleichssport <sup>h</sup>	d) WS Analyse
Externe Faktoren	Ausfallzeiten <sup>h</sup>	Spielstruktur <sup>f</sup>	e) Pedobarographie
	Medikamenteneinnahme <sup>g,h</sup>	Wettkampfsituation <sup>f,h</sup>	f) Spielstrukturanalyse
	Trainingszustand <sup>b,c,h</sup>	Umgebungsbedingungen <sup>f,h</sup>	g) Anamnese
	Arbeitszeit <sup>h</sup>		h) Fragebogen

Desweiteren erfolgt eine Differenzierung der Prädiktoren bzw. des Einflusses der Variablen innerhalb vordefinierter Subgruppen (im Folgenden auch: *Subsets*). Diese werden wie folgt festgelegt:

Tabelle 6: Subsets der Untersuchung.

Subsets	Definition
Geschlecht	männlich (m), weiblich (w)
Spielposition	Außenangreifer (AA), Diagonal (D), Mittelblocker (MB), Libero (L), Universal (U), Zuspieler (Z)
Leistungsniveau	Aktuelles Spielniveau: 1.Liga, 2.Liga
Beruflicher Stand	Professioneller Volleyballathlet (Profi), anderweitig angestellt/tätig (Nicht-Profi)
Altersgruppe	Senioren < Jahrgang 1997, Junioren >= Jahrgang 1997

Eine spezielle Betrachtung der Altersklassen wurde zwar a priori nicht ausgeschlossen, im weiteren Verlauf der Studie ergab sich jedoch der Umstand, dass nur

insgesamt zehn der Athleten der Bundesliga jünger als 18 Jahre alt waren. Alle anderen Athleten befanden sich in der Altersspanne von 20-30 Jahren (Mittelwert ♀=22, ♂=24). Auch eine feinere Untergliederung in die Altersstufen 20-23, 24-26 und 27-30 verzeichnete keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Kohorte bzgl. der AV und UV. Aus diesem Grunde wird in dieser Untersuchung von einer Untergliederung in Altersstufen abgesehen und vielmehr auf die Gesamtdauer volleyballspezifischer Aktivitäten eingegangen. Aus Gründen der Vollständigkeit sei hier dennoch auf die ursprüngliche Planung hingewiesen.

### 3.1 Studiendesign

Bahr und Holme (2003) plädieren in ihrem methodischen Konzept zur Untersuchung von Risikofaktoren für eine latent prospektive Ausrichtung. In Anbetracht des mangelnden Kausalzusammenhangs retrospektiver Forschung (Bahr & Holme, 2003, S.386) und den potentiellen Bias (die u.a. auf schlechter Dokumentation oder schlichtweg unkorrektem Erinnerungsvermögen basieren können), scheint dies gerechtfertigt. Dennoch wurde sich hier für eine quasi-experimentelle (medizinisch auch: *retrospektive Kohortenstudie*) Untersuchung entschieden, was sich mit folgenden Argumenten begründen lässt:

- (1) Der finanzielle und zeitliche Aufwand einer in dieser Größenordnung geplanten prospektiven Studie wäre im organisatorischen Rahmen einer Dissertation nicht zu bewältigen.
- (2) Das im Rahmen dieser Studie erstellte Nomogramm begünstigt künftige prospektive Datenerhebungen und kann im Nachgang zusätzlich validiert werden.
- (3) Prädiktoren für Rückenschmerz sind bisher noch nicht identifiziert worden, so dass ein Ansatz für gezielte prospektive Datenerhebungen fehlt. Das multifaktorielle Symptom Rückenschmerz lässt sich jedoch nur durch eine Vielzahl von Parametern identifizieren, wodurch die Anzahl beschreibender Prädiktoren für eine sinnvolle Aussage nach unten limitiert ist.

Ein multivariates Vorgehen scheint für die Skizzierung der vielfachen potentiellen Ursachen des Rückenschmerzes besonders geeignet, da nur eine umfassende Berücksichtigung aller Variablen ein adäquates Bild ergeben kann. Aus diesem Anlass kommen sowohl biomechanische und psycho-soziale als auch trainingswissenschaftliche Methoden zum Einsatz.

### 3.2 Messablauf

Im Rahmen persönlicher Gespräche mit den Verantwortlichen der Wettkampfororganisation im Ligenbetrieb seitens des deutschen Volleyball Verbandes (DVV) im Frühjahr 2014 konnte der Kontakt zu allen Vereinsmanagern und Trainern initiiert werden. Nach telefonischer Vereinbarung wurden postalisch sowie elektronisch frühzeitig (Februar 2014) Informationsmaterialien an die Vereine versandt und be-

reits terminliche Vereinbarungen für den Zeitraum der unmittelbaren Saisonvorbereitung (Juni-August 2014) getroffen. Bestandteil dieser Absprachen war die Zusage zur einmaligen, kostenfreien Vermessung der Athleten im Rahmen einer Trainingseinheit oder eines Vorbereitungsturniers. Eine Übersicht teilnehmender Vereine und deren Verortung ist dem Anhang zu entnehmen.

Sämtliche Apparaturen (Kraftmessplatte, Lichtrasterstereograph, Fußdruckmatte, Y-Balance-Test & iPads) wurden innerhalb der zweimonatigen Messperiode mittels eines Leihwagens vom Personal zu den jeweiligen Trainings-/Spielorten der Mannschaften transportiert. Der Aufbau der Geräte erfolgte stets durch die identischen Testleiter und nach intensiver Anleitung und Vorbereitung seitens des Studienkoordinators. Die Datenerfassung wurde zunächst über ein für jeden Probanden in Print vorhandenes sog. Case Report Form (CRF) sichergestellt und am Ende des jeweiligen Messtages in gängige Dateiformate digitalisiert.

Zur Ausleihe des Lichtrasterstereographen wurde ein Kooperationsvertrag mit der Firma DIERS International geschlossen. Die geplante Untersuchung wurde zudem in Bezug auf die ethischen Richtlinien seitens der Bayerischen Landesärztekammer (BLAEK) evaluiert und als ‚unbedenklich‘ eingestuft (siehe Anhang).

Der zeitliche Ablauf der Messungen erfolgte nach dem in Abbildung 13 illustrierten Schema. Während einer Trainingseinheit/eines Turniers (mind. 10 minütige Erwärmung) wurden die Athleten nacheinander in den Messablauf integriert (Abstand ca. fünf Minuten) und nach Beendigung der ca. 30 minütigen Messphase wieder entlassen. Teil der Untersuchung waren: die Erhebung der Körperteilvolumina, eine ärztliche Anamnese, Tests zur posturalen Kontrolle, eine Sprungkraftdiagnostik, die Erfassung der statischen Wirbelsäulenform, eine Fußdruckanalyse sowie eine Abfrage im Rahmen des psycho-sozialen Versorgungskontextes. Eine differenzierte Operationalisierung erfolgt in späteren Kapiteln.

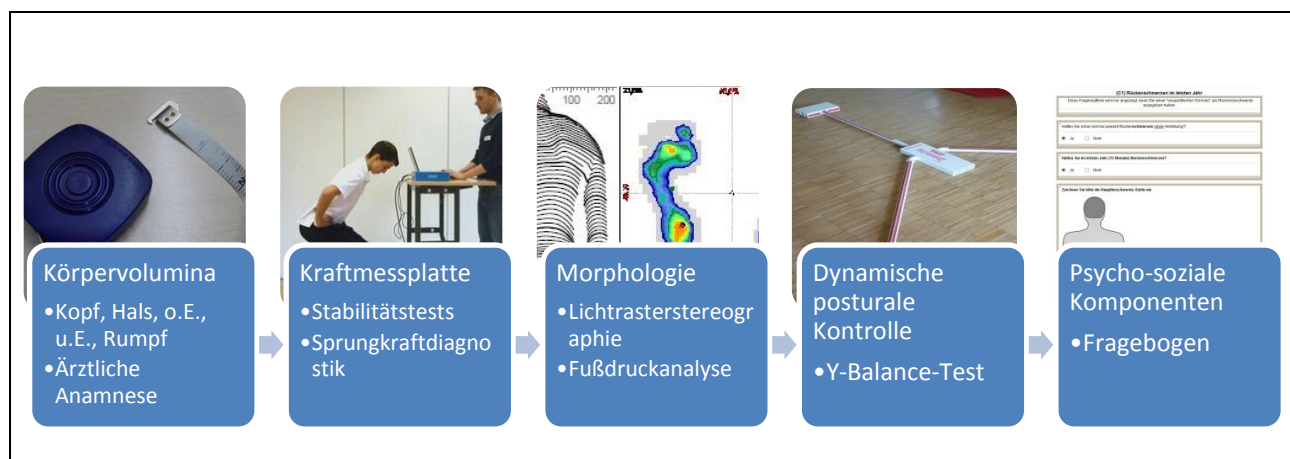


Abbildung 13: Work-Flow Diagramm eines Messtages

In Absprache mit den Trainern wurden die Inhalte der Trainingseinheiten bewusst auf geringster Intensität gehalten, um die differierenden Vorbelastungen zu minimieren. Lediglich bei Turnieren und in Bezug auf die Vortage konnte die Belastung nicht gänzlich kontrolliert werden.

In einem zweimonatigen Zeitraum nach der letzten Messung (04.10.2014-31.11.2014) wurden die gesammelten Datensätze deskriptiv verarbeitet, zu Feedbackbögen komprimiert und als verschlüsseltes .zip File an die betreffenden Vereine versendet, um den direkten Informationsgewinn für Trainer und Athleten zu gewährleisten.

Anders als in bisherigen Untersuchungen (Haag et al., 2015) soll das auf den Prädiktoren basierende Nomogramm neben stabilen Merkmalen (Geschlecht, Dominanz, etc.) auch modifizierbare Größen enthalten (Sprungkraft, Körperproportionen, etc.). So wird eine Modifikation mit dem Zweck einer Vorhersage des Erkrankungsrisikos möglich (durch Modifikation einzelner Prädiktoren). Ein bestehendes Nomogramm für juvenile Fußballspieler liefert zwar eine (bisher noch nicht postvalidierte) Einschätzung des Inzidenzrisikos, stützt sich jedoch vorwiegend auf beschreibenden Faktoren (stabile Merkmale), die i.d.R. konstant sind.

### 3.3 Kollektiv

A priori Fallzahlschätzungen im Sinne einer *Power Analyse* dienen laut Batterham und Atkinson (2005) der Qualität wissenschaftlicher Forschung und sind in der Lage, die ökonomische Effizienz einer Studie zu garantieren. Die theoriegeleitete oder logische Festlegung der Effektstärke sowie die Fehler erster und zweiter Art lassen auf eine Stichprobengröße schließen, welche nötig ist, um mit einer tolerierbaren Fehlerwahrscheinlichkeit ein signifikantes Ergebnis zu erhalten, falls ein solches existiert (Batterham & Atkinson, 2005, S.153). Zur Vereinfachung dieser mathematisch anspruchsvollen Operationen sind diverse Tools in der Forschung gängig, die, basierend auf den genannten Variablen, die benötigte Stichprobengröße berechnen können. Im Rahmen der hier angestrebten Untersuchung wurde im Vorfeld mit G\*Power mittels folgender Bestimmungen die Mindest-Anzahl berechnet (Dunlap, Xin & Myers, 2004; Whittemore, 1981; Hsieh, 1989): Ausgehend von einer Lebenszeitprävalenz von Rückenschmerz mit  $H_0: P_0(Y=1|X=1)=0,80$  und einem geschätzten Erkrankungsrisiko für Rückenschmerzen im Volleyballsport von  $H_1: \bar{P}_1(Y=1|X=1)=0.6$  ergibt sich ein Odds Ratio mit  $OR=0,375$  nach:

$OR = \frac{P_0/(1 - P_0)}{P_1/(1 - P_1)}$	[1]
--	-----

Mit  $P_0$  als Wahrscheinlichkeit des Eintretens für Rückenschmerz in der Normalbevölkerung und  $1 - P_0$  als dessen Gegenereignis. Der OR drückt also das Verhältnis der unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten  $P_0$  zu  $P_1$  aus. Unter Berücksichtigung einer mittleren Co-Korrelationen innerhalb der Prädiktoren ( $R^2=0,09$ ) sowie den Fehlern 1.Art mit  $\alpha=0,05$  und 2.Art  $\beta=0,95$  berechnet sich eine Mindeststichprobenzahl von  $n=157$  (Abbildung 14).



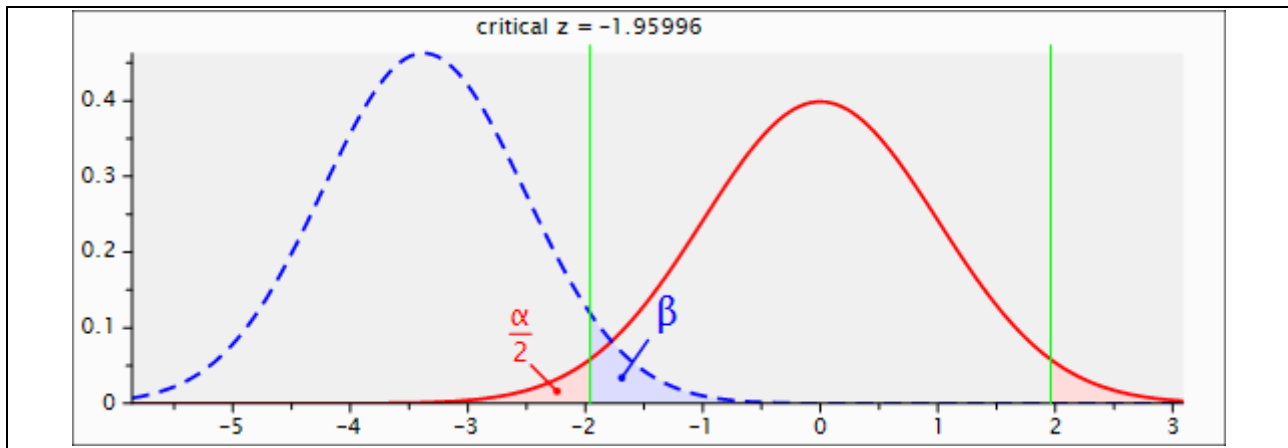


Abbildung 14: G\*Power Plot zur Berechnung der mindest-Stichprobenzahl einer logistischen Regressionsanalyse mit  $OR=0,375$ ,  $R^2=0,09$ ,  $\alpha=0,05$  und  $\beta=0,95$ ;  $n=157$ .

Mit offizieller Unterstützung der Deutschen Volleyball Liga (DVL) konnten über Vorinformationen (telefonisch, elektronisch sowie postalisch) 45 (~63%) der insgesamt 72 in der Saison 2014/2015 aktiven Bundesliga-Teams akquiriert werden. Die Anfragen hierzu wurden sowohl an alle Vereinsmanager als auch an die Team-Trainer gerichtet. Die hierdurch erzielte Stichprobe beläuft sich auf 422 Athleten (220♀, 202♂). Insgesamt 22 dieser Sportler gehören aktuell einem Nationalkader an (16♀, 6♂; Brasilien, Canada, Chile, Deutschland, Niederlande, Griechenland, Israel, Ungarn). Die Altersspanne der Probanden beläuft sich auf die Jahrgänge 1984-2002 und beinhaltet männliche sowie weibliche Athleten der 1. und 2. Volleyball Bundesliga Deutschlands, geclustert nach der in Tabelle 7 dargestellten Struktur. Mit einer Gesamtzahl von 422 untersuchten Athleten ist die Aussagekraft dieser Untersuchung zunächst sichergestellt. Dennoch fehlen Fragmente von Datensätzen aufgrund akuter Ausfälle (medizinische Umstände, Unverfügbarkeit, siehe Tabelle 8).

Vor der Durchführung der Hauptuntersuchung wurde in einer Pilotphase die Machbarkeit anhand eines Kollektivs von 51 Jugendspielern des Olympiastützpunktes Berlin evaluiert. Da die geplante Testbatterie bis dato noch nicht an einem Team im Feld durchgeführt wurde, sollte hierdurch eine Planungsgrundlage für die zeitliche Einordnung der Hauptmessungen erfolgen. Die Probanden wurden im Vorfeld eingehend über den Sinn und Zweck dieser Untersuchungen informiert und bestätigten die Teilnahme anhand der Einverständniserklärung.

Im Rahmen dieser einwöchigen Messphase (3. Juliwoche) konnte der zeitliche Rahmen (30 Minuten pro Athlet, Einschluss eines neuen Probanden alle 10 Minuten) fixiert werden. Des Weiteren konnte der Aufbau der Apparaturen, der Messdurchlauf sowie die Auswertung und Analyse der Datensätze geprobt werden. In täglichen Interviews mit dem sportlichen Leiter des Stützpunktes S. Schmidt wurde zudem das Feedback der Athleten direkt kommuniziert und verarbeitet.

Durch die Pilotstudie stellte sich heraus, dass die Fragebogenerhebung mittels der diversen iPads nicht als geeignet anzusehen war. Bei gleichzeitiger Ausführung der Webumfrage von mehr als zwei Athleten, kam es zu deutlichen Einschränkungen in

der Dateneingabe (Eingaben eines Probanden erschienen teilweise ebenfalls bei anderen, usw.). Aus diesem Anlass wurde auf die direkte Eingabe über iPads während der Hauptuntersuchung verzichtet.

Aufgrund der Differenz des Ligenniveaus und der Altersklassen sind die Daten des Piloten jedoch nicht mit denen der Hauptuntersuchung zu kombinieren und finden daher in dieser Arbeit keine Berücksichtigung.

Tabelle 7: Kollektiv der Untersuchung.

Population	1. Liga		2. Liga		Gesamt	
	♂	♀	♂	♀		
Teams	12	12	24	24	72	
Athleten	150	165	330	347	992	
Stichprobe	1. Liga		2. Liga		Gesamt	% von Gesamt
	♂	♀	♂	♀		
Teams	10	6	12	17	45	62,5
Athleten	98	68	104	152	422	42,5
Komplette Datensätze					205	20,7

Die Diskrepanz der prozentualen Anteile der erfassten Teams und Athleten am jeweiligen Gesamtpool sind der Anzahl bundesligaberechtigter, aber teamloser Spieler geschuldet. So wird der Gesamtanteil erfasster aktiver Athleten geringfügig unterschätzt. Die kompletten Datensätze kürzen sich zu großen Teilen nur aufgrund minderer Rücklaufquote (51,3%) der Fragebögen gemäß Abbildung 15. Die Identifikation volleyballspezifischer Normen (Sprunghöhe, WS Form, COP, Volumina) bleibt von diesem Umstand jedoch unberührt und umfasst das komplette Kollektiv.

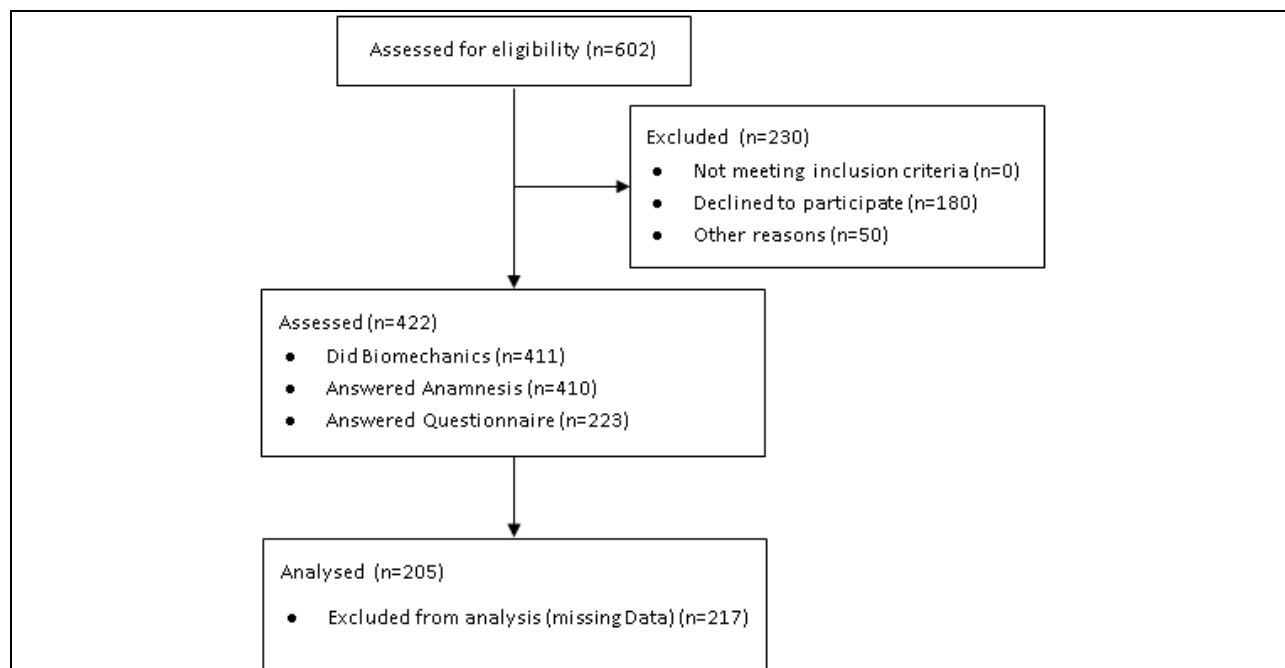


Abbildung 15: Struktur der teilweise/vollständig vorhandenen Datensätze, in Anlehnung an Schulz, Altman und Moher, S.3.

Die beschreibenden Charakteristika der Stichprobe sind in Tabelle 8 ersichtlich. Hierbei wurde bereits nach den, für diese Arbeit entscheidenden, Subgruppen gegliedert (Geschlecht, Spielniveau, Spielposition, Rückenschmerz ja/nein).

Tabelle 8: Charakteristika der untersuchten Stichprobe.

Variable	Gesamt	Subset	
		Damen	Herren
Anzahl	422	220	202
Alter	22,7 ± 4,7	21,9 ± 4,9	23,6 ± 4,4
Größe [cm]	184,7 ± 9,8	179,0 ± 6,6	193,0 ± 7,6
Volumen [l]	77,3 ± 12,3	69,8 ± 8,8	86,0 ± 9,9
1.Liga	166 (39%)	68 (31%)	98 (49%)
2.Liga	256 (61%)	152 (69%)	104 (51%)
AA	135 (32%)	67 (30%)	68 (34%)
D	41 (10%)	18 (8%)	23 (11%)
L	47 (11%)	21 (10%)	26 (13%)
MB	102 (24%)	57 (26%)	45 (22%)
U	29 (7%)	22 (10%)	7 (3%)
Z	68 (16%)	35 (16%)	33 (17%)
FB absolviert	205	123	82
BP	111 (54,1%)	75 (61,0%)	36 (43,9%)

Diese Stichprobe erfasst einen Großteil aller 2014/2015 in Deutschland aktiven Hochleistungs-Volleyballer. Bisherige medizinische sowie sportwissenschaftliche Studien untersuchten lediglich geringe Stichproben bzw. ein niedriges Spielniveau der Athleten (Miltner et al., 2012; Bahr & Bahr 1997; Verhagen, Van der Beek, Bouter, Bahr & Van Mechelen, 2004; Briner & Kacmar, 1997).

### 3.4 Operationalisierung der Prädiktoren

Die unabhängigen Variablen wurden theoriegeleitet in vorigen Kapiteln in ihrer potentiellen Wirksamkeit auf RB begründet und beinhalten alle Prädiktoren gemäß Tabelle 9 aus den folgenden Bereichen. Für eine differenzierte Deklaration sei aufgrund des übermäßigen Tabellenformats auf Anlage F verwiesen.

Tabelle 9: Übersicht der potentiellen Prädiktoren; eine Gesamtübersicht inklusive Literaturhinweisen findet sich im Anhang.

Rubrik	Potentielle Prädiktoren
Psycho-Physis	Schmerzgrad, Schlafqualität, -Dauer, Stress, Wohlbefinden
Umwelteinflüsse	Beruf, Arbeitszeit, Schuhwerk
Physische Belastung	TE/Woche, Training d. Rückens, Trainingsart, VB-Erfahrung, Spielniveau, Spielposition
Physische Belastbarkeit	Geschlecht, Gewicht, Ermüdungsindex, COP, Flugzeit, Körpervolumen, WS-Form, Größe, Stabilität, Alter, Drehrichtung, Dominanz, Ausfallzeiten
Medizinische Historie	Traumata, Red-Flags

Die Definition der abhängigen Variablen bzw. des *Outcomes* der Untersuchung erfolgt in Anlehnung an den deutschen Schmerzfragebogen (Pfungsten et al., 2007), welcher bereits als validiert gilt. Demnach erfolgte die in der Forschung klassische Schmerzgraduierung nach von Korff (validierte, deutsche Version), um die abhängige Variable intervallskaliert darzustellen und eine differenziertere Betrachtung zu ermöglichen (Grad I-IV). Dieser Bogen umfasst insgesamt sieben Items zur Einschätzung der subjektiven Beeinträchtigung in Arbeit und Freizeit sowie der Intensität des Schmerzes.

Im Nachgang der Untersuchung stellte sich heraus, dass sämtliche Athleten in die Kategorie des funktionalen chronischen Schmerzes (Grad I) mit geringer Beeinträchtigung im Alltag und schwankender Intensität einzuordnen sind. Ergänzend wurde zur Absicherung ebenfalls das Mainzer Stadienmodell der Schmerz-Chronifizierung zu Rate gezogen, anhand dessen die gesamte Stichprobe in Stadium I einzuordnen ist und weshalb sich auch hier die bivariate Darstellung der Existenz chronischer Beschwerden anbietet.

Zur weiteren Identifikation der Schmerzen wurden Rückenbeschwerden als „nicht-traumatischer, chronischer Schmerz entlang der Wirbelsäule, mit wiederholtem Auftreten, einer Gesamtdauer über mind. 30 Minuten und einem VAS >1“ definiert (bivariat, Übereinstimmung der Kriterien=1, sonst=0), adäquat zu aktuellen Publikationen (Schulz et al., 2015). Zusätzlich wurde sich der beschreibenden Items der von Dionne et al. (2008) festgelegten und mehrfach als Orientierungsmaß proklamierten (Walker, 2000; Hoy et al., 2010) Definition unterer Rückenschmerzen (inkl. Erweiterung für die Cervikal- und Thorakalpartien) bedient. Eine derartige Kombination der Erfassung des Outcomes wird, wie bereits erwähnt, im Manual des Deutschen Schmerzfragebogens proklamiert (Pfungsten et al., 2007, S.24).

Aufgrund der Häufigkeit der Graduierungen (100% Grad/Stadium I) bleibt jedoch fraglich, ob die derartige Erhebung ausreichend spezifisch für den Spitzensport bzgl. der Einstufung in chronische oder akute Beschwerden ist. Alternative Verfahren für den Hochleistungssport sind jedoch noch nicht ausreichend validiert, weshalb die Differenzierung nach den vorgestellten Auswahlkriterien dienlich erscheint. Die Klassifizierung und Charakterisierung der Beschwerden erfolgte ebenfalls ge-

mäß der Vorgaben des deutschen Schmerzfragebogens, welcher die Qualität des Schmerzes anhand des Empfindens (stechend, dumpf, etc.), die Lokalisation anhand von Schmerzzeichnungen (Pfungsten, Baller, Stubre, Hildebrandt & Schöps, 2003; Uden, Astrom & Bergenudd 1988) und die Quantität im Rahmen der VAS operationalisiert. Alle Definitionen beziehen sich auf den Zeitraum der letzten zwölf Monate, um Recall Bias zu reduzieren.

### 3.5 Inhalte des Fragebogens

Eine direkte Messung des multifaktoriellen Konstrukts Schmerz ist trotz zahlreicher Bemühungen der Wissenschaft sowie der individuellen Verarbeitung, wie bereits erwähnt, noch nicht möglich. Aus diesem Anlass wird versucht, die beschreibenden Variablen des Schmerzes über psycho-soziale Parameter (Stress, Depression & Angstvermeidung) sowie die subjektiv empfundene Schmerzintensität abzuschätzen (von Korff, 1992; Hayes & Patterson, 1921; Cohen, 1988; Gerbershagen, Nagel, Korb & Nilges, 1990). Die Werkzeuge für eine derartige Datenerhebung sind bereits mehrfach validiert worden, bilden aktuell gängige Tools in der klinischen Praxis und sind als stark evidente Verfahren innerhalb der nationalen Versorgungsrichtlinie Kreuzschmerz (Bundesärztekammer, 2010, S.48) zur Identifikation der Chronifizierung von Rückenbeschwerden deklariert. Daher wird nicht speziell auf die Reliabilität und Validität der Tests eingegangen, sondern lediglich deren Items inklusive Auswertung erörtert (Tabelle 10).

Tabelle 10: Übersicht der angewandten psycho-sozialen Fragebögen.

Fragebogen	Ursprung	Items	Ziel
FAB-Q Fear Avoidance Beliefs	Waddell et al., 1993; Übersetzung nach Staerkle et al., 2004	16	Quantifizierung der Angst vor und der Vermeidung von Bewegung/Arbeit
HADS-D Hospital Anxiety and Depression Scale	Zigmond und Snaith, 1983;	14	Erfassung der Angst und Depression bei Gesundheitsproblemen
VAS Visual analog scale	Hayes und Patterson, 1921	6	Quantifizierung der Schmerzintensität
KORFF Schmerzgraduierung nach von Korff	von Korff, 1992; Übersetzung nach Klasen et al., 2004;	7	Intensität der Schmerzen und subjektive Beeinträchtigung
MPSS Mainzer Stadienmodell der Schmerz-Chronifizierung	Wurmthaler et al., 1996	10	Zeitliche und räumliche Aspekte der Beschwerden, Medikamenteneinnahme

Descarreaux et al. (2004) haben bereits versucht, die Items des FAB-Q mit der Entstehung von Rückenschmerz in Zusammenhang zu bringen. Dieser Fragebogen basiert auf 15 Items mit einer maximalen Punktzahl von 66 zur schmerzbedingten Vermeidung von Bewegung. Je höher der Score ausfällt, desto höher ist auch die

Angst vor unterschiedlichen Tätigkeiten (Staerkle et al., 2004) aufgrund potentiellen Schmerzes. Es lassen sich im Rahmen dieses Tools Subskalen bilden, welche auf deren Einfluss auf die tägliche Arbeit (Items: 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15) und physische Aktivität (Items: 2, 3, 4, 5) schließen lassen. Im Profisport wird jedoch der Beruf ebenso als physische Aktivität gewertet, weshalb speziell in dieser Berufsgruppe durch eine Differenzierung der Skalen keine besonderen Auffälligkeiten zu erwarten sind.

Der HADS-D ist ein Fragebogen zur Erfassung von Depression und Angst in der Allgemeinbevölkerung, fand jedoch ebenfalls im Sport Anwendung. Auch hier ist, ähnlich des FAB-Q, die Bildung von Subskalen optional (Items: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 für die Erfassung der Angst und 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 für Depression, Zigmond & Snaith, 1983).

Die VAS Skala gilt als wesentliches Tool der Beurteilung der Schmerzintensität des klinischen Alltags und ist bereits bzgl. Symptomen im lumbalen Bereich der WS evaluiert worden (Ostelo et al., 2008). Dabei handelt es sich um eine 10-stufige Skala (0: kein Schmerz, 10: maximal vorstellbarer Schmerz), welche sowohl bei Korff als auch in anderen Fragebögen bereits integriert ist. Besonders im klinischen Alltag ist die kontinuierliche Erfassung des Schmerzgrades chronischer Patienten über besagte Skala gängige Praxis. Die Erhebung der subjektiven Schmerzintensität erfolgte zu vier Zeitpunkten während der halbstündigen Messphase: direkt zu Beginn, unmittelbar vor und nach der Sprungkraftdiagnostik sowie am Ende der Datenerhebung.

Die Schmerzgraduierung nach von Korff besteht aus 7 Items und ist von Klasen, Hallner, Schaub, Willburger und Hasenbring (2004) bereits in der deutschen Version validiert worden. Dieser Fragebogen stellt nach aktuellem Forschungsstand den ‚gold standard‘ der Schmerzevaluierung dar und ist ebenfalls ein Teil des deutschen Schmerzfragebogens.

Das Mainzer Stadienmodell von Wurmthaler et al. (1996) beurteilt die Ausprägung der Chronifizierung und soll im Rahmen dieser Untersuchung als zusätzliches Differenzierungskriterium der Outcome Variablen gelten. Hierbei finden insbesondere die Medikation von Symptomen und die ärztliche Behandlung Berücksichtigung Neben den Schmerzparametern wurden zusätzlich trainingsspezifische sowie medizinische Fakten abgefragt. Die grobe Struktur des Fragebogens wird von folgender Tabelle verdeutlicht (vollständige Items im Anhang):

Tabelle 11: Struktur des Fragebogens zur Erhebung allgemeiner, trainingswissenschaftlicher, medizinischer sowie psycho-sozialer Daten.

Themengebiet	Fokus	Item Formulierungen	Items (Anzahl)
Allgemeines	Anthropometrische/Morphologische Prädiktoren	Jahrgang, Geschlecht, familiärer Kontext, Bildungsniveau	21
Sportspezifisch	Trainingswissenschaftlicher Kontext	Trainingshäufigkeit, -methoden, -verhalten;	16
Medizinische Faktoren	Medizinische Parameter und zeitliche Anamnese diagnostischer/therapeutischer Maßnahmen	Rückenbeschwerden, Ursachenforschung	8
Rückenschmerzen im letzten Jahr		Rückenbeschwerden kurzfristig/aktuell	22
Rückenschmerzen vor dem letzten Jahr		Rückenbeschwerden langfristig	20
Verletzungen (allgemein)		Prävalenz von Verletzungen, Abhängigkeit diverser Traumata	42
Wirbelsäulenverletzungen		Akute Wirbelsäulenverletzungen, Lokalisationserfassung	20
Psycho-soziale Faktoren	Stressevaluation etc.	s. Tabelle 10	37

Die Gesamtgröße des Fragebogens belief sich auf 186 Items. Dabei wurden diese logisch untereinander verknüpft, so dass durch frühere Angaben erlässliche Items ausgeblendet wurden (nur diejenige Person, die eine Verletzung angab, musste diese auch genauer spezifizieren). Dies führte zu einer minimalen Anzahl zu beantwortender Fragen bei einem unverletzten, gesunden Athleten. Der Fragebogen wurde, aufgrund diverser zeitlicher Einschränkungen innerhalb der Messtage, zum einen additiv zur Datenerhebung der biomechanischen Verfahren erhoben und zum anderen als Onlinefragebogen via e-mail an die teilnehmenden Teams versandt. Zusätzlich hierzu wurde ein QR-Code auf die Reports an die Athleten versandt, um abermals die Möglichkeit der Vervollständigung der Datensätze zu geben.

### 3.6 Erhebung der Körperlängen und –Volumina

Die Vermessung der Proportionen wurde mittels der Operationalisierung des Körpers anhand üblicher Modellvorstellungen (Abbildung 16; Zatsiorski & Seluyanov 1983; Greil, 2001; Hanavan, 1964) bewerkstelligt.

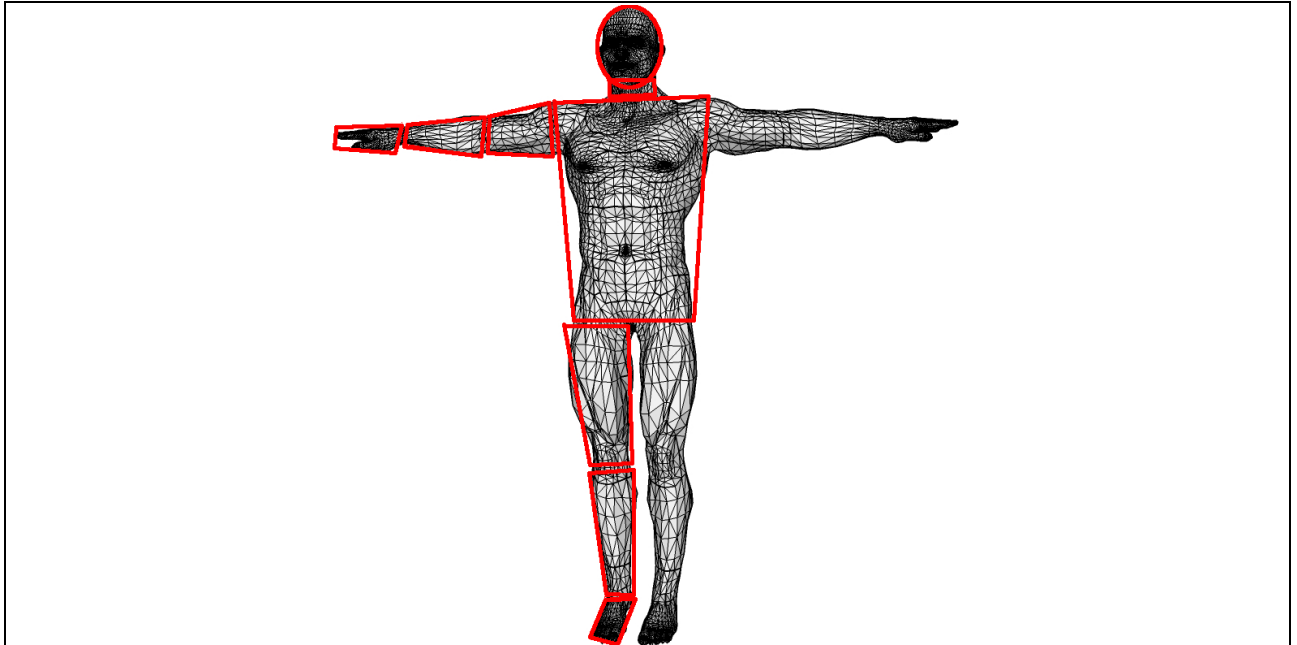


Abbildung 16: Illustration des 15-Segmente Körpermodells nach Hanavan an einem männlichen, menschlichen Modell.

Die Erfassung der einzelnen Segment-Längen wurde dabei nach den Richtlinien von Greil (2001) im Stand, oberkörperfrei, barfuß und in kurzer Sporthose, vorgenommen. Sie erfolgte anhand eines handelsüblichen Maßbandes zur Erhebung diverser Umfänge sowie eines Messschiebers (sog. *Caliper*, Abbildung 17) zur direkten Erfassung der Abstandsmaße definierter morphologischer Landmarken. Eine eingehende Fehlerrechnung inklusive der Evaluation von Fehlerfortpflanzungen befindet sich im statistischen Teil dieser Arbeit.

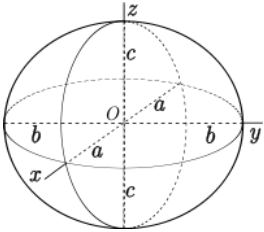
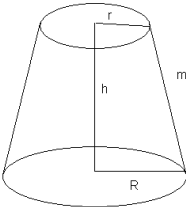
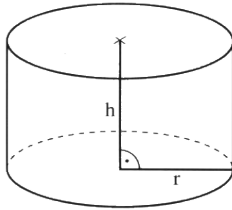


Abbildung 17: Das Maßband (li, Bauernfeind, 2012) und der digitale Messschieber (re, 2013) zur Vermessung der Körpersegmentlängen.



Über eine Volumenberechnung (in Anlehnung an das Modell von Hanavan, 1964) der Teilelemente des Athleten unter der Annahme, dass der gesamte Körper die identische Dichte besitzt (siehe auch: Brinckmann et al., 2012, S.232), konnten die Maße der Segmente annäherungsweise bestimmt werden. Dabei wurden die Körperteile in vereinfachter Form als unterschiedliche geometrische Körper betrachtet. Tabelle 12 beinhaltet sämtliche für die Segmente adaptierten Körper:

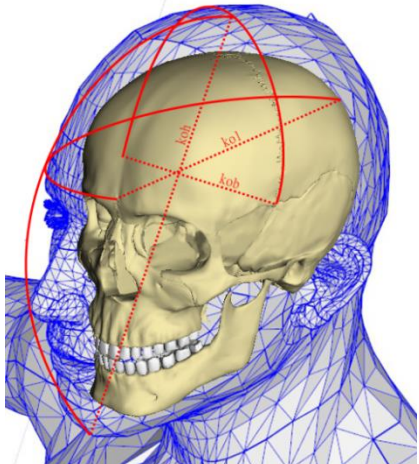
Tabelle 12: Die geometrischen Figuren der zur Modellvorstellung des Körpers gereichenden Teilsegmente.

Ellipsoid: $V_E = \frac{4}{3} * \pi * abc$	Kegelstumpf: $V_K = \frac{1}{3} * \pi * h * (R^2 + R * r + r^2)$	Zylinder: $V_Z = h * \pi * r^2$
		

Im Sinne der Ökonomie der Datenerhebung wird von einer genauen Berücksichtigung der Gelenke abgesehen. De Leva et al. (1996) bieten zwar eine Optimierung der Gelenkmodellierung Zatsiorskys und Seluyanovs (1983) an, eine Berücksichtigung und Vermessung dieser würde im Rahmen der zahlreichen zu erhebenden Parameter jedoch einen, im Verhältnis zum zu erwartenden Ergebnis, überdimensionalen Zeitaufwand bedeuten. Aus diesem Anlass werden die meisten Orientierungspunkte gelenkübergreifend fixiert und bieten somit eine für die Berechnung der Teil-Volumina akzeptable Näherung. Da die Messpunkte nach Greil (2001) für ein derartiges Konzept jedoch keine hinreichende Grundlage zur Inhaltsberechnung der Segmente bilden, werden diese – wie in den folgenden Tabellen dargestellt – durch Umfangsmessungen angepasst. In den Abbildungen wurde versucht, einen Überblick über die tastbaren Orientierungs-/Fixpunkte anhand des Zusammenspiels der Peripherie und der subkutanen knöchernen Strukturen zu schaffen. Diese Illustrationen sind jedoch nur als Veranschaulichung gedacht und erheben keinerlei Anspruch auf die lückenlos genaue oder fehlerfreie Darstellung des menschlichen Körpers. Die Erstellung dieser Graphiken erfolgte durch die Kombination der Software BoneLab 2 (2013), des dreidimensionalen Planungstools SketchUp 2014 und der Ebenen-basierten Bildbearbeitungssoftware Gimp 2.0.

Tabelle 13: Operationalisierung der Kopf-Maße zur Volumenberechnung.

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
a=kol (größte Kopflänge)	Glabella-Opisthocranion;
b=kob (Kopfbreite)	Euryon links - Euryon rechts;
c=koh (ganze Kopfhöhe)	Vertex – Gnathion;

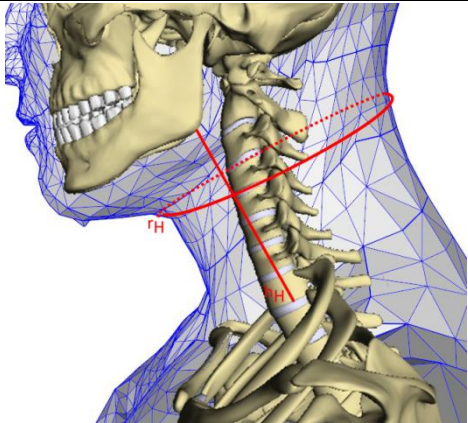


Das Haupt (Caput) wird über eine Calipermessung in allen drei Ebenen (Sagittal-, Frontal- und Transversalebene) vermessen. Dabei gelten die in Tabelle 13 angegebenen Orientierungsmaße nach Greil (2001). Die Kopfbreite bemisst sich demnach über den Abstand zwischen dem links- und dem rechtsseitigen Euryon (in der Frontalebene gemessen, i.d.R. die am weitesten herausragenden Stellen lateral). Die Kopflänge bestimmt sich über die Distanz zwischen dem Glabella (Stirnbein) und dem nach dorsal vorragenden Punkt (in der Transversalebene gemessen) des Opisthocranions (Hinterhaupt). Als Maßpunkte der Kopfhöhe gelten der Vertex (Scheitelpunkt) am superioren Ende des Caput und das Gnathion als inferiores Element des Unterkiefers (in der Sagittalebene gemessen).

Der Hals (Tabelle 14) wird vereinfacht als Zylinder dargestellt und bedarf so nur einer Höhen- und Radius-Messung. Auf Höhe der Sublaryngale (vorderer Halspunkt) wird der Radius gemessen. Eine Erfassung der Höhe erfolgt zwischen dem medialen Ende der Clavicula und dem inferioren, medialen Part der Mandibula.

Tabelle 14: Operationalisierung der Hals-Maße zur Volumenberechnung.

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
r= Umfang	auf Höhe Sublaryngale
h= Entfernung	Halsansatz - Ansatz des Unterkiefers (ertastbar)



Die Vermessung der oberen Extremität (o.E., Tabelle 15) erfolgt hauptsächlich mit dem Maßband zur Vermessung zylindrischer Eigenschaften. Die zwei Radien des Oberarms werden zum einen auf der Höhe des Acromions bei 90° angehobenem Arm gemessen, zum anderen 2cm proximal der Epicondylen des Ellbogens. Die Länge wird als Strecke zwischen diesen beiden Orientierungspunkten definiert.

Tabelle 15: Operationalisierung der Ober- und Unterarm-Maße zur Volumenberechnung.

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
$R_{Oa} = \frac{1}{2}d$	Deltoidale – Angulare
$r_{Oa} = \frac{1}{2}d$	Knapp über Gelenkknollen (Epikondylen) des Ellenbogens messen
$h_{Oa} = oal$ (Oberarm-länge)	Akromiale - Radiale (rumpffern)

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
$R_{Ua} = \text{halbe ebb (El-lenbogenbreite)}$	1cm distal der Epicondylen
$r_{Ua} = \frac{1}{2}d$	Auf Höhe des Caput Ulna
$h_{Ua} = ual$ (Unterarm-länge)	Radiale (rumpffern) - Stylium radiale

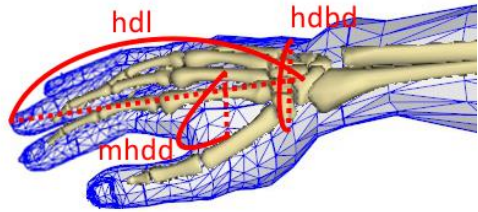
Die Radien des Unterarms bemessen sich 1cm distal der Epicondylen sowie auf Höhe des Caput Ulna. Die Länge wird mittels der Orientierungspunkte des proximalen Endes des Speichenköpfchens sowie dem distalen Fortsatz Stylium radiale der Speiche ermittelt. Sowohl Ober- als auch Unterarm werden nach dem Modell eines Kegelstumpfes berechnet.

Die Hand hingegen wird als Ellipsoid definiert, so dass eine Berechnung des Inhalts hier auf der Erfassung dreier Radien basiert (Tabelle 16). Die Breite samt Daumen wird als Entfernung vom Os Metacarpale pollicis zum Os Metacarpale ulnare definiert. Die Handlänge vom distalen Punkt (Daktylon III) bis zum Interstylium und die Mittelhanddicke als Distanz der Auflagefläche der gestreckten Hand auf dem Mess-tisch zum Phalangion III superior. Es hat sich ergeben, dass die Erhebung der Teilstrecken über ein Maßband mit großen Ungenauigkeiten verbunden ist. Aus

diesem Grunde wurde bei den angesprochenen Parametern abermals der Messschieber zum Einsatz gebracht.

Tabelle 16: Operationalisierung der Hand-Maße zur Volumenberechnung.

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
a= hdbd (Handbreite mit Daumen)	Metacarpale pollicis - Metacarpale ulnare
b= hdl (Handlänge)	Interstylion - Daktylion III
c= mhdd (distale Mittelhanddicke)	Auflagefläche der gestreckten Hand - Phalangion III



Die Maße der unteren orientieren sich an den Modellvorstellungen der oberen Extremität. Dabei wird der Umfang des Oberschenkels bei einem Drittel seiner Länge bemessen (Länge = h: Distanz der spina iliaca anterior superior zum zentralen Punkt der Patella). Der kleinere Umfang wird am superioren Ende der Patella erfasst (Tabelle 17).

Der Unterschenkel wird zum einen an der Fußfessel und zum anderen an der am stärksten ausgeprägten Partie des Gastrocnemius gemessen. Die Länge  $h_{Us}$  definiert sich wiederum von der Patella (inferior) bis zur Höhe des Sphyrion.

Tabelle 17: Operationalisierung der Bein-Maße (Ober- & Unterschenkel) zur Volumenberechnung.

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
$R_{Os}$ = Umfang	bei $\frac{1}{3}$ der Oberschenkellänge
$r_{Os}$ = Umfang	knapp über dem Knie
$h_{Os}$ = Entfernung	Iliospinale anterior – Patellare
$R_{Us}$ = Umfang	am dicksten Punkt des Unterschenkels
$r_{Us}$ = Umfang	knapp über dem Fußgelenk
$h_{Us}$ = Entfernung	Patellare - Höhe Sphyrion

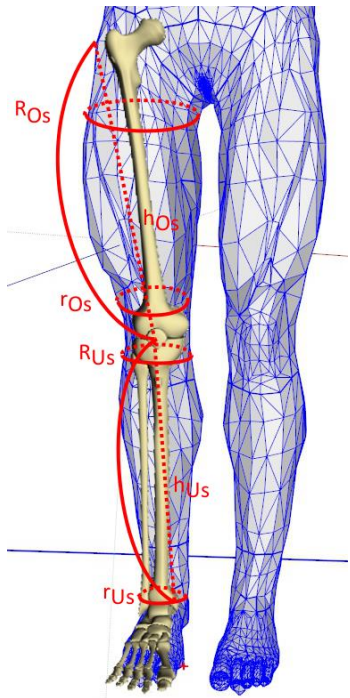
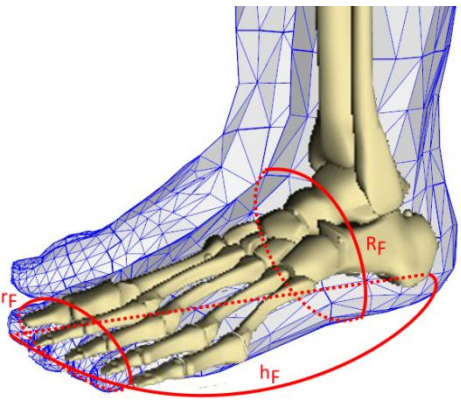


Tabelle 18: Operationalisierung der Fuß-Maße zur Volumenberechnung.

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
R= Umfang	direkt am Fußansatz (nahe Gelenksknochen)
r= Umfang	direkt vor den Zehen
h= Entfernung	Pternion - Zehenspitze



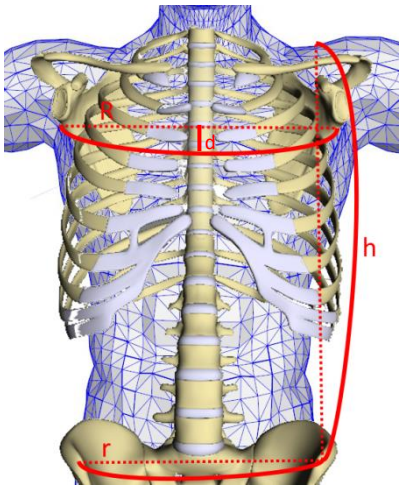
Ebenfalls als Kegelstumpf modelliert, wird der Fuß anhand der Radien um den Fußansatz distal des Sprunggelenks sowie auf Höhe der Digiti Pedis und der Distanz des Pternion bis zur äußersten Fußspitze gemessen (Tabelle 18).

Der Thorax bildet im Messsystem den einzigen Parameter, der geschlechtsabhängig definiert wird. Bei männlichen Athleten wird sich näherungsweise auf die Vermessung eines einzelnen Kegelstumpfes beschränkt (Tabelle 19). Hierzu gelten die Richtmaße des oberen Radius auf Höhe der Angulare Axillaris Anterior, des geringeren Radius auf Höhe der Spina Iliaca Anterior und der Rumpfhöhe von der Spina Iliaca Anterior bis hin zur lateralen Clavicula.

Bei weiblichen Athleten ist eine Unterteilung auf Höhe der Taille (definiert als schmalste Stelle zwischen Sternum und Spina Iliaca) vorgesehen, die infolgedessen zwei Kegelstümpfe ergibt. Das obere Segment besteht aus den Maßzahlen des Radius auf Höhe Angulare Axillaris Anterior, dem unteren Radius auf Höhe Taille sowie der Distanz ab der Clavicula bis zur Taille. Der untere Abschnitt schließt sich direkt an und bemisst sich adäquat zum männlichen Kegelstumpf bis zur Spina Iliaca Anterior.

Tabelle 19: Operationalisierung der Rumpf-Maße zur Volumenberechnung.

Bezeichnung	Messpunkte/Messbereich
R= Umfang	auf Höhe Angulare axillaris anterior
r= Umfang	auf Höhe Iliospinale anterior
h= Entfernung	Höhe Iliospinale anterior – Halsansatz
d=dicke	2*½ Oberkörperdicke (Calipermessung)



### 3.7 Messung der Stabilisationsfähigkeit

In der aktuellen Literatur ist die Operationalisierung der Stabilisationsfähigkeit häufig diskutiert (u.a. Winter et al., 1990; Gribble et al., 2012). Da die zahlreichen Studien jedoch keine eindeutigen Richtlinien für eine zielgerichtete Methodik ergeben (Hrysomallis, 2011), wurde sich auf zwei Tests festgelegt. Diese können eine auf biomechanischer Ebene gerechtfertigte Untersuchung der Stabilisationsfähigkeit darstellen, insofern sie einen Ansatz zur Operationalisierung sowohl der statischen als auch dynamischen posturalen Kontrolle liefern. Begründet wurden diese bereits anhand des anatomischen Aufbaus der Wirbelsäule und der Peripherie im vorigen Kapitel (Der Aufbau der Wirbelsäule und ihre Schwachstelle), so dass im Folgenden lediglich die Beschreibung der Tests Erwähnung findet.

Die Einbeinstandstabilisation wurde mittels einer KISTLER Kraftmessplatte gemäß des von Hrysomallis (2011) proklamierten ‚gold standards‘ erfasst und in der Literatur bereits mehrfach als geeignetes Kriterium zur Überprüfung der posturalen Kontrolle validiert (Van der Kooij, Campbell & Carpenter, 2011; Carpenter et al., 2001). Zur Evaluation der Fehlervarianz erfolgte vor der Messung der Probanden die Implementierung einer Normerhebung (Gewicht 10kg). Hierfür wurde die Last zentral positioniert und der axiale Ausschlag in horizontaler Ebene erfasst. Dreimaliges Testmessen sollte grobe Abweichungen von der ursprünglichen Fehlervarianz identifizieren, um externe Einflüsse auf die Messgeräte einzuschätzen.

Das Testprotokoll umfasste insgesamt vier Stabilisationstests im Einbeinstand (zwei Durchgänge pro u.E.) über einen Zeitraum von 15 Sekunden. Vier Druckaufnehmer der Kraftmessplatte erfassten die horizontalen wie vertikalen Kräfte und ermöglichten so eine Berechnung des COP. Zusätzlich wurden der Ausschlag als Fläche einer Ellipse (75%/100%-Ellipse) beschrieben, die durchschnittliche axiale Beschleunigung (x/y/z) erfasst und der initiale COP evaluiert. Die aus den Kraftvektoren resultierenden Koordinaten wurden mittels trivialer Vektoraddition zu einer Gesamtstrecke summiert, dem *Body Sway* (Abbildung 18, BS, auch COP). Eine höhere Ausprägung des BS wurde demnach als Folge vermehrter stabilisationsbedingter Aktivitäten beschrieben und galt somit als Indikator für verminderte posturale Kontrolle. Einzig der BS erwies sich im Piloten als aussagekräftig und wird daher im Fokus der Betrachtungen stehen.

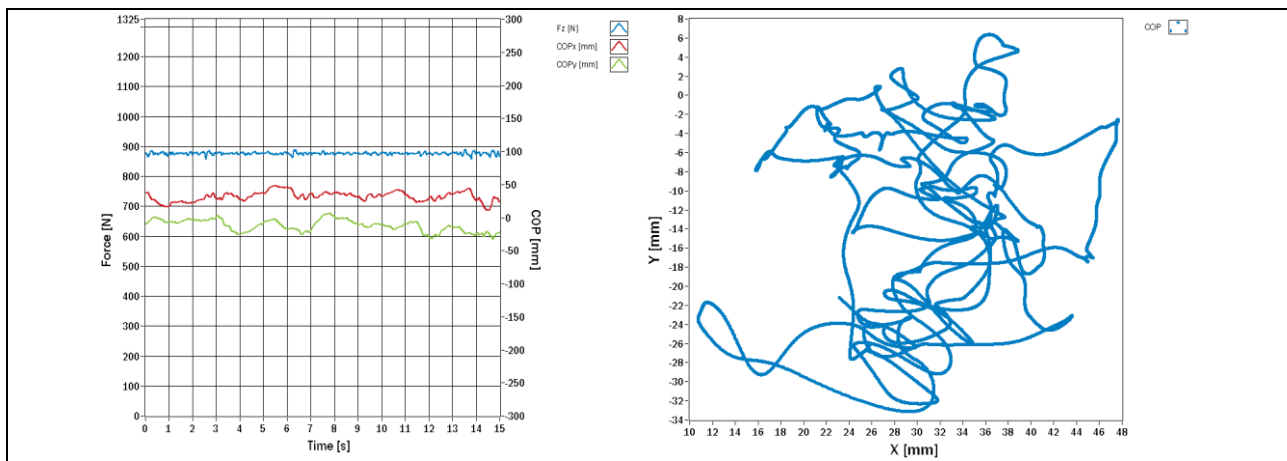


Abbildung 18: Darstellung der Kräfte unterhalb der Fußsohle (links) und deren resultierende Weglänge über 15s des Einbeinstandes.

Mayer et al. (BISP Projekt, FKZ: IIA1-080102A/11-14, AZ: AZA18pt4fEA) liefern bereits in ihrer Untersuchung der Gesamtbevölkerung sowie Akteuren des Spitzensports einen ausreichend großen Probandenpool zur Normwerterstellung der BS Werte. Es ist erneut hervorzuheben, dass auf diese Messweise lediglich die resultierenden Kräfte unterhalb der Fußsohle identifiziert werden können, keinesfalls aber Aussagen über das Center of Mass (COM) bzw. den KSP möglich sind. Es handelt sich bei der Erhebung also um die Aufnahme oszillationsinduzierter, ausgleichender Bewegungen des Sprung- sowie (bei hinreichend großem Ausschlag) des Hüftgelenks bzw. der rumpfaufrichtenden Muskulatur (siehe Klein & Sommerfeld, 2012).

Als ergänzendes Tool empfiehlt sich nach aktuellem Forschungsstand der Star Excursion Balance Test bzw. die reduzierte Version, genannt *Y-Balance-Test* (YBT Abbildung 19). Diese Untersuchung fokussiert sich auf die maximale Reichweite des Spielbeins im Einbeinstand in vordefinierten Bewegungsrichtungen und gilt somit als beschreibender Test der dynamischen posturalen Kontrolle. Überdies ließ sich zeigen, dass besagter Test eine prädiktive Aussagekraft für Verletzungen der unteren Extremitäten aufweist (Plisky, Rauh, Kaminski, et al. 2006). Dabei muss das Gleichgewicht alleinig über das Standbein hergestellt/stabilisiert werden. Die ursprüngliche Version des SEBT sieht vor, insgesamt acht Richtungen zu testen (Gribble & Hertel, 2003). Der YBT reduziert sich jedoch auf diejenigen, welche nach aktuellem Forschungsstand anscheinend den höchsten Informationsgehalt besitzen (frontal, postero-medial, postero-lateral). Auf diesem Gebiet ist insbesondere die Forschungsgruppe um Gribble aus Toledo/USA führend, die im Rahmen ihrer zahlreichen Publikationen zum SEBT, dessen Bedeutung wie folgt resümiert:

„The Star Excursion Balance Test should be considered a highly representative noninstrumented dynamic balance test for physically active people. The Star Excursion Balance Test is a reliable measure and a valid dynamic test to predict risk of lower extremity injury, to identify dynamic balance deficits in patients with lower extremity conditions, and to be responsive to training programs in healthy participants and those with lower extremity conditions” (Gribble et al., 2012, S.339).

Im Zuge dieser Untersuchung wird jedoch auch zu bedenken gegeben, dass bisher keine gesicherten Evidenzen zu der Aussagekraft dieses Tests bzgl. der geschlechterdifferenziellen Betrachtung existieren (Gribble et al., 2012, S.342). Vielmehr wird dafür plädiert, den SEBT als Teil einer größeren Testbatterie zur Einschätzung der posturalen Kontrolle zu verwenden („it should be considered as part of a battery of screening and assessment tools“, Gribble et al., 2012, S.342). Insbesondere, da der SEBT aktuell weder gegenüber der COP Messung korrelierend validiert (Hrysomallis, 2011) noch der Einfluss von Kraft, Flexibilität und Koordination auf die Ergebnisse des SEBT geklärt ist (Hrysomallis, 2011, S.222). Aus diesem Grund schließt sich dieser Test ergänzend an die Messung der statischen Stabilität der Volleyball Athleten an. Gemäß den Richtlinien von Gribble & Hertel (2003) wurde dieser jeweils auf die jeweilige Beinlänge der Probanden normalisiert und ein sogenannter ‘Composit-score’ pro Standbein nach Gleichung [2] berechnet:

$CS = \frac{\mu_{frontal} + \mu_{postero-medial} + \mu_{postero-lateral}}{3 * Beinlänge} * 100$	[2]
---	-----

Bei der Durchführung des SEBT stellte sich in der Literatur vor allem die frontale, postero- und mediolaterale Bewegungsrichtung als relevant heraus, weshalb bereits eine zeitsparende Variante existiert, welche sich lediglich auf besagte Richtungen reduziert (YBT, Abbildung 19).

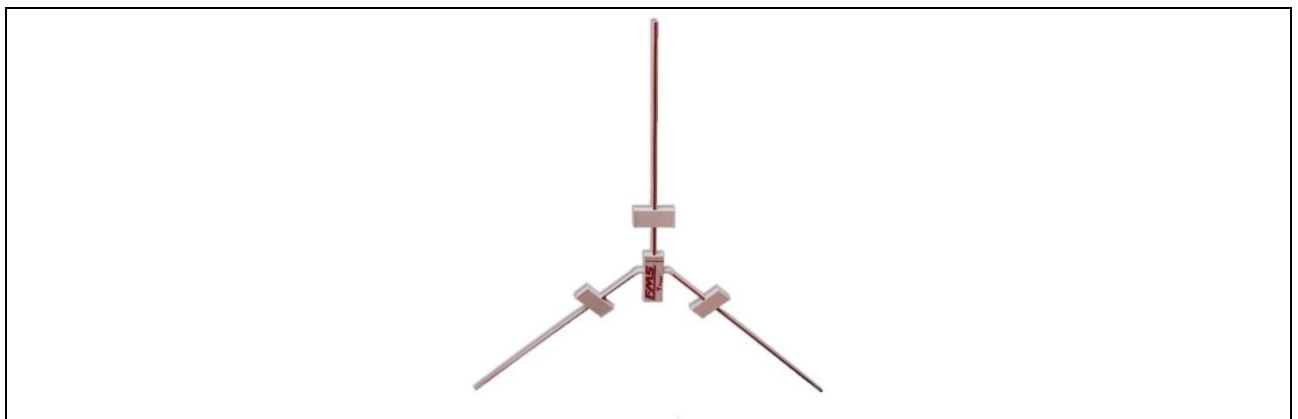


Abbildung 19: Der Y-Balance Test zur Überprüfung der dynamischen, einbeinigen posturalen Kontrolle in die drei Bewegungsrichtungen frontal (oben), postero-medial (links-unten, ausgehend vom Standbein rechts) postero-lateral (rechts-unten).

Mit Hilfe des von FMS bereitgestellten Messgerätes war die mobile und zeitsparende Erfassung der posturalen Kontrolle möglich. Allerdings ist hier mit einigen methodischen Einschränkungen zu kalkulieren, welchen im Kapitel der Validität, insbesondere der Fehlerabschätzung, Rechnung getragen wird.



### 3.8 Erfassung der Sprungleistung

Zur Erfassung der Sprungleistung im Volleyballsport eignet sich die volleyballspezifischen Sprungkrafttestbatterie nach Auguste et al. (2005). Diese beinhaltet u.a. Sprünge des Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (Counter Movement Jumps mit und ohne Armeinsatz), reaktive Sprünge (Drop-Jumps), aber auch volleyballtypische Handlungen wie Block- und Angriffsprünge oder einen Sprungkraftausdauererprobungs-Test (10 Sprünge in Folge).

Papageorgiou et al. (2006) berichten jedoch aktuell von einer Sprungdichte im Volleyball von 98 Sprüngen pro effektiver Spielstunde (Papageorgiou & Timmer, 1990) und einer Sprungdichte von einem Sprung je 7s. Dieses Anforderungsprofil impliziert eine Änderung des Kraftausdauer-Tests von ursprünglich zehn aneinandergereihten Sprüngen auf eine Frequenz von 1 Sprung pro 7s. Da es sich in der Untersuchung um Profisportler handelt, scheint die Beurteilung der Ermüdungsindizes anhand von zehn Sprüngen zu gering zu sein (Sheppard & Newton, 2012; Sheppard, Chapman, Gough, McGuigan & Newton, 2009a), so dass eine Sprunghäufigkeit von 20 Sprüngen im Kraftausdauererprobungs-Test festgelegt wurde. Zudem konnten Gollhofer und Bruhn (2003) zeigen, dass die Sprungdynamik im Hallenvolleyball auf Spitzenniveau aktuell nicht von reaktiven Abläufen geprägt ist, sondern sich Bodenkontaktzeiten ab 300ms (und somit nicht mehr in der Definition eines reaktiven Kraftpotentials, Gollhofer & Bruhn, 2003, S.27) manifestiert haben. Ebenfalls wurde die Durchführung von Drop Jumps unterlassen, da – wie Zong-Rong, Yu-Han, Hsien-Te, Ching-Fang und Min-Hsien (2013) zeigen – ein Effekt der DJ Sprünge auf den CMJ nachgewiesen wurde, welcher sich nur nach Wartezeit egalisiert und somit zu einer erhöhten Messdauer führt. Des Weiteren gilt der CMJ bereits als aussagekräftig und valide für die Beinkraft und ist dabei abhängig von der individuellen Fallhöhe der Athleten (Zong-Rong et al., 2013). Eine Bestimmung dieser würde aber ebenfalls das vorhandene Zeitbudget sprengen. Dies führt zu einer geringfügigen Modifikation des Konzepts von Auguste et al. (2005), so dass die Sprungkraftfähigkeiten basierend auf den nachstehenden Tests erfasst wurden:

- Counter Movement Jump with Arms (CMJA)
- Counter Movement Jump (CMJ)
- Jump Endurance (JE)

Zur Modellberechnung hat sich laut Frick, Schmidtbleicher und Wörn (1991) insbesondere das Flugzeitverfahren anstelle des Absprungimpulses oder der Absprunggeschwindigkeit als geeignet etabliert. Daher werden alle Sprünge über besagtes Verfahren berechnet und mittels des Absprungimpulses sowie Wiederholungsmessungen validiert. Die Sprunghäufigkeit wurde auf jeweils drei Wiederholungen erweitert. So kann ohne immensen Zeitverlust die Testgüte über eine Test-Retest Einschätzung evaluiert werden (nach Auguste et al., 2005). Tabelle 20 bietet eine Übersicht über die verwendeten Protokolle.

Tabelle 20: Messprotokolle der Testung zur Sprungfähigkeit.

Bezeichnung	Beschreibung	Wiederholungen	Intervall	Operationalisierung
CMJA	CMJ mit aktivem Armeinsatz	3	7s	Maximale Sprunghöhe (Flugzeitverfahren)
CMJ	CMJ ohne Armeinsatz	3	7s	Maximale Sprunghöhe (Flugzeitverfahren)
JE	Aneinandergereihte CMJs ohne Armeinsatz	20	unmittelbar	Ermüdungsindex: $\frac{\text{letzten 5 Sprünge}}{\text{ersten 5 Sprünge}}$

Die einzelnen Sprünge werden aus dem Stand entsprechend Abbildung 20 durchgeführt. Dabei positioniert sich der Proband ohne Schuhe mittig auf der Kraftmessplatte und führt einen, nach standardisierter Anleitung demonstrierten, Counter Movement Jump durch. Die zeitliche Folge der Sprünge wird vom Testleiter geregelt und über akustische Signale gesteuert.



Abbildung 20: Darstellung der Ausführung des Counter-Movement-Jumps ohne Armschwung, nach MARS, (2014).

Als Kriterium der unbewussten Präferenz bestimmter Bewegungsrichtungen wurde die Drehrichtung mittels dreier 180°-Drehungssprünge um die Longitudinalachse erfasst. Diese Erhebung erfolgte unmittelbar nach der Testung der maximalen Sprungkraftfähigkeit.

### 3.9 Lichtrasterstereographie

Die Bewertung der funktionellen Haltungsparemeter erfolgte über eine Lichtrasterstereographie mittels eines portablen 4D-Analysesystems (Leihgerät) der Firma DIERS (Abbildung 21, Auflösung: 7500 Punkte/cm<sup>2</sup>; Rekonstruktionsfehler: <0,2mm, Schröder, Strübing & Mattes, 2010, S.455). Die Aufnahmefrequenz beträgt 60 Bilder pro Sekunde über eine Dauer von 20ms für das gewählte Messpro-

tokoll. Die erhobenen Parameter stellen also die gemittelten Werte aus 12 Bildern dar. Das Verfahren dieser optischen Triangulation konnte bereits 1994 in Studien als klinisch relevante Methodik für die wissenschaftliche, strahlungsfreie Bestimmung morphologisch bedingter Haltungparameter verifiziert werden, wenngleich die Genauigkeit der Messmethode noch einer Optimierung bedarf, wie Drerup und Hierholzer berichten: „Practical experience [...] shows that the method is adequate for use in a clinical environment. However, the accuracy must still be improved“ (Drerup & Hierholzer, 1994, S.28).

Hackenberg liefert 2003 eine Aktualisierung der WS Parameter der LRS und erhöht so die Genauigkeit der Identifikation von Skoliosen, welche von Schülein (2010) mittels einer Untersuchung zur Inter- und Intratester Reliabilität „operierter idiopathischer Skoliosepatienten [...] für praktisch alle untersuchten Wirbelsäulenparameter eine sehr hohe Zuverlässigkeit“ (Schülein, 2010, S.50) zeigt. Goh, Price, Leedman und Singer (1999) bestätigen die generelle Nutzbarkeit der LRS, verweisen aber auf Ungenauigkeiten, welche von der Haltung des Patienten abhängen und nur bedingt innerhalb des Systems herrschen (S.137). Schröder, Reet und Braumann (2015) identifizieren diese messinternen Unsicherheiten aktuell vor allem für die Transversal- sowie Frontalebene.

Im Folgenden sei daher lediglich ein knapper Überblick über die praktische Ausführung gegeben sowie potentielle Auswertungen und Interpretationen erläutert. Die LRS findet u.a. in Frau Himmelreichs Abschlussarbeit (siehe Himmelreich, 2015) Erläuterung. Der Messaufbau ist schematisch in Abbildung 21 dargestellt. Die Entfernung der Fußdruckmessplatte ist durch die Brennweite der Projektor-Linse bestimmt und beträgt exakt 2m bis zur Mitte der Standfläche (gemessen anhand eines Meterstabs). Entgegen der Abbildung befand sich der kontrastreiche Hintergrund abermals 2m entfernt, um den aufrechten Stand der Athleten nicht zu beeinträchtigen.

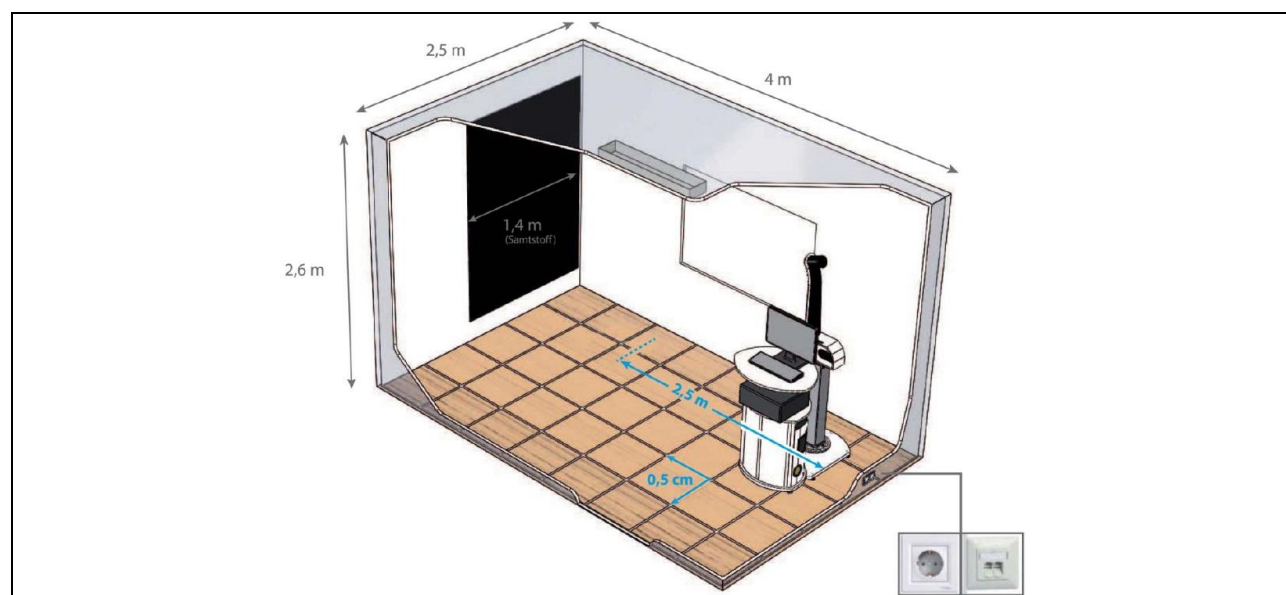


Abbildung 21: Diers formetric 4D Messaufbau inkl. DIERS pedoscan, aus Hübner und Hübner, 2010, S.32.

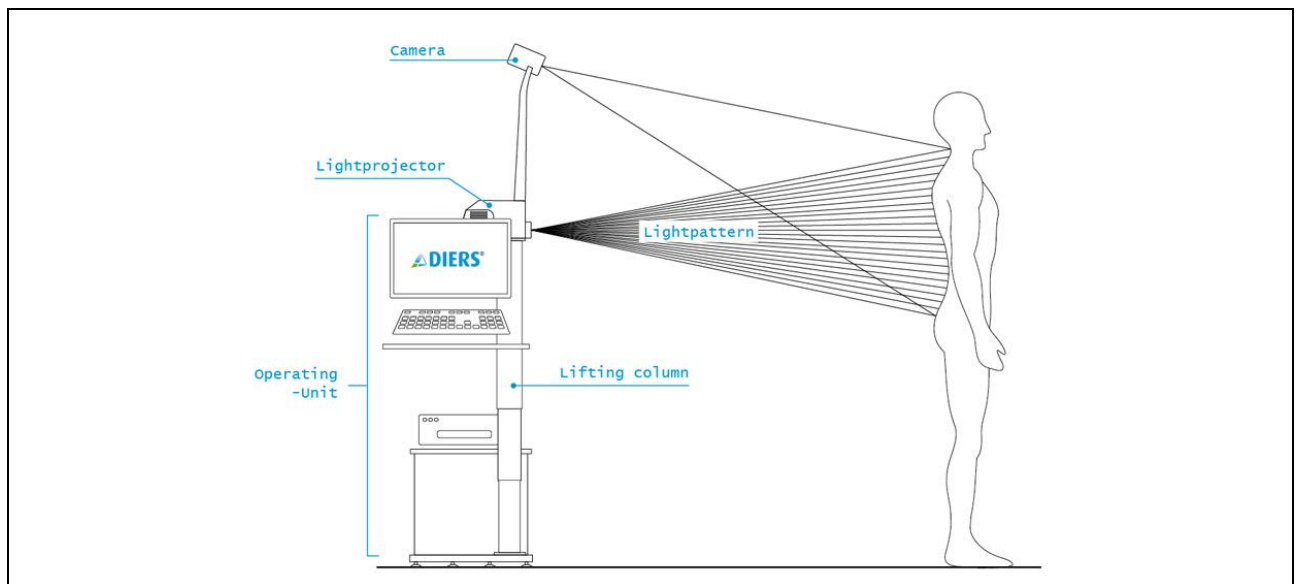


Abbildung 22: Messapparatur der DIERS formetric Lichttrasterstereographie zur Bestimmung Wirbelsäulenspezifischer Kennzahlen, aus Hübner und Hübner, 2010, S34.

Über eine rasterprojizierende Lichtquelle „kann das Oberflächenrelief mit großer Genauigkeit, bei handelsüblichen Sensoren bis zu 0,01mm, bestimmt werden“ (Hübner & Hübner, 2010, S.4). Das Lichttraster wird i.d.R. anhand der unterschiedlichen Helligkeitswerte (Graustufen) über eine Videokamera interpretiert, so dass jeder Stufe ein Punkt des zwei- oder dreidimensionalen Koordinatensystems zugeordnet werden kann (Abbildung 23).

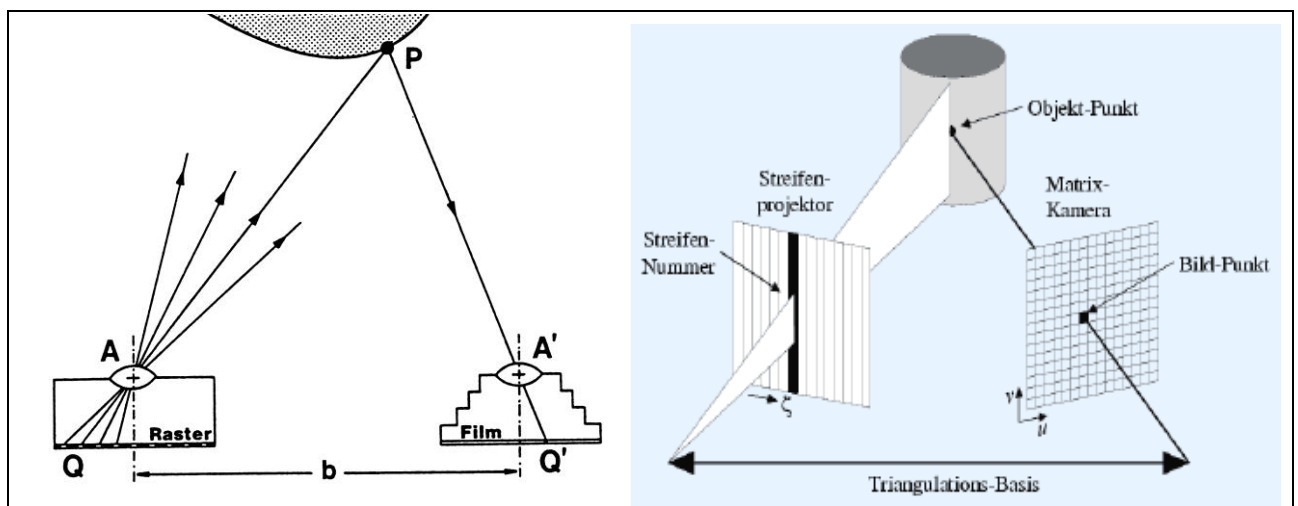


Abbildung 23: Messmethodik der optischen Triangulation; das projizierte Lichttraster wird mittels einer Videokamera erfasst und ermöglicht so über Vektorrechnung die Modellierung der Oberflächenstruktur des abzubildenden Objekts, aus Hübner und Hübner, 2010, S.4.

Zur Unterstützung der Detektion der Körperfixpunkte (C7, Lumbalgrübchen) wird seitens DIERS ebenfalls ein Markerset zur Verfügung gestellt. Die anschließende Betrachtung der Reliabilität des Messverfahrens wird die halbgestützte Analyse (C/markiert) als geeignete ökonomische Variante herausstellen und findet demnach bei den Athleten Anwendung.

Um die vom Lichtrasterstereographen erhobenen Messpunkte angemessen zu interpretieren, eignet sich die Darstellung als Oberflächenkrümmung zwischen je zwei Punkten, da Koordinaten abhängig von der Positionierung und Rotation des Probanden zum Projektor sind, bzw. sich durch die Messunsicherheiten Lücken im Abbild ergeben, welche bei Interpolation ein unförmiges und schwer zu interpretierendes Abbild liefern (Hübner & Hübner, 2010, S.5). Die mathematische Modellierung des Rückenmodells kann in Drerups und Hierholzers (1994, S.29) Publikation zur Methodik der Videorasterstereographie nachgelesen werden. Alternativ hierzu empfiehlt sich die Habilitationsschrift Hackenbergs (2003), die sich darüber hinaus mit der Definition der Fix- bzw. Orientierungspunkte auseinandersetzt. Die Landmarken zur weiteren Modellierung der WS-Form bestehen (kaudal) aus dem Vertebrae Prominens (VP), den Grübchen der Spina Iliaca posterior superior (Dimple Mitte, DM) und dem Sacrum (Drerup & Hierholzer, 1994, S.31; Drerup, Ellger, Bentrup & Hierholzer, 2001). Folgende Definitionen der WS Parameter sind dem Informationsschreiben der Firma DIERS zum Lichtrasterstereographen entnommen (Horn, 2010, S.15f). Die berücksichtigten Parameter betreffen:

- Rumpflänge („Direkte Verbindung VP bis Grübchenmitte DM“ in [mm]).
- Rumpfneigung („räumliche Distanz zwischen der Verbindungslinie von VP zu DM und dem Schwerelot des Körpers“ in [mm]).
- Grübchenabstand („räumlicher Abstand der Grübchen zueinander“ in [mm]).
- Lotabweichung („lateraler Abstand zwischen VP und DM, positive Werte bedeuten eine Verschiebung des VP nach rechts“, in [mm]).
- Beckenhochstand („unterschiedliche Höhe der beiden Lumbalgrübchen zueinander“ in [mm]).
- Beckentorsion („Die Verwindung der Oberflächennormalen auf die beiden Lumbalgrübchen“ in [°]).
- Beckenneigung („Die mittlere vertikale Verwindung der beiden Oberflächennormalen an den Grübchen“ in [°]).
- Kyphosewinkel („Der Winkel zwischen den Oberflächentangenten an den Punkten VP und ITL“).
- Lordosewinkel („Der Winkel zwischen den Oberflächentangenten an den Punkten ITL und DM“).
- Oberflächenrotation („Der mittlere quadratische Wert der horizontalen Komponente der Oberflächennormalen auf der Symmetrielinie“).
- Seitabweichung („Die mittlere quadratische Abweichung der Mittellinie der WS von der direkten Verbindung VP-DM in der Frontalebene“).

(zitiert in Anlehnung an Horn, 2010, S.31)

Abbildung 24 illustriert die Konstruktion von vier Parametern der Rasterstereographie mittels genannter Oberflächen-Expositionen und Kurvenverläufe (Wendepunkt ITL & ILS). Eine Darstellung aller Variablen ist im Anhang zu finden.

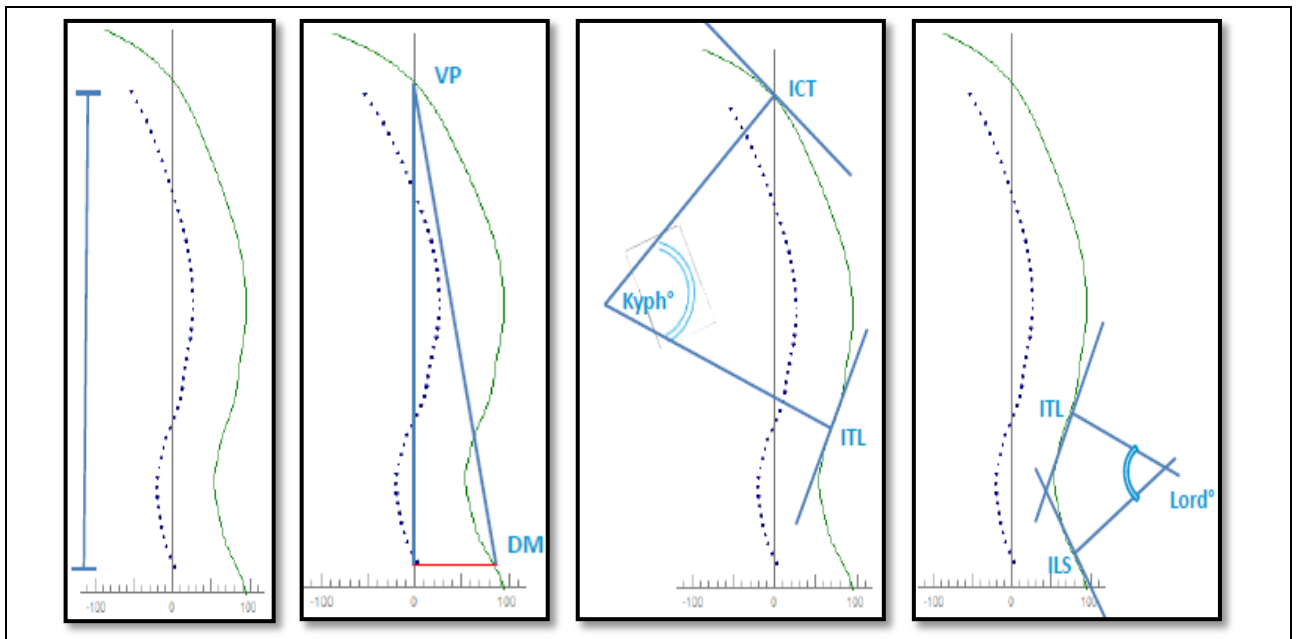


Abbildung 24: (v.l.n.r.) Definition der Messparameter Rumpflänge, Rumpfneigung, Kyphose- und Lordosewinkel in der Lateralprojektion, gemessen durch DIERS formetric 4D, aus Hübner und Hübner, 2010.

Anhand der Modellierung ergaben sich unterschiedliche Illustrationsmöglichkeiten (Abbildung 25), welche die unmittelbare Analyse und Auswertung der erhobenen Parameter erlaubten. Durch die dargestellten Rückenprofile ließen sich so schon frühzeitig auffällige Dysbalancen identifizieren und den Athleten darlegen. Zur Verdeutlichung potentieller Schwachstellen eigneten sich in erster Linie das Höhenprofil sowie die Abbildungen der arithmetischen Mittelwerte der Koordinaten einzelner Bildaufnahmen. Derartige Resultate waren ebenfalls Bestandteil der schriftlichen Rückmeldung an den Trainerstab und die Athleten.

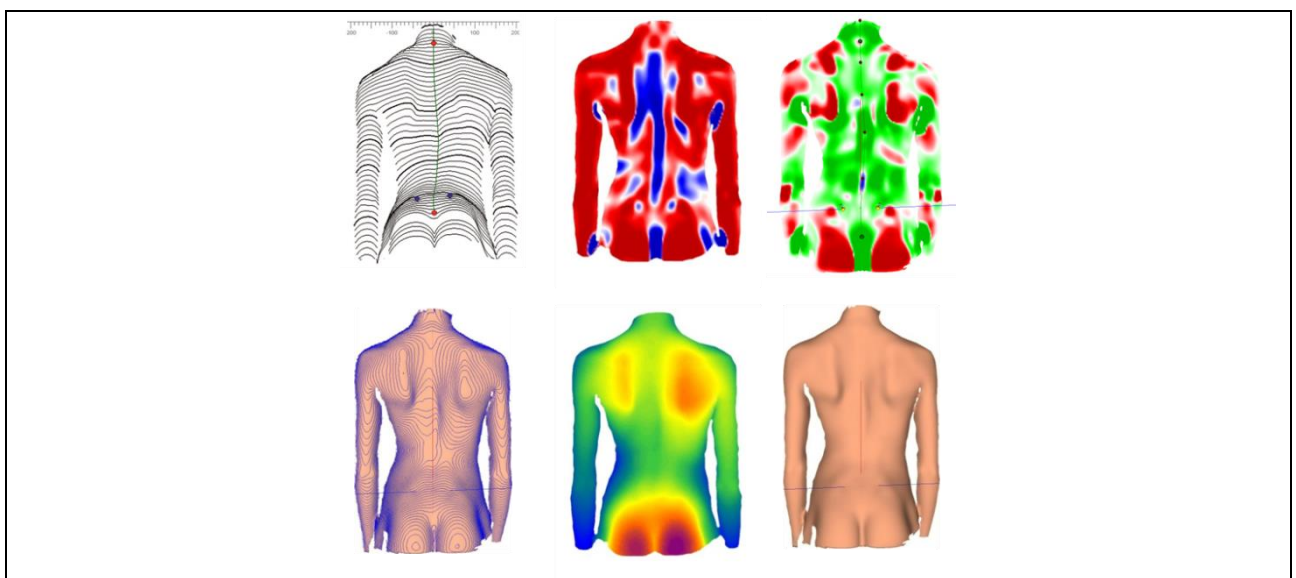


Abbildung 25: Oberflächenstruktur einer DIERS Lichtrasterstereographie; (1.Zeile v.l.n.r.) 1) Streifenprojektion, 2) Mittelwertabbildung der 12 Projektionen, 3) Gaußsche Mittelwertbildung, (2.Zeile v.l.n.r.) 4) Höhenlinienprofil, 5) Höhenprofil, 6) Normalmodell, aus Hübner und Hübner, 2010.

Es ist zu erwähnen, dass die elektronisch verstellbare Säule des mobilen Gerätes während der Untersuchungen einen Defekt erlitt, innerhalb eines Tages jedoch repariert werden konnte. Da es sich dabei um kein messwertrelevantes Teilstück der Lichtrasterstereographie handelte, sondern lediglich die Elektronik des Senkmotors, sollte dies keine Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit der Endergebnisse besitzen.

### 3.10 Pedobarographie

Simultan zur Lichtrasterstereographie wurden die resultierenden Kräfte unterhalb der Fußsohle mittels der ebenfalls von DIERS electronics zur Verfügung gestellten Pedobarographie-Matte erfasst. Bei dieser Messung handelte es sich um eine rein statische Erfassung des Standbildes gemäß Abbildung 26 anhand einer zeitbezogenen Interpretation der Druckparameter. Eine dynamische Erfassung des Gangbildes wurde aufgrund der zeitlich begrenzten Kapazitäten nicht durchgeführt, da für die Interpretation der dynamischen biomechanischen Verhältnisse weitaus mehr Faktoren Relevanz besitzen, als die reine Druckverteilung unterhalb der Fußsohle (u.a. „Skelettstatik, Gelenkstatus & Muskelstatus“, Ludwig, 2012, S.20). Neben der Interpretation der graphischen Darstellung lassen sich überwiegend separate Druckverteilungen bewerten. Die Kombination der Daten mit den in der Volumenvermessung erhobenen Beinlängen sowie der formetric diagnostizierten Beckenschiefstellung könnte eine Aussage über die funktionalen Zusammenhänge der Athleten konkretisieren, welche anschließend bei Auffälligkeiten im Rahmen weiterführender Diagnostiken intensiviert werden sollte.

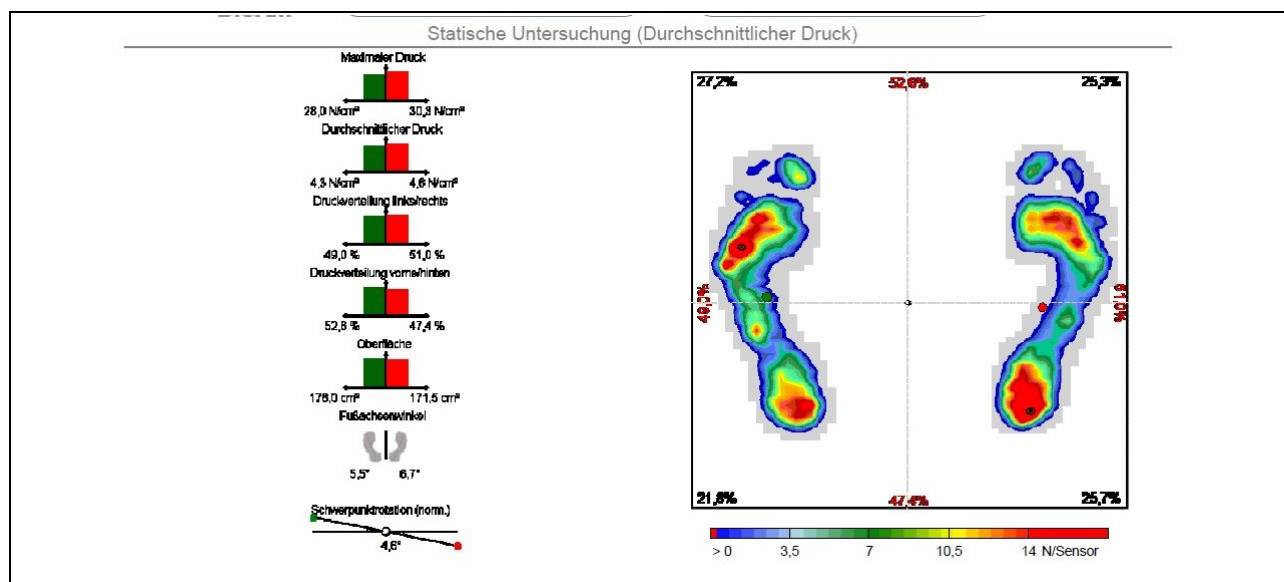


Abbildung 26: Output der DIERS International Pedobarographie bei statischem, beidbeinigem Stand.

Zusätzlich lässt sich anhand der Druckverteilung eine Aussage über Rotationsfehlstellungen treffen. Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass die gewählte Methodik für die Rückführung der Fehlstellungen auf eine konkrete Ursache ausrei-

chend ist, da wesentliche strukturelle Kennzeichen auch bei der rein statischen Betrachtung notwendig sind (Spannung der Plantarfaszie, Achsstellung der Achillessehne, Oberkörperneigung, u.v.m., Ludwig, 2012, 80ff). Eine visuelle Bestätigung der Befunde anhand von Videoaufzeichnungen oder aber Photographien stellt in diesem Zusammenhang eine weitere Quelle zur Steigerung der Interpretierbarkeit der Resultate dar.

Während der Lichtrasterstereographie positionierte sich der Proband auf der Plattform, welche sich auf der Höhe des Brennpunktes der Linse der LRS befindet. Dabei erfolgte keinerlei Instruktion bezüglich der Fußstellung, um die natürliche Haltung nicht zu beeinflussen. Die Kopplung beider DIERS Konzepte garantierte eine zeitlich simultane Durchführung der Diagnostiktools (temporale Trigger). Eine USB-Schnittstelle ermöglichte den einfachen Anschluss sowie eine simple Extraktion der Daten in Excel-Formate.

### **3.11 Ärztliche Anamnese**

Während der Körpervolumina-Vermessung führte eine Medizinstudentin des 8. Fachsemesters ein diagnostisches Gespräch mit den Athleten. Im Rahmen dieser Erhebung wurden insbesondere Verletzungsmuster des gesamten Körpers, sonstige Beschwerden sowie die tägliche Medikation in den Fokus gerückt. Die zu beantwortenden Items des persönlichen Gesprächs besitzen eine hohe Übereinstimmung mit den im Fragebogen befindlichen ( $r=0,91$ ). Dies erlaubte unvollständige Datensätze (durch fehlendes Absolvieren der online Erhebung) zu ergänzen und eine Korrelation zwischen beiden Abfragungen zu erfassen. Eine ausführliche Auflistung der Anamnese lässt sich in Frau Kirmeyers Dissertationsschrift zur Erlangung des med. Dr. nachlesen (unveröffentlicht) und wurde an die „Basisuntersuchungen bei Kreuzschmerz ohne neurologische Begleitsymptomatik“ der NVL angeglichen („Inspektion, Palpation der lokalen Muskulatur, Druck-/Klopfschmerz proc. Spinosi, Beweglichkeitsprüfung“, Bundesärztekammer, 2010, S.51).

### **3.12 Datenverarbeitung**

Vor der Analyse wurden die Datensätze zwei unterschiedlichen Prüfungsverfahren zur Sicherung der Datenqualität unterzogen:

- Plausibilitätskontrolle (PIK)
- Range check (RC)

Die PIK dient der Verifizierung der elektronischen Datensätze, um Fehler bei der Digitalisierung aufzudecken und zu beseitigen (Wein, 2002). Hierbei wurden von den insgesamt 127875 Zellen randomisiert 300 ausgewählt und der Inhalt dieser anhand der Rohdaten in Print manuell überprüft. Diese Methode führte zu insgesamt 12 Korrekturen (dokumentiert im Anhang). Basierend auf diesen Optimierungen (beide im Bereich der Körpervolumina) wurden bzgl. dieser Fehlübertragungen 100 Zellen alleinig aus diesem Zellbereich additiv überprüft. In diesem Nachtest



konnten keine weiteren Fehler identifiziert werden (mannschaftsinterne Fehlangaben).

Der RC ist ebenso ein Kontrollverfahren zur Güte der Daten bzw. der Datenübertragung. Anhand theoriegeleiteter Überlegungen werden für jeden Parameter der Datentabelle die potentiell höchsten Grenzwerte festgelegt (Weigel, 2011, Zwirner, 2011). Diejenigen Werte, welche diese Limitationen überschreiten, werden – adäquat zur PLK – separat anhand der Rohdaten geprüft. Durch Filterfunktionen ist eine triviale Prüfung der Spalten auf Basis ihrer Reichweite einwandfrei möglich und ökonomisch durchzuführen. Im Anhang findet sich der Definitionskatalog der einzelnen Spalten bzgl. ihrer Grenzschatzungen. Durch diesen RC wurden 15 Werte, von welchen 13 korrigiert werden konnten, identifiziert. Eine Rekonstruktion der übrigen Werte konnte nicht erfolgen, so dass diese Daten aus dem Gesamtsatz entfernt wurden.

Über *Visual Basic* Makros, *MATLAB* sowie das *MouseRecorder* Tool konnten die für die jeweiligen Athleten relevanten Daten automatisiert extrahiert und so eine frühzeitige Bereitstellung der Berichte (bis Ende November, Beispielreport s. Anhang) für alle teilnehmenden Athleten garantiert werden. Eine festgelegte ID ermöglichte die Zusammenführung der Daten separater Erhebungen (Biomechanik, Körpervermessung, Fragebogen).

Bei den Auswertungen handelt es sich zunächst um rein illustrative Endergebnisse der Messungen für jeden einzelnen Probanden (im Gesamtvergleich des jeweiligen Teams). Diese Daten wurden via e-mail als verschlüsselte ZIP-Dateien an die Kontakte versandt und im Rahmen einer separaten e-mail das jeweilige Ziffern- und Buchstaben-kombinierte Passwort zur vertraulichen Behandlung der Daten mitgeteilt. Aus den Daten wurden zunächst Trainingshinweise generiert, welche im weiteren Verlauf der Auswertungsphase optimiert/angepasst werden konnten.

Die graphische Angabe der Rückenschmerzen erfolgte über einen 48x48px Pin (Spitze 2x2px) auf einer 224x768px großen schematischen Hintergrundzeichnung einer menschlichen Rückansicht. Der Rücken wurde als 184x365px Fläche des Gesamtbildes abgesteckt und in drei Bereiche folgender Definitionen aufgeteilt:

$CWS \begin{cases} 20 > x \geq 204 \\ 280 \leq y < 365 \end{cases}$	[3]
$BWS \begin{cases} 20 > x \geq 204 \\ 120 \leq y < 280 \end{cases}$	[4]
$LWS \begin{cases} 20 > x \geq 204 \\ 0 \leq y < 120 \end{cases}$	[5]

Demnach ergeben sich pro WS Abschnitt 5566 Möglichkeiten (pro Abschnitt 92 Möglichkeiten auf der x-Achse und 60,5 auf der y-Achse) einen Pin zu platzieren. Der Hauptbereich der Lokalisation von Rückenbeschwerden beschreibt im Mittel einen Bereich von 21,6x19,8px. Dieser macht weniger als 1% (~0,6%) des gesamt-

ten Rückens aus und wird demnach als gute Spezifikation bzw. Differenzierung angesehen.

Die Software (MARS) der verwendeten KISTLER Kraftmessplatte liefert für die genannten Sprungprotokolle eine Berechnung der benötigten Datensätze (Sprunghöhen). Um die Genauigkeit der Messwerte zu erhöhen und Unsicherheiten zu beseitigen, erfolgte dennoch eine Eigenberechnung der Parameter aus den Rohdaten. Eine differenzierte Betrachtung der separaten Sprunghöhen des JE-Protokolls war seitens der MARS Software nicht gegeben, weshalb eine Eigenberechnung sich als zwingend erforderlich zeigte. Die Start- und Landezeitpunkte markieren die gesamte Flugzeit und erlauben so eine Berechnung der Sprunghöhe über die kinetische Energie:

$h = \frac{1}{2} * g * \left(\frac{1}{2} t\right)^2$	[6]
--	-----

Mit  $h$  als gesuchter Sprunghöhe [cm],  $g$  als Ortsfaktor (vereinfacht über  $g=9,81\text{m/s}^2$ ) und  $t$  als gesamte Flugzeit [ms] (von Absprung bis Landung). Der COP wurde adäquat zur Sprunghöhenberechnung manuell anhand der Rohdaten berechnet indem die erfassten x- und y-Koordinaten zunächst zu Vektoren verrechnet [7] und anschließend über den Satz des Pythagoras [8] sowie triviale Vektoraddition [9] zu einer Gesamtstrecke [10] addiert wurden:

$\vec{x}_i = x_{i+1} - x_i$	[7]
$s_i^2 = \vec{x}_i^2 + \vec{y}_i^2 = (x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2$	[8]
$s_{Total} = \sum_{i=1}^n \sqrt{s_i^2}$	[9]
$s_{Total} = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$	[10]

Mit  $x_i$  als x- und  $y_i$  als y-Koordinate zum Zeitpunkt  $t_i$ .  $s_i$  bezeichnet die Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks gebildet aus den x- und y-Koordinaten zum Zeitpunkt  $t_i$  (Weg von  $P_i(x_i|y_i)$  zu  $P_{i+1}(x_{i+1}|y_{i+1})$ ).  $s_{Total}$  beschreibt also die Gesamtstrecke des Center of pressure während der Messdauer  $t$ . Die statistischen Berechnungen erfolgten mittels der Open Source Software „R“ (v3.1.2) und des dazugehörigen Plugins „RStudio“ (R-Script Code s. Anhang). Die derart erzeugte, quillcodebasierte Teststatistik lässt sich anhand der im Anhang befindlichen Textdateien mühelos erneut durchführen. Die dargelegten Methoden stellen – basierend auf den zu Beginn erörterten strukturellen Gegebenheiten des menschlichen Körperbaus – eine Diagnostik zur Erfassung diverser rückenspezifischer Parameter zur

Verfügung. So lässt sich durch die Integration und Kombination dieser unterschiedlichen wissenschaftlichen Fachgebiete das komplexe Konstrukt Rückenschmerz konkreter spezifizieren.

Neben den Verfahren zur Sicherstellung der Qualität, stellt der Umgang mit fehlenden Daten in Untersuchungen einen der wichtigsten Faktoren zur Güte eines Datensatzes dar. Hierbei wird zwischen unterschiedlichen Typen fehlender Daten differenziert: NMAR (Not Missing At Random) „Hier liegt ein systematischer Ausfallmechanismus vor, der auch als „non ignorable missing data“ bezeichnet wird (Kim 2001). Dieser ist gegeben, wenn die Wahrscheinlichkeit einer fehlenden Angabe bei Variable x von deren ‚wahren‘, aber unbeobachtbaren Wert selbst abhängt.“ (S.175), MCAR (Missing Completely At Random) „Hier treten fehlende Werte rein zufällig auf, d.h. das Fehlen der Werte steht in keiner Beziehung zu den fehlenden oder vorhandenen Werten. Die Wahrscheinlichkeit einer fehlenden Angabe bei einer Variable x ist dabei unabhängig sowohl vom ‚wahren‘ Wert dieser Variable als auch von den anderen Variablen y“ (S.176) und MAR (Missing at random) Hier hängt die Wahrscheinlichkeit einer fehlenden Angabe bei Variable x (z. B. Einkommen) von den Angaben bei einer oder mehrerer Variablen y (z. B. Geschlecht, Alter oder Nationalität) ab, nicht aber von der Variablen x selbst. (Weiber & Mühlhaus, 2014, S.175) Strukturgleichungsmodellierung – Eine anwendungsorientierte Einführung in die Kausalanalyse mit Hilfe von AMOS, SmartPLS und SPSS, 2. Auflage, 2014,175-85.

### **3.13 Feedback Reports**

Rückmeldungen sind essentieller Bestandteil der Veränderung von Verhaltensmustern aufgrund diagnostischer Erkenntnisse (Sheeran et al., 2013). Um zeitnah zu Resultaten zu gelangen, wurde nach der Messphase unmittelbar mit der übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse begonnen. Dies wurde über diverse Tools bewerkstelligt (Visual Basic, MATLAB, MouseRecorder, etc.), welche mittels eigens programmierter Quellcodes die halbautomatische Erstellung der Reports sicherstellten. Mehrere Feedbackschleifen sowie manuelle stichprobenartige Überprüfungen der Teilschritte dienten der Qualitätssicherung der Zusammenstellung. Zur Konstruktion von Textpassagen wurden Routinen entwickelt, welche anhand zellbezogener Zusammenhänge auf Excel Basis einzelne Textbausteine zu einer Gesamteinschätzung zusammenfügten. So konnte auf die individuellen Testergebnisse eingegangen und für jede Messmethodik ein separates Resümee pro Athlet gezogen werden. Die vollständige Interpretation der Zusammenhänge oblag dem Trainerstab, welcher durch eine ausführliche Anleitung der Testergebnisse zu übergreifenden bzw. mannschaftsinternen Vergleichen instruiert wurde. Der Aufbau der Reports, welche innerhalb der ersten 2 Monaten nach Datenerhebung an alle 422 vermessenen Athleten versendet wurde, ist stets identisch und gliedert sich nach Abbildung 27 wie folgt (siehe Anhang):

- Kurzes Anschreiben (S.1)
- Daten und Auswertung der Testbatterie bestehend aus:
  - Rohdaten des SEBT inkl. Interpretation
  - Teilkörpervolumina des Athleten inkl. Normvergleich
  - Rückenprofil und Pedobarographie
  - Messwerte des COP im Normvergleich
  - Sprunghöhe des CMJ im Normvergleich
- Individuelles Fazit
- Intrateam Vergleich (Spinnendiagramm)
- Anleitung zur weiteren Auswertung der Daten seitens des Trainerstaabs

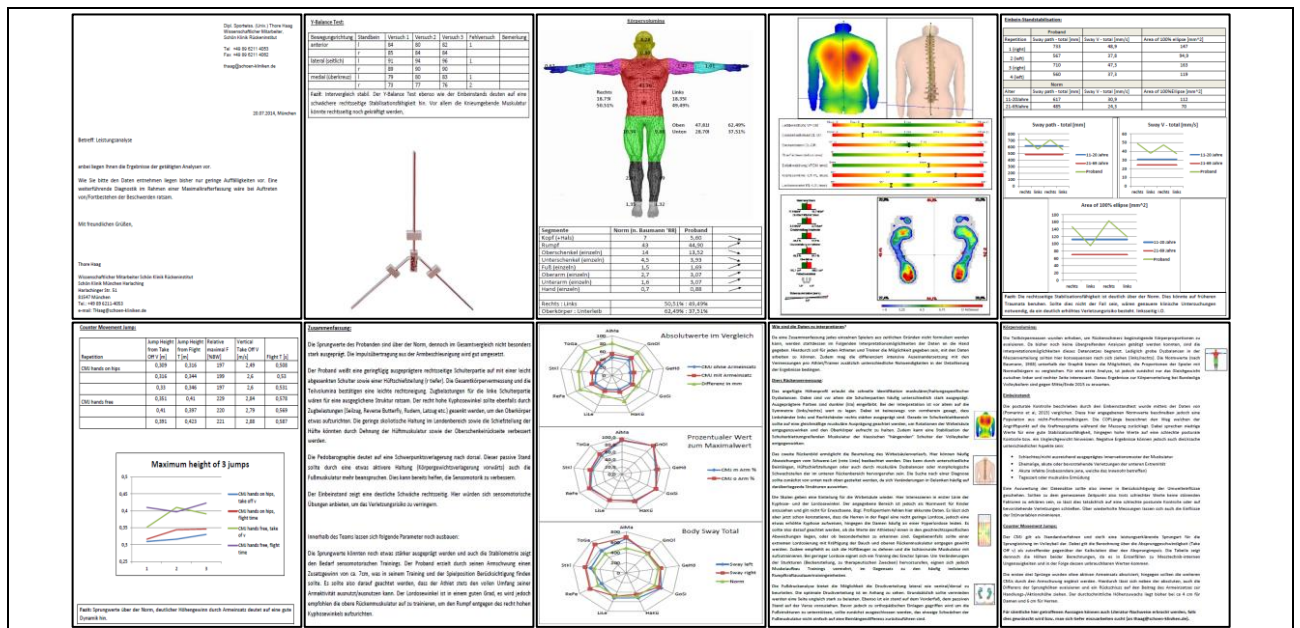


Abbildung 27: Der Aufbau der standardisierten Feedback Reports an die Athleten 2 Monate nach Erhebung der Daten.

Im Anschluss an die aktuelle Saison (2014/2015) wurden den Athleten und Trainern zusätzlich ausgewählte Übungen zugesendet, welche sich auf den Resultaten dieser Untersuchung begründeten. Dabei erfolgte keine individuelle Differenzierung, sondern jeder Trainer erhielt die Übungen zusammen mit der Erklärung der Wirksamkeit. So kann bei eingehender Auseinandersetzung mit den gelieferten Resultaten eine individualisierte Trainingsbehandlung der Athleten erfolgen.

### 3.14 Statistische Methoden der Untersuchung

Das folgende Kapitel setzt sich nach der Darstellung der Messmethoden (Kapitel 3) mit den statistischen Gegebenheiten und Maßnahmen auseinander auf welchen diese wissenschaftliche Untersuchung fußt. Dabei wird zunächst die Güte der Untersuchung anhand der Haupt- und Nebenkriterien in Verbindung mit den auftretenden potentiellen BIAS eingeschätzt. Zusätzlich wird in diesem Abschnitt der studieninhärenten Fehlerfortpflanzung (Messungenauigkeiten, Störgrößen, etc.) Rechnung getragen, um die Resultate adäquat einschätzen zu können.

Anschließend erfolgt die Berechnung und Begründung der Stichprobengröße sowie der angewandten statistischen Verfahrensweisen auf deskriptiver wie inferenzstatistischer Basis. Hier wird insbesondere der Erörterung und Durchführung der multiplen logistischen Regressionsanalyse Beachtung geschenkt. Das Kapitel schließt mit der Darstellung der Gewährleistung der Datenqualität und gibt zudem einen kurzen Überblick über die Skalierung der erhobenen Parameter, bevor im nachfolgenden Absatz der Dissertationsschrift die Ergebnisse präsentiert werden.

Die deskriptive Ausarbeitung erfolgte anhand der gängigen statistischen Kennzahlen: Mittelwerte, Quartile, Median, relative Häufigkeiten, Standardabweichungen bzw. Varianzen. Die Verteilung der möglichen Einflussfaktoren innerhalb der Gruppen wurde anhand des Chi-Quadrat-Tests auf Unterschiede überprüft. Anschließend wurden mittels einer multiplen logistischen Regressionsanalyse die Auswirkungen der Prädiktoren auf das Outcome *Rückenschmerz* berechnet. Eine Poweranalyse (mittels G\*Power Version 3.1.7) berechnete unter der Annahme einer mittleren Co-Korrelation aller Prädiktoren ( $R^2=0,09$ ), einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0,05$ , einem Fehler zweiter Ordnung von  $\beta=0,95$ , einem vorhergesagten OR von 2,66 unter Berücksichtigung der genannten 23 potentiellen Prädiktoren eine benötigte Stichprobengröße von  $n=157$ . Dies wurde mittels einer multiplen logistischen Regressionsanalyse erhoben, die sich – wie im Folgenden erläutert – bei der Beschreibung von Zusammenhängen  $k$  unterschiedlicher Faktoren als nützlich erwies (Bahr & Holme, 2003).

#### 3.14.1 Gütekriterien der Untersuchung

Die Güte einer Studie bemisst sich unter anderem an den allgemein bekannten, der Testtheorie entspringenden *Gütekriterien* (Fisseni, 2004, S.46; Rost, 2004), welche im Folgenden in ihrer Relevanz für die getätigte Untersuchung Betrachtung finden sollen. Dies wird einerseits durch die qualitative, selbstkritische Beurteilung der einzelnen Kriterien und andererseits durch die rechnerische Evaluation der Messfehler (Rost, 2004) gewährleistet. Aufgrund des Studiendesigns (Querschnitterhebung) erübrigt sich die Berücksichtigung gewisser temporär bezogener Störvariablen/einflüsse und ihrer Kontrollverfahren (z. B. experimentelle Mortalität, statistische Regressionseffekte, usw.). Eine gute Aufarbeitung und Darlegung der Gütekriterien findet sich in Kuenklers Dissertation zur Taktikanalyse im Beachvolleyball (Kuenkler, 2009, S.72ff) und wird daher nicht mehr speziell ausgeführt. Der Aufbau dieser

Arbeit orientiert sich jedoch an der, in der genannten Dissertation bearbeiteten, Reihenfolge der Gütekriterien.

### 3.14.2 Objektivität

Einheitliche Instruktionen des Versuchsleiters an alle Experimentatoren sowie exakte Darstellung der Datenauswertung, -bearbeitung und eine klare Definition der Hypothesen stellen das Verfahren als objektiv heraus. Die Daten sind unabhängig vom Versuchsleiter zustande gekommen, dies wurde durch standardisierte Anleitung seitens des Projektleiters sichergestellt. Zusätzlich wurden zehn Probanden des Piloten von zwei unterschiedlichen Versuchsleitern (A und B) im Abstand von 30 Minuten mittels der biomechanischen Verfahren erfasst und ausgewertet. Die Übereinstimmungen der resultierenden, letztlich verwendeten Parameter des Probanden zwischen den beiden Testleitern sind in der folgenden Tabelle dargelegt. Die Konfidenzintervalle basieren auf einer z-Transformation, Kalkulation und anschließender Retransformation nach Loftus und Loftus.

Tabelle 21: Korrelationen der erhobenen Daten zweier unabhängiger Testleiter inklusive 95% Konfidenzintervall (Fisher r zu z-Transformation, Loftus & Loftus, 1988).

Leiter	Gewicht	Volumen	EI	COP	FToArms	RLänge	Grübch	Lotabw
P(A:B)	1	0,95	0,92	0,97	0,99	0,96	0,93	0,95
95% Confid	-	0,80-0,96	0,69-0,98	0,87-0,99	0,96-1	0,83-0,99	0,72-0,98	0,80-0,96
Leiter	Beck-Hoch	BeckNeig	KA	LA	KWink	LWink	ObRot	CS
P(A:B)	0,93	0,96	0,92	0,93	0,94	0,93	0,88	0,84
95% Confid	0,72-0,98	0,83-0,99	0,69-0,98	0,72-0,98	0,76-0,99	0,72-0,98	0,56-0,97	0,44-0,96

Es lässt sich somit durchweg eine gute Auswertungsobjektivität (nach Rost, 2004, S.39) zeigen. Bezüglich der Durchführungsobjektivität können Versuchsleitereffekte nicht ausgeschlossen werden, da die Probanden unterschiedlichen Geschlechts sich bei dem Sprungkrafttest einem männlichen Testleiter gegenüber sahen. Dies kann zu gesteigertem Bemühen geführt haben, welches jedoch durch die Neutralität des Untersuchers in Grenzen gehalten wurde.

### 3.14.3 Reliabilität

Die Beurteilung der Reliabilität der gewählten Messverfahren erfolgt im Rahmen der Fehlerrechnung bzw. Fehlerfortpflanzung und beinhaltet sowohl die mathematische Abschätzung der Unsicherheiten der Messdurchführung als auch der Verfahren im Retest.

### 3.14.4 Fehlerabschätzung

Chronologisch an der Ausführung der Testbatterie orientiert, soll im folgenden Absatz die Fehlerrechnung bzw. –Fortpflanzung erläutert werden. Es wird sich dabei an den jeweiligen Erhebungsinstrumenten orientiert und je nach Messtechnik die Genauigkeit bzw. der Gesamt-Fehler der Ergebnisse deklariert. Dabei werden nur qualitativ relevant erscheinende Fehler miteinbezogen. Nicht messbare Ungenauigkeiten werden demzufolge vernachlässigt. Die berücksichtigten Größen betreffen (nach Kamke, 2010, S.17):

- Nullpunktabweichung (systematisch kontrolliert durch Normmessungen)
- Ablesefehler (durch Wiederholungsmessungen bestimmt)
- Einstellgenauigkeit (Genauigkeitsfehler des Messgeräts)
- Mechanische Erschütterungen – Bodenelastizität der Hallenböden (nicht kontrollierbar für KMP)
- Messgenauigkeit Körpervolumenvermessung (Ablesegenauigkeit, Genauigkeit Caliper)
- Messgenauigkeit Sprungdiagnostik (Kalibrierfehler, nicht nachvollziehbar; Genauigkeit Messplatte, Messfrequenz)
- Messgenauigkeit Wirbelsäulenanalyse (Genauigkeit, FPS)
- Messgenauigkeit Star Excursion Balance Test (Ablesegenauigkeit, zufälliger Fehler Sprunggelenkspositionierung)

Zur Berechnung exakter Unsicherheiten einer Messreihe eignet sich die Erfassung über das arithmetische Mittel und dessen Standardabweichung, welche definiert ist als:

$s = \frac{1}{\sqrt{n}} s_x$	[11]
------------------------------	------

Es zeigt sich, dass die Messunsicherheit also geringer wird, je größer die Stichprobenzahl ist. Da sich Fehler im weiteren Verlauf mathematischer Operationen jedoch auch addieren können, dient das Gaußsche Fortpflanzungsgesetz der Berücksichtigung derartiger Vorgänge, indem es besagt, dass sich die Gesamtstandardabweichung aus der Wurzel der quadrierten Summen der absoluten Fehler der Teilvolumina (Kamke, 2010, S.41f) berechnet.

$s_{Ges} = \sqrt{\left(\frac{\delta f(x)}{\delta x}\right)^2 * s_x^2 + \left(\frac{\delta f(y)}{\delta y}\right)^2 * s_y^2 + \dots}$	[12]
--	------

#### *Körpervolumina-Erfassung*

Die folgenden Kalkulationen gelten aber unter der Annahme, dass die Ablesefehler ( $\delta$ ) im Vergleich zur gemessenen Größe klein sind. Daraus resultiert, dass Terme

größerer Ordnung der Form ( $\delta x/x$ ) deutlich geringer als 1 und demnach vernachlässigbar werden, was mathematisch die Aufstellung der Gleichung [12] rechtfertigt (s. auch Kamke, 2010, S.18f).

Die Messungenauigkeit der Volumenerfassung berechnet sich also aus der Summe der Fehler der Körperteilvolumina. Dabei sind die Unsicherheiten gleicher Körpermodelle als identisch anzusehen (Kopf und Hände=Ellipsoiden, Extremitäten, Rumpf und Füße=Kegelstümpfe, Hals=Zylinder), adäquat zu [14] und [15] (die Herleitung des Rückschlusses aus [12] ist in Kamke, 2010, S.18ff nachzulesen):

$F'_{Ellipsoid} = \Delta V = V'_{Ellipsoid} - V_{Ellipsoid}$	[13]
$F_{Ges} = F'_{Kopf} + F'_{Hals} + 2 * F'_{Oberarm} + 2 * F'_{Unterarm} + 2 * F'_{Hand} + 2 * F'_{Oberschenkel} + 2 * F'_{Unterschenkel} + 2 * F'_{Fuß} + F'_{Rumpf}$	[14]
$F_{Ges} = 3 * F'_{Ellipse} + F'_{Zylinder} + 11 * F'_{Kegelstumpf}$	[15]

Die Hände werden nach dem Körpermodell als Ellipsoiden eingeschätzt ebenso wie der Kopf. Anhand der klassischen Definition der Volumina eines Ellipsoiden [16] sowie der geschätzten Abweichung [17] lässt sich der Gesamtfehler [15] bei definiertem Ablesefehler kalkulieren. Das Caliper, welches für alle drei Längenmaße verwendet wurde, besitzt ein Elektronikdisplay mit einer Messunsicherheit laut Hersteller von 0,01mm [18].

$V_{Ellipsoid} = \frac{4}{3} * \pi * \frac{a * b * c}{1000}$	[16]
$V'_{Ellipsoid} = \frac{4}{3} * \pi * \frac{(a + \delta a) * (b + \delta b) * (c + \delta c)}{1000}$	[17]
$\delta a, \delta b, \delta c = 0,01mm$ (jeweils Messfehler Caliper)	[18]

Anhand eines Fallbeispiels lässt sich nun der Gesamtfehler der Ellipsoiden berechnen, indem die Mittelwerte der erfassten Längenmaße [19, 20, 21] in die Volumengleichung ohne [22] und mit [23] Fehlerberücksichtigung eingesetzt werden. Die Standardabweichungen sind angefügt. Die Differenz der beiden ermittelten Werte lässt nun eine Aussage über den Maximalfehler zwischen maximaler Unsicherheit und zufällig wahrem Wert (Mittelwert der Stichprobe) zu. Demnach streut der gemessene Wert nach Einsetzen in die Gesamtgleichung [24] ca.  $\pm 0,16l$  um den Mittelwert für das Volumen der Ellipsen. Diese Berechnung ist als notwendig, da die einzelnen Längen der Körpersegmente als korrelierend anzusehen sind.



Fehlerberechnung am Fallbeispiel:	
$\mu_a = \frac{1}{2} * \text{Kopflänge} = \frac{19}{2} = 9,5 \pm 0,12\text{cm}$	[19]
$\mu_b = \frac{1}{2} * \text{Kopflänge} = \frac{14}{2} = 7,0 \pm 0,1\text{cm}$	[20]
$\mu_c = \frac{1}{2} * \text{Kopflänge} = \frac{23,2}{2} = 11,6 \pm 0,14\text{cm}$	[21]
$V_{\text{Ellipsoid}} = \frac{4}{3} * \pi * \frac{\mu_a * \mu_b * \mu_c}{1000} = 3,32123\text{l}$	[22]
$V'_{\text{Ellipsoid}} = \frac{4}{3} * \pi * ((\mu_a + \delta a) * (\mu_b + \delta b) * (\mu_c + \delta c))/1000 = 3,38749\text{l}$	[23]
$F'_{\text{Ellipsoid}} = \Delta V = V_{\text{Ellipsoid}} - V'_{\text{Ellipsoid}} = 3,38749 - 3,23123 = 0,15626\text{l}$	[24]

Die Berechnung des Fehlers für Zylinder und Kegelstümpfe ist aufgrund der benötigten Radien geringfügig komplexer. Nachdem lediglich Umfänge gemessen wurden, muss der Ablesefehler des Maßbandes bereits in der Umrechnung auf den Radius [28] integriert werden und äußert sich demnach zusätzlich in der Volumenberechnung [27].

$F'_{\text{Zylinder}} = \Delta V = V'_{\text{Zylinder}} - V_{\text{Zylinder}}$	[25]
$V_{\text{Zylinder}} = h * \pi * \frac{r^2}{1000} / 2$	[26]
$V'_{\text{Zylinder}} = (h + \delta h) * \pi * \frac{(r' + \delta r)^2}{1000} / 2$	[27]
$\delta r = \Delta r = r' - r = \frac{U'}{2\pi} - \frac{U}{2\pi} = \frac{(U + \delta U)}{2\pi} - \frac{U}{2\pi}$	[28]
$\delta h, \delta U = 2\text{mm (jeweils Messfehler Maßband)}$	[29]

Das folgende Fallbeispiel illustriert dies, indem sowohl die Differenz [33] der umfangsbasierten, fehlerbehafteten Radien [31 & 32] als Term in der Voluminaberechnung [35] auftauchen als auch der über den Umfang mit Messungenauigkeit-behaftete Radius selbst ( $r'$ ).

Fehlerberechnung am Fallbeispiel:	
$\mu_h = \text{Halshöhe} = 13\text{cm}; \mu_U = 40\text{cm};$	[30]
$r = \frac{\mu_U}{2\pi} = \frac{(40)}{2\pi} = 6,366$	[31]
$r' = \frac{\mu_U'}{2\pi} = \frac{(40 + 0,2)}{2\pi} = 6,398$	[32]
$\delta r = r' - r = 0,0318$	[33]
$V_{\text{Zylinder}} = \mu_h * \pi * \frac{r^2}{1000} / 2 = 0,828\text{l}$	[34]
$V'_{\text{Zylinder}} = (\mu_h + \delta h) * \pi * \frac{(r' + \delta r)^2}{1000} / 2 = 0,857\text{l}$	[35]
$F'_{\text{Zylinder}} = \Delta V = 0,857\text{l} - 0,828\text{l} = 0,029\text{l}$	[36]

Das Volumen der Kegelstümpfe wird, adäquat zur Berechnung des Zylinders, über die Ableitung der Radien vom Umfang gewährleistet und bedarf daher keiner weiteren Erklärung, sei aus Gründen der Vollständigkeit jedoch ebenfalls illustriert.

$F'_{\text{Kegelstumpf}} = \Delta V = V'_{\text{Kegelstumpf}} - V_{\text{Kegelstumpf}}$	[37]
$V_{\text{Kegelstumpf}} = \frac{1}{3} * \pi * h * (R^2 + Rr + r^2) / 1000$	[38]
$V'_{\text{Kegelstumpf}} = \frac{1}{3} * \pi * h' * (R'^2 + R'r' + r'^2) / 1000$	[39]
$\delta h, \delta R, \delta r, \delta U = 2\text{mm} \text{ (jeweils Messfehler Maßband)}$	[40]

Das Beispiel orientiert sich an den Maßen eines Oberarms eines männlichen Athleten und geht wie auch zuvor von den Mittelwerten als minimalste Abweichung vom realen Wert aus.

Fehlerberechnung am Fallbeispiel:	
$\mu_{U_R} = 38\text{cm}; \mu_{U_r} = 27,8\text{cm}; \mu_h = 35,8\text{cm};$	[41]

$R = \frac{\mu_{UR}}{2\pi} = \frac{38}{2\pi} = 6,048$	[42]
$R' = \frac{\mu_{UR}'}{2\pi} = \frac{(38 + 0,2)}{2\pi} = 6,080$	[43]
$r = \frac{\mu_{Ur}}{2\pi} = \frac{27,8}{2\pi} = 4,425$	[44]
$r' = \frac{\mu_{Ur}'}{2\pi} = \frac{(27,8 + 0,2)}{2\pi} = 4,456$	[45]
$\delta R = R' - R = 0,032$	[46]
$\delta r = r' - r = 0,031$	[47]
$V_{Kegelstumpf} = \frac{1}{3} * \pi * \mu_h * \frac{R^2 + Rr + r^2}{1000} = 3,109l$	[48]
$V'_{Kegelstumpf} = \frac{1}{3} * \pi * (\mu_h + \delta h) * \frac{(R' + \delta R)^2 + (R' + \delta R) * (r' + \delta r) + (r' + \delta r)^2}{1000} = 3,201l$	[49]
$F'_{Kegelstumpf} = \Delta V = 3,201 - 3,109 = 0,092l$	[50]

Der Gesamtfehler ergibt sich nun nach [15] zu:

$F_{Ges} = 3 * F'_{Ellipsoid} + F'_{Zylinder} + 11 * F'_{Kegelstumpf} = 3 * 0,156l + 0,029l + 11 * 0,092l = 1,509l$	[51]
---	------

Bei einem Gesamtvolumen des Probanden von  $V_{Ges} = 75,6l$  betrifft der relative Fehler  $F_{Ges}^{Rel}$  also:

$F_{Ges}^{Rel} = \frac{1,509l * 100}{75,603} = 2,00\%$	[52]
--	------

Der hier deklarierte relative Gesamtfehler bezeichnet nun einen separaten Einzelfall. Korrekter Weise muss jedoch die Summe der arithmetischen Mittel der Unsicherheiten aller Teilkörpervolumina als Gesamtfehler bezeichnet werden, wie auch Kamke (2010) postuliert: „die Varianz der Messungen einer Messreihe ist bezüglich ihres arithmetischen Mittels minimal“ (S.37). Die arithmetischen Mittel der Abweichungen der Teilkörpervolumina ergeben in Summe den Gesamtfehler:

$\bar{\mu}_{F'_{Ellipsoid}} = 0,158 \pm 0,04l$	[53]
--	------

$\bar{\mu}_{F'_{Zylinder}} = 0,081 \pm 0,003l$	[54]
$\bar{\mu}_{F'_{Kegelstumpf}} = 0,09 \pm 0,05l$	[55]
$F_{\mu_{Ges}} = 3 * \bar{\mu}_{F'_{Ellipsoid}} + \bar{\mu}_{F'_{Zylinder}} + 11 * \bar{\mu}_{F'_{Kegelstumpf}} = 1,545l$	[56]

Danach ergibt sich adäquat zu [52] eine resultierende Messungenauigkeit der Körpervoluminaberechnung verursacht durch Ablesefehler von:

$F_{\mu_{Ges}^{Rel}} = \frac{1,545l * 100}{75,603} = 2,04\%$	[57]
--	------

Dabei sind jedoch noch nicht die Messfehler der Modellanpassung berücksichtigt. Diese lassen sich grob über die mittlere Abweichung der durch die Volumina berechneten Gesamtmasse von der über eine Waage ermittelten Gesamtmasse (deklariert als *tatsächliche Masse*) berechnen. Diese beträgt nach [58] 1,97% und liegt somit unterhalb des Fehlers der relativen Gesamtunsicherheit des Ablesens (Messunsicherheit der Waage: 0,01kg).

$F_{\mu_{Mass}^{Rel}} = \frac{(\mu_{tatsächliche\ Masse} - \mu_{berechnete\ Masse}) * 100}{\mu_{tatsächliche\ Masse}} = 1,97\%$	[58]
---	------

Die Gesamtunsicherheit der Körpervermessung ergibt sich als Summe der beiden Fehler [57] und [58] und lässt sich demnach als nicht über 5% festhalten.

#### *Messunsicherheit der Sprunghöhenberechnung*

Die Sprunghöhen wurden, wie bereits in Kapitel 3.12 Datenverarbeitung erwähnt, manuell anhand der Rohdaten berechnet. Hierfür wurden über alle durchschnittlich 30.000 Messwerte (Messfrequenz 1Hz, ca. 30s für 20 Sprünge) der Kraftmessplatte in z-Richtung ein Filter von 50 Newton gelegt, welcher Absprung und Landung markierte, um die potentielle Eigenschwingung der Platte nicht in den Datensatz mitaufzunehmen. Die entstehenden Ungenauigkeiten (der Athlet verlässt erst bei 50N physisch die Kraftmessplatte) bleiben aufgrund ihrer geringen Ausprägung (im Durchschnitt <0,05% also <15ms oder <0,055cm pro Messung), in Bezug auf die von Frick et al. (1991) für Einzelsprünge deklarierte mittlere Messungenauigkeit von 1cm des Flugzeitverfahrens, unberücksichtigt. Anhand des arithmetischen Mittelwertes der Sprunghöhe aus drei Sprüngen ergibt sich also eine vernachlässigbare, relative durchschnittliche Unsicherheit der Sprungkraftdiagnostik nach [59] von:

$$F\mu_{Sprung}^{Rel} = \frac{10\text{mm} * 100}{\bar{\mu}_{Sprunghöhe}} = \frac{10\text{mm} * 100}{330,0\text{mm}} = 3,0\%$$

[59]

### *Messfehler Y-Balance-Test*

Wie bereits im Methodenteil erläutert, ist der YBT nach dem FMS™ Verfahren mit einigen methodischen Schwachstellen versehen, welche überwiegend dem Aufbau des Instruments geschuldet sind.

Von immenser Bedeutung innerhalb der Datenerhebung dieses Tests stellt sich die Positionierung des Sprunggelenks dar, welches im Rahmen der Durchführung des SEBT unmittelbar oberhalb des Achsenschnittpunkts positioniert wird. Der Ursprungspunkt stimmt demnach mit dem Nullpunkt aller Achsen überein (0/0/0). Laut Anleitung des YBT ist dieser Schnittpunkt jedoch mit der großen Zeh zu berühren und führt somit zu einem, je nach Fußlänge differierenden, Nullpunkt der Sprunggelenkspositionierung. Dieser Umstand selbst würde den Vergleich zu Daten des SEBT erübrigen, weshalb auch bei diesem Test eine Positionierung oberhalb des Schnittpunkts der Achse gewählt wurde. Dies erhöht die Vergleichbarkeit bewirkt jedoch zugleich, dass der Fuß etwa 50% frontal über den Standblock herausragt und somit auf der Messstange zu liegen kommt. Während der Messungen offenbarte sich dieser Umstand aber als immense Erhöhung der Stabilisationsanforderungen an die Athleten. Zusätzlich ist der aus Kunststoff bestehende Untergrund der Apparatur mit einer nicht definierten Instabilität verbunden, da der Hohlraum des Geräts lediglich durch ~2mm dicke Längsstreben gehalten wird, welche bereits im Vorfeld der Untersuchung der klinischen Anwendung nicht Stand hielten.

Um den Lerneffekt innerhalb der Testdurchführung zu minimieren, empfiehlt Gribble et al. (2012) mindestens vier bis sechsmalige Durchführung pro Bewegungsrichtung. Dies liefert offenbar einen Cut-Off in der Lernphase, welcher zu einem Plateau in der Leistungsentwicklung führt. Individuelle Lernfortschritte der Anfangsphase können dabei nicht kontrolliert werden und bleiben demnach unberücksichtigt. Die Ablesefehler des Testleiters stellen in Bezug zur geäußerten Messungengenauigkeit des Verfahrens eine vernachlässigbar kleine Fehlerquelle dar und finden daher keine weitere mathematische Berücksichtigung.

### *Wirbelsäulenvermessung*

Die Genauigkeit der WS Vermessung wurde über die jeweils 20-malige Retest-Messung eines Probanden ohne ( $t_1$ ) und mit ( $t_2$ , 32 Tage später) C7-Markierung ermittelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den von DIERS ausgegebenen Daten bereits um eine Mittelwertbildung handelt. Die in Tabelle 22 angegebenen statistischen Maßzahlen stellen also u.a. die arithmetischen Mittelwerte der gemittelten Parameter aus 12 Bildern dar.

Tabelle 22: Kennzahlen der 20-maligen Retest-Messung eines Probanden mittels der DIERS formetric Wirbelsäulenanalyse mit und ohne Marker set.

Parameter	Ohne Marker			Mit Marker (32 Tage später)		
	Mean	Sd	Genauigkeit	Mean	Sd	Genauigkeit
Rumpflänge	517,5mm	8,7	1,7%	522,1mm	2,0	0,4%
Grübchenabstand	91,3mm	1,4	1,5%	91,1mm	1,5	1,6%
Rumpfneigung	29,3mm	8,6	29,4%	29,4mm	6,0	20,4%
Lotabweichung	-12,3mm	2,2	17,9%	-14,8mm	2,6	17,6%
Beckenhochstand	-6,2mm	1,4	22,6%	-6,5mm	1,8	27,7%
Beckenneigung	21,0°	2,3	11,0%	20,2°	2,3	11,4%
Wendepunkt ICT	-11,3mm	8,3	73,5%	4,8mm	1,5	31,3%
Wendepunkt ITL	-307,9mm	13,4	4,4%	-320,6mm	6,2	1,9%
Wendepunkt ILS	-524,2mm	8,0	1,5%	-529,2mm	5,1	1,0%
Kyphosewinkel	40,4°	2,1	5,2%	44,8°	0,9	2,0%
Kyphoseapex	-207,8mm	9,6	4,6%	-210,9mm	3,4	1,6%
Lordosewinkel	35,4°	1,1	3,1%	29,2°	1,4	4,8%
Lordoseapex	-411,9mm	8,7	2,1%	-425,1mm	3,7	0,9%
Oberflächenrotation	1,5°	0,3	19,9%	2,3°	0,5	21,7%
Seitabweichung	2,8mm	1,1	39,3%	3,8mm	1,0	26,3%

Die Resultate der Vermessung sowohl ohne als auch mit Markierung (lediglich C7 als gut reproduzierbares Fixum) besitzen eine Pearson Korrelation zueinander von  $r=0.99$ . Bereits ohne die hohe Zeitdifferenz zwischen zwei Messtagen wäre dieser Wert als ausgezeichnet einzustufen. Durch die Kennzeichnung des siebten Halswirbels ließ sich die Standardabweichung insbesondere der superioren Lagemaße (Rumpflänge, Kyphoseapex, Wendepunkt ICT) verringern, wodurch sich überwiegend eine gute Reliabilität postulieren lässt. Der relative Fehler von vier Parameter liegt jedoch bei beiden Methoden weit über dem akzeptablen Bereich ( $>20\%$ : Rumpfneigung, Beckenhochstand, Wendepunkt ICT, Seitabweichung). So bleiben die genannten Parameter im weiteren Verlauf der Untersuchung aufgrund ihrer hohen Unsicherheit unberücksichtigt. Die restlichen Variablen scheinen den wahren Wert in einem annehmbaren Konfidenzintervall zu identifizieren ( $\emptyset$  Genauigkeit: 6,6%).

### 3.14.5 Validität

Die *inhaltliche Validität* wird theoriegeleitet beurteilt bzw. hergeleitet und ergibt sich somit aus dem aktuellen Forschungsstand bzw. aus Begründung der biomechanischen Messmethoden. Diese gelten im Rahmen sportmotorischer Untersuchungen als hoch valide (Brack, 1983; Rost, 2004), weshalb hier ebenfalls von adäquater Kontenvalidität auszugehen ist. Die *Konstruktvalidität* lässt sich nur über die Definition der unabhängigen und abhängigen Variablen anhand wissenschaftlicher Publikationen angemessen evaluieren. Im Rahmen der Problematik der Operationalisierung des Konstruktes chronisch unspezifischen Rückenschmerzes, stellt sich diese

Aufgabe als äußerst anspruchsvoll für die getätigte Untersuchung heraus. Da jedoch bereits im Vorfeld die Prädiktoren anhand der Schwachstellen der WS aufgezeigt sowie biomechanische Messmethoden als Standard für derartige Diagnostiken identifiziert wurden, ist die Konstruktvalidität zunächst als ausreichend hoch anzusehen. Die endgültige Beurteilung muss anhand der Varianzerklärung des finalen, beschreibenden Modells getätigt werden und wird daher erst nach der Darstellung der Ergebnisse in Form des Pseudo Pearson  $R^2$  und AUC Wertes konkretisiert. Die Erstellung des Nomogramms ermöglicht eine Post-Validitätserfassung innerhalb erneuter Messungen. Diese ist im Rahmen der hier angestrebten Promotion nicht durchzuführen, stellt jedoch einen direkten Auftrag weiterer Forschung zur Prävention von Rückenbeschwerden im Volleyball dar.

Die *interne Validität* wird anhand diverser weiterer Störvariablen erfasst, welche im Folgenden samt ihrer Kontrollversuche kurz illustriert werden. *Auswahlverzerrungen* wurden durch Berücksichtigung des Leistungsniveaus (auch der vorangegangenen Jahre) und somit einer Schaffung identischer Grundvoraussetzungen kontrolliert. Zudem wurde diese Studie als Kompletterhebung der 1. und 2. Bundesliga angesetzt und bildet somit die gesamte Kohorte ab.

*Veränderungen der Messinstrumente* konnten nur für das Caliper (neue Batterie) bzw. die Kraftmessplatte (Eichung pro Messort) kontrolliert werden. Etwaiges Auf- und Abbauen des Stereographen kann zu unterschiedlichen Einfallwinkeln des Lichtrasters geführt haben. Hier wurden mittels einer Wasserwaage und eines Winkeldreiecks versucht, gleiche Bedingungen über alle Messorte zu schaffen. Da ein straffer Zeitplan lange Anfahrtswege, mobile Verpflegung und wenig Schlaf mit sich brachte, konnten zudem Testleiter-interne Störfaktoren wie Müdigkeit der Experimentatoren nicht ausgeschlossen werden. *Reifung* spielt nur im Rahmen der unterschiedlich langen Vorbereitungszeit auf die Saison eine Rolle. Aufgrund der gesamtdeutschen Präsenz Bundesligaaktiver Volleyballvereine ist eine zeitlich dichtere Messabwicklung jedoch nur schwer möglich gewesen. *Testeffekte* können, wie bereits erwähnt, durch den Versuchsleiter/in oder durch unterschiedliche Motivation nach/während des Trainings/Turniers bei den Athleten aufgetreten sein.

Neben den Hauptgütekriterien sollten auch Nebenfaktoren, definiert als die *Nützlichkeit* und *Ökonomie* einer Untersuchung, explizit Erwähnung finden. Die Nützlichkeit ist als besonders hoch einzustufen, da die genannten Messmethoden in der Regel gold-standards in der Erfassung der Merkmale darstellen und die praktische Relevanz aufgrund deklarerter Fehlzeiten für Bundesligisten äußerst hoch ist. Einzig die Körpervolumenerfassung ist mittels eines Calipers und Maßbandes mit hohem Aufwand verbunden. Dennoch ist auch diese Methode als nützlich gegenüber der Alternativen anzusehen, welche lediglich anhand eines Wasserbades oder einer Gesamtkörperkabine das Volumen erfassen sollen und somit keinesfalls den Anspruch einer transportablen Testbatterie erfüllen. Die Ökonomie des Verfahrens ist jedoch eher als schlecht anzusehen. Zwar ist die Durchführungszeit der Testbatterie eher kurz (30 Minuten pro Proband) und die Daten einfach auszuwerten (Rost, 2004), der administrative Aufwand bzgl. Terminierung der Messungen, Koordinati-

on des Messteams, Organisation und Kostenübernahme der Fahrten, Verpflegung und Übernachtungen, Absprache mit den Spielern und Mannschaften, Vor- und Nachbereitung der Messtage sowie Anreise fordert jedoch einen immens hohen zeitlichen wie finanziellen Aufwand. Aus diesem Anlass ist die Erstellung eines Nomogramms hilfreich und von praktischem Nutzen, um die Auswertung derartiger, eventuell lokal im Eigenauftrag der Mannschaften/Vereine durchführbarer, Messungen zu vereinfachen.

Auf die ausführliche Darstellung der Nebengütekriterien Normierung und Vergleichbarkeit, wird aufgrund der theoriegeleiteten Identifikation und ausführlichen Darstellung der Messmethoden verzichtet, zumal in der Diskussion die Existenz von Vergleichsdaten und Normwerten bestätigt wird.

### 3.14.6 *Überprüfung der statistischen Voraussetzungen*

Zur Einschätzung multivariater Zusammenhänge diverser unabhängiger und einer dichotomen abhängigen Variablen haben sich strukturprüfende Verfahren, wie die Diskriminanz- oder Regressionsanalysen, als geeignet herausgestellt (Urban, 1993). Eine Entscheidung über das spezifische Vorgehen erfolgt anhand der Prüfung der Grundvoraussetzungen, überwiegend der Prüfung univariater und multivariater Verteilungen. Da nicht eine einzelne mathematische Operation für die Berechnung unterschiedlich komplexer Voraussetzungen Anwendung finden kann, ist die Prüfung spezieller beschreibender Parameter der Stichproben bzw. -anteile notwendig. Die Prüfung auf univariate Normalverteilung der Variablen erfolgte sowohl nach allgemeinen Empfehlungen (Kähler, 2011; Freedman et al., 2007; Thode, 2002) im Rahmen der qualitativen Beurteilung der Histogramme, Quantile-Quantile- sowie Boxplots als auch der quantitativen Berechnungen mittels der Übereinstimmung dreier Tests von Shapiro, Anderson-Darling und Pearson. Das Vorgehen wird im Folgenden exemplarisch für alle Normalverteilungsberechnungen der Variablen „Gewicht“ verdeutlicht, welche zunächst in ihrer Ausprägung innerhalb der Gesamtstichprobe und anschließend der Subsets betrachtet wird. Die multivariate Normalverteilung der Daten lässt sich mittels des Mardia-Koeffizienten überprüfen und wird nach der singulären Betrachtung vollzogen (Weiber & Mühlhaus, 2014, S.181f).



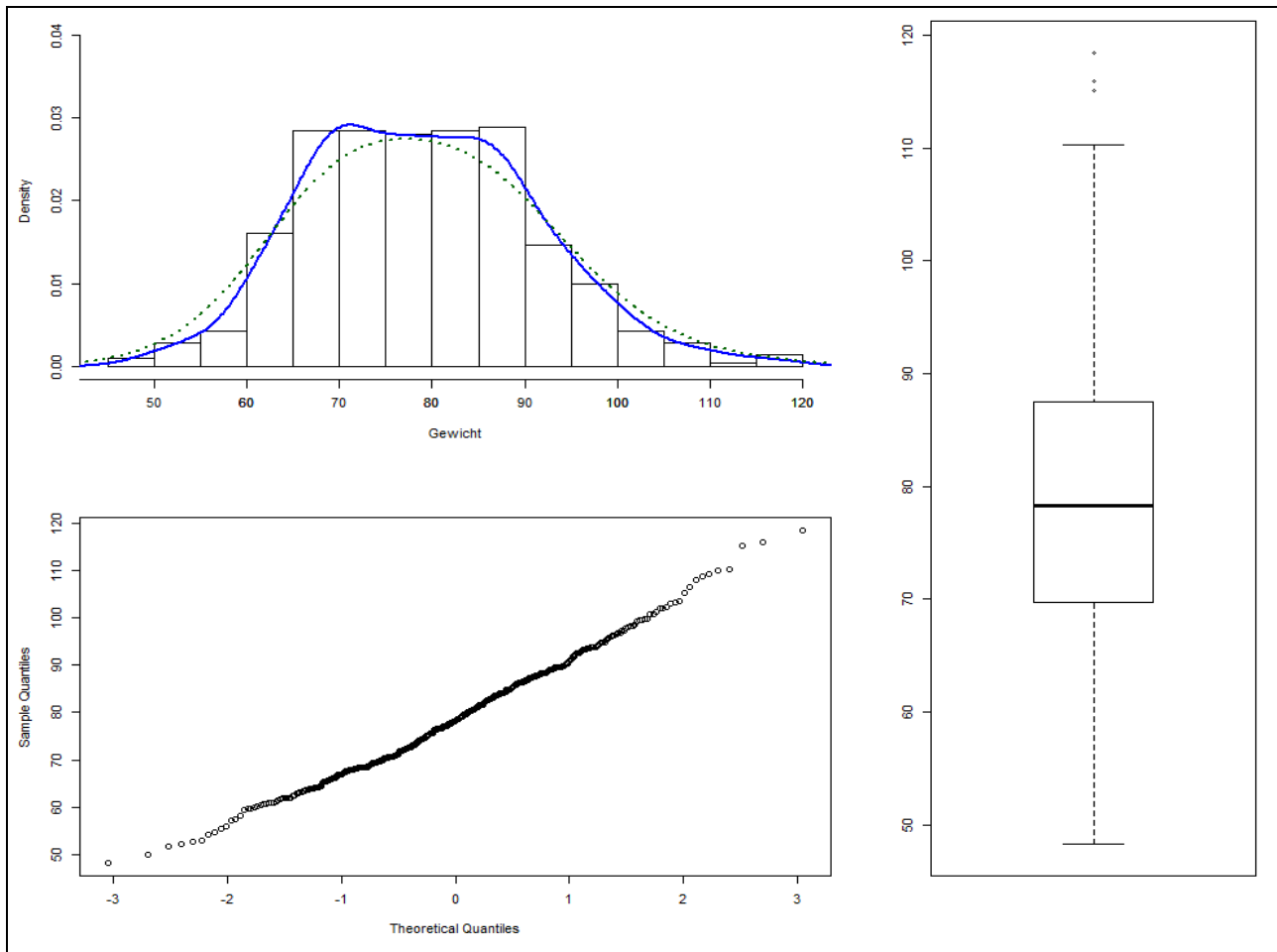


Abbildung 28: Graphische Überprüfung der Prädiktoren auf Normalverteilung anhand der Form der Verteilungsfunktion, des linearen Zusammenhangs der Quantile-Quantile Plots und der Häufigkeit von Ausreißern innerhalb des Boxplots.

Es herrschen Grundannahmen über diverse Parameter, welche eine Normalverteilung (NV) für manche Variablen festlegen. So wird auch bei der Gewichtsverteilung von einer NV ausgegangen. Dennoch soll dieser Faktor als Beispiel für die Methodik dienen, mittels welcher die potentiellen Prädiktoren innerhalb der Subsets auf NV geprüft wurden.

Neben der graphischen Beurteilung der Histogramme, welche sich der NV annähern sollten, erfolgt die Überprüfung des linearen Zusammenhangs der Quantile-Quantile Plots. Diese Graphik stellt den Zusammenhang der Quantile der beobachteten Variable und ihrer potentiellen NV gegenüber. Abschließend hilft ein Boxplot bei der Identifikation der Anzahl von Ausreißern, so dass zügig ein Eindruck über die Verteilung gewonnen werden kann.

Tabelle 23: Prüfung der Variablen "Gewicht" auf Normalverteilung innerhalb der Stichprobe mittels drei statistischer Tests von Shapiro, Anderson Darling und Pearson.

Statistischer Test	Prüfgröße	p	Normalverteilungsannahme
Shapiro-Wilk	W=0,993	0,05698	normalverteilt
Anderson-Darling	A=0,7413	0,05312	normalverteilt
Pearson Chi-Quadrat	P=30,3431	0,06448	normalverteilt

In der Statistik haben sich einige Tests etabliert, die zur Überprüfung einer NV Anwendung finden. Diese besitzen unterschiedliche Schwachstellen und sind bzgl. gewisser Datenstrukturen mehr oder weniger robust. Eine mathematische Begründung würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, es sei jedoch darauf hingewiesen, dass drei Tests zur Anwendung kommen (Tabelle 23), wobei sich der Shapiro-Wilk Test als der geeignetste Test zur Evaluation auch kleiner Stichprobengrößen erweist. Eine Entscheidung über das Vorliegen einer NV (Tabelle 24) erfolgt also im Rahmen der Plots sowie der Mehrheitsentscheidung aufgezeigter statistischer Verfahren.

Tabelle 24: Prüfung der Variablen "Gewicht" auf Normalverteilung innerhalb der gebildeten Subgruppen (Subsets).

Subset + Ausprägung	Shapiro (p)	Anderson (p)	Pearson (p)	Normalverteilungsannahme
<b>Gender</b>				
w	0,024	0,125	0,602	normalverteilt
m	0,101	0,103	0,512	normalverteilt
<b>Spielposition</b>				
AA	0,403	0,770	0,592	normalverteilt
D	0,472	0,657	0,349	normalverteilt
L	0,410	0,681	0,861	normalverteilt
MB	0,039	0,154	0,490	normalverteilt
U	0,492	0,320	0,395	normalverteilt
Z	0,392	0,513	0,101	normalverteilt
<b>Rückenbeschwerden</b>				
nein	0,719	0,811	0,892	normalverteilt
ja	0,024	0,007	0,023	nicht normalverteilt
<b>Liga</b>				
1.	0,243	0,104	0,230	normalverteilt
2.	0,001	0,003	0,138	nicht normalverteilt
<b>Profi</b>				
nein	0,956	0,019	0,093	nicht normalverteilt
ja	0,093	0,869	0,855	normalverteilt
<b>Altersgruppe</b>				
<18	0,178	0,126	0,173	normalverteilt
>=18	0,211	0,196	0,484	normalverteilt

Auf Basis dieses Vorgehens erfolgt weiterführend die jeweilige Entscheidung über die Verwendung nicht-/parametrischer Tests zur Analyse der einzelnen Variablen innerhalb der spezifischen Subgruppen.

Der angesprochene Mardia-Koeffizient zur Überprüfung der multivariaten Normalverteilung der Daten betrachtet die Wölbung und Schiefe der Verteilungen der untersuchten UVs inklusive ihrer Standardabweichungen. „Dividiert man die empirisch ermittelten Koeffizienten durch den Standardfehler, so erhält man die sog. Critical

ratios“ (Weiber & Mühlhaus, 2014, S.181). Dieser mittlerweile in der klinischen Medizin gebräuchliche Test überprüft zum einen die Schiefe im Vergleich zu einer Chi<sup>2</sup>-verteilten Größe in Abhängigkeit der Anzahl der zu berücksichtigenden Variablen und zum anderen die Wölbung anhand einer NV (Dimitrov, 2012, S.103). Hierbei ist nach Berechnung besagten Parameters die Annahme auf Multinormalverteilung für den vorliegenden Datensatz abzulehnen. Die Grundbedingungen für die Durchführung einer Diskriminanzanalyse sind demnach nicht erfüllt. Die logistische Regressionsanalyse hingegen ist als robuster anzusehen und bedarf nicht zwingend einer multivariaten NV (Loose, 2004). Aus diesem Anlass wird in den folgenden Kapiteln die logistische Regression der Diskriminanzanalyse vorgezogen.

Zunächst sollen die im Forschungsgeschehen gängigen statistischen Tests nur bzgl. ihrer Anwendungsbegründung innerhalb der hier dargelegten Studienarbeit Erläuterung finden, da das Hauptaugenmerk auf der logistischen Regression (eingehendere Erläuterung im folgenden Kapitel) liegt. Differenzierte Betrachtungen/Erklärungen der Verfahren und Tests der deskriptiven Statistik finden sich in zahlreichen Publikationen u.a. Ahlers „Einführung in die Statistik mit R“ (2008) oder „Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler (Bühner & Ziegler, 2009). Ahlers (2008) beschränkt sich nicht nur auf die Einführung und Darstellung uni-/multivariater Vorgehensweisen, sondern schildert insbesondere deren praktische Umsetzung. Cramérs hingegen legt in seinem Werk „Mathematical Methods of Statistics“ (1999) den Fokus mehr auf die mathematischen Modelle und Konzepte, welche als theoretischer Hintergrund der Analysen zu verstehen sind. Ergänzend hierzu empfiehlt sich u.a. Bulmers „Principles of Statistics (1979), welches die Lücke zwischen den beiden genannten Extrema zu schließen vermag.

Die einfache Varianzanalyse (ANOVA) dient der Erklärung der geschätzten Varianz innerhalb einer Variablen ( $x$ ) durch einen Parameter mit  $k > 2$  Ausprägungsgraden. Vereinfacht dargestellt wird anhand der Zerlegung einzelner Beobachtungen in drei Komponenten (Gesamtmittel ( $\mu$ ), Differenz des Stichprobenmittels vom Gesamtmittel ( $\mu_i - \mu$ ), Differenz der Ausprägung der Beobachtung bzgl. des Stichprobenmittels ( $x - \mu_i$ )) die Streuung zwischen und innerhalb der Stichproben zur Erklärung der Varianz der Gesamtstreuung herangezogen (als Summe aus der Varianz von ( $\mu_i - \mu$ ) & ( $x - \mu_i$ )), Ahlers, 2008, S.100f). Dabei erhält die Anzahl der zugrundeliegenden Gruppen des beobachteten Parameters (z. B. Spielposition) eine entscheidende Rolle, da insbesondere geprüft wird, ob Häufigkeit und Definition der Ausprägungen einen Einfluss auf die Variable besitzen. Adäquat hierzu existiert eine Erweiterung (MANOVA), welche die Varianzunterschiede einer weitaus erhöhten Anzahl unabhängiger und einer abhängigen Variablen erklärt. Der Chi-Quadrat, t-Test sowie der Mann-Whitney-Test sind gängige Untersuchungen der wissenschaftlichen Praxis im Rahmen von Verteilungsprüfungen bzw. Mittelwertvergleichen normalverteilter/nicht-normalverteilter Variablen und werden daher nicht weiter erläutert, wenngleich diese Anwendung fanden.

### 3.14.7 *Logistische Regressionsanalyse*

Ziel dieser Untersuchung ist u.a. die Identifikation von Risikofaktoren (diverse unabhängige Parameter), welche sich für das Auftreten der abhängigen Variablen Rückenschmerz mit dichotomer Ausprägung (ja/nein) verantwortlich zeigen. Es gilt also den Einfluss einzelner Parameter auf die Wahrscheinlichkeit, an Rückenschmerz zu erkranken, zu evaluieren. Der Grad sowie die Art des Zusammenhangs werden vereinfacht durch die isolierte Betrachtung der Interaktionen der unabhängigen und der abhängigen Variablen bei konstant bleibenden Restvariablen dargestellt (siehe 3.4 Operationalisierung der Prädiktoren). Derart univariate Beziehungen lassen sich durch eine standardisierte Geradengleichung beschreiben [60], welche sich als Regressionsgerade durch die Merkmalsausprägungen (im kartesischen Koordinatensystem von  $x$  und  $y$ ) ergibt (ähnlich einer Korrelationsfunktion). Die dichotome Ausprägung der Zielgröße ( $y \in [0,1]$ ) erübrigt einen linearen Zusammenhang, da der Ergebnisraum keine Werte zwischen den binären Ziffern akzeptiert. Im Falle einer Regressionsanalyse bedeutet dies, dass hier das einfache lineare Modell (lineare Regression) um die sog. *Logistische Transformation* erweitert werden muss (Leonhart, 2009, S.328). Vereinfacht ausgedrückt wird der einzelne Zusammenhang zunächst als eine lineare Funktion folgender Gleichung angesehen und anschließend transformiert, so dass die Darstellung der Merkmalsausprägungen  $X$  als Wahrscheinlichkeiten des Eintretens der Zielvariable möglich wird:

$P = a + bx$	[60]
--------------	------

Mit  $P$  als Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Zielgröße,  $a$  als konstante und  $b$  der Steigung der Regressionsgeraden sowie  $x$  der Ausprägung der unabhängigen Variablen. Die angesprochene Transformation erlaubt die Darstellung der Merkmalsausprägung der Zielgröße als Wahrscheinlichkeit über den Logit:

$P(x) = \frac{e^{a+bx}}{1 + e^{a+bx}}$	[61]
--	------

Das anschließende Linearisieren der Funktion aus [61] ermöglicht die einfache Darstellung des Zusammenhangs anhand folgender Funktion:

$\log(P(x)) = a + bx$	[62]
-----------------------	------

Eine derartige Transformation birgt nicht nur die Möglichkeit Merkmalsausprägungen einer dichotomen Variable adäquat darzustellen, sondern ermöglicht ebenso die Berücksichtigung eventuell auftretender negativer Werte zur Erklärung der Varianz der AV (Leonhart, 2009, S.328). Das Verhältnis der Odds wird basierend auf seiner Definition so stets positiv:

$$odds = \frac{P}{1 - p}$$

[63]

Durch die getätigte Transformation sind also auch Werte des Bereichs  $[+\infty, -\infty]$  möglich und gewinnen an Interpretierbarkeit bzw. praktischer Relevanz (Leonhart, 2009, S.328). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass der y-Achsen Abschnitt  $a$  (*intercept*) und die Steigung  $b$  (*slope*) der Geradengleichungen lediglich geschätzt werden können (Eid et al., 2013, S.767f). Dies erfolgt mit Hilfe der Maximum Likelihood Methode, welche den zu berechnenden Parameter aufgrund der tatsächlichen, empirisch ermittelten Ausprägungen der Ursprungsvariablen evaluiert (ähnlich der Methode der kleinsten Quadrate; Blobel, Volker & Lohrmann, 1998). Dabei wird zunächst eine Schätzung der Variablen  $a$  und  $b$  vorgenommen, bevor das logistische Regressionsverfahren Anwendung findet.

Die Auswahl der Prädiktoren für das generalisierte lineare Modell zur Beschreibung einer dichotomen Variablen erfolgt über die isolierte Berechnung der einzelnen Einflüsse der Prädiktoren auf das Outcome. So wird zunächst über ein einfaches lineares Regressionsmodell die Stärke des Zusammenhangs separat für jeden Faktor ermittelt und anschließend (bei geeigneter statistischer Signifikanz) dieser in das Gesamtmodell integriert. Hierbei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass der klassische p-Wert von 0,05 keineswegs als Fixum angesehen werden muss. Vielmehr gilt es das Modell auch gegenüber seiner praktischen Relevanz zu prüfen und ggfls. zu erweitern. Neben dem Hauptmodell, welches auf allen signifikanten Faktoren beruht, werden so vier weitere Modelle aufgestellt (Modell 2-5), die einerseits durch eine Erweiterung der Signifikanzgrenzen aufgestellt (Modell 2+4) bzw. durch Orientierung an der Vorwärts- bzw. Rückwärtsselektion über das Akaike-Informationskriterium (AIC) optimiert wurden (Modelle 3,4+5).

Der Vorteil der multivariaten Analyse liegt in der Offenlegung sog. *Scheinkorrelationen (confounding)*, die zwischen der bloßen Betrachtung des Zusammenhangs zweier Variablen auftreten können. Folgendes nach Kähler (2011, S.180) adaptierte Beispiel soll dies verdeutlichen; dabei handelt es sich um den scheinbaren Zusammenhang zwischen der Sprunghöhe der Athleten im Volleyball und den erzielten Punkten (zur Vereinfachung hier nur oberflächlich operationalisiert):

Tabelle 25: Beispiel einer statistischen Scheinkorrelation; adaptiert nach Kähler, 2011, S.180.

		Erzielte Punkte	
		<10	>10
Sprunghöhe	<25cm	101	20
	>25cm	20	101

Aus praktischer Sicht interessiert jedoch noch mindestens ein weiterer Faktor, der einen Einfluss auf die Erfolgsquote haben kann, indem er sich scheinbar unabhängig von der Sprunghöhe definiert: „Anzahl beteiligter Blockspieler“. Berücksichtigt

man die differenzierten Verteilungen, so scheint nun die dritte Variable einen Interaktionseffekt auszuüben. In diesem Beispiel bivariater Variablen lässt sich der Grad des statistischen Zusammenhangs über Gamma ( $\gamma$ , Goodman, Kruskal) und damit der Relation der konkordanten ( $N_c$ , Zellen der Hauptdiagonalen, l.o. + r.u.) zu diskordanten ( $N_d$ , Zellen der Nebendiagonalen, l.u. + r.o.) Paare beschreiben (Kähler, 2011, S.124f). So berechnet sich Gamma aus:

$N_c = 101 * 101 = 10201$	[64]
$N_d = 20 * 20 = 400$	[65]
$\gamma = \frac{N_c - N_d}{N_c + N_d} = \frac{10201 - 400}{10201 + 400} = 0,92$	[66]

Demnach würde ein positiver statistischer Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen bestehen. Berücksichtigt man jedoch nun einen weiteren Faktor (Tabelle 26) und errechnet das resultierende Gamma ([67] & [68]), ergibt sich ein neues Bild, welches gegen einen statistischen Zusammenhang der Ursprungsvariablen spricht:

$\gamma_{Ein} = \frac{N_c - N_d}{N_c + N_d} = \frac{100 - 100}{100 + 100} = 0$	[67]
$\gamma_{Dop} = \frac{N_c - N_d}{N_c + N_d} = \frac{100 - 100}{100 + 100} = 0$	[68]

Tabelle 26: Integration der Drittvariable "Anzahl beteiligter Blockspieler" in den Zusammenhang zwischen der Sprunghöhe und den erzielten Punkten im Volleyball.

Einerblock		Erzielte Punkte	
		<10	>10
Sprunghöhe	<25cm	1	10
	>25cm	10	100
Doppelblock		Erzielte Punkte	
		<10	>10
Sprunghöhe	<25cm	100	10
	>25cm	10	1

Es lässt sich also konstatieren, dass "möglichst viele Merkmale, die als Drittvariablen möglicherweise einen Einfluss auf eine statistische Beziehung zweier Merkmale ausüben könnten, in die empirische Untersuchung einbezogen werden" sollten (Kähler, 2011, S.182).

Um dies zu bewerkstelligen, werden sämtliche Prädiktoren zunächst isoliert bzgl. ihrer Verbindung mit dem Main-Outcome betrachtet und anschließend in Paaren untersucht. Zusätzlich wird anhand der schrittweisen logistischen Regression die Co-Korrelation einzelner Variablen einschätzbar, indem sich überprüfen lässt, wie stark der Einfluss eines Faktors auf das Outcome im direkten Vergleich zum Einfluss des Gesamtverbunds differiert. So lassen sich anhand der Matrizen Zusammenhänge erahnen, welche im Verlauf der logistischen Analyse und weiterer univariater Tests überprüft werden können (Hilbe, 2015).

### 3.14.8 *Darstellung multivariater Abhängigkeiten*

Die Illustration multifaktorieller Zusammenhänge stellt, bezogen auf den unterschiedlich starken Einfluss korrelierender Faktoren, eine große Herausforderung dar. Zur graphischen Lösung derartiger multivariater Abhängigkeiten haben sich daher v.a. in der Medizin Nomogramme als gängige Hilfsmittel erwiesen und können einen beliebigen Komplexitätsgrad aufweisen.

Sogenannte *Leitertafeln* sind in der Lage „auch Probleme [zu] lösen, für die sonst iterative Computerberechnungen notwendig wären“ (Haller, 2015, S.1), indem Prädiktoren bivariater abhängiger Variablen graphisch skaliert abgebildet werden. Auf Basis der logistischen Regressionskoeffizienten wird der Faktor mit dem größten Einfluss als Richtwert (100 Punkte) zur Orientierung der übrigen Faktoren verwendet. Eine Beurteilung der restlichen Prädiktoren erfolgt so in Relation zum Einfluss des Hauptprädiktors. „Vorhergesagte Wahrscheinlichkeiten linearer oder exponentieller Funktionen lassen sich so trivial ermessen“ (Yang, 2013, S.1). Die Anwendung ist größtenteils intuitiv und soll im Folgenden anhand des bereits publizierten Nomogramms zur Einschätzung von RB im Nachwuchsfußball exemplarisch illustriert werden (Abbildung 29).

Jeder Ausprägung innerhalb der Prädiktoren ist ein Punktwert zugeordnet, der über eine lineare Verbindung herzustellen ist (BMI=28 entspricht 10 Punkten, 4 Jahre Trainingserfahrung entspricht 20 Punkten, usw.). Diese einzelnen Werte werden aufsummiert und über einen linearen Prädiktor (die Konstante in der Regressionsgleichung) verrechnet. Graphisch löst sich dies (in diesem Falle) über eine Lineare, welche vom Endwert der Summation zu einem Fixpunkt verläuft. Der Schnittpunkt mit der 3. Achse („Predicted Value“) ergibt den gesuchten p-Wert.

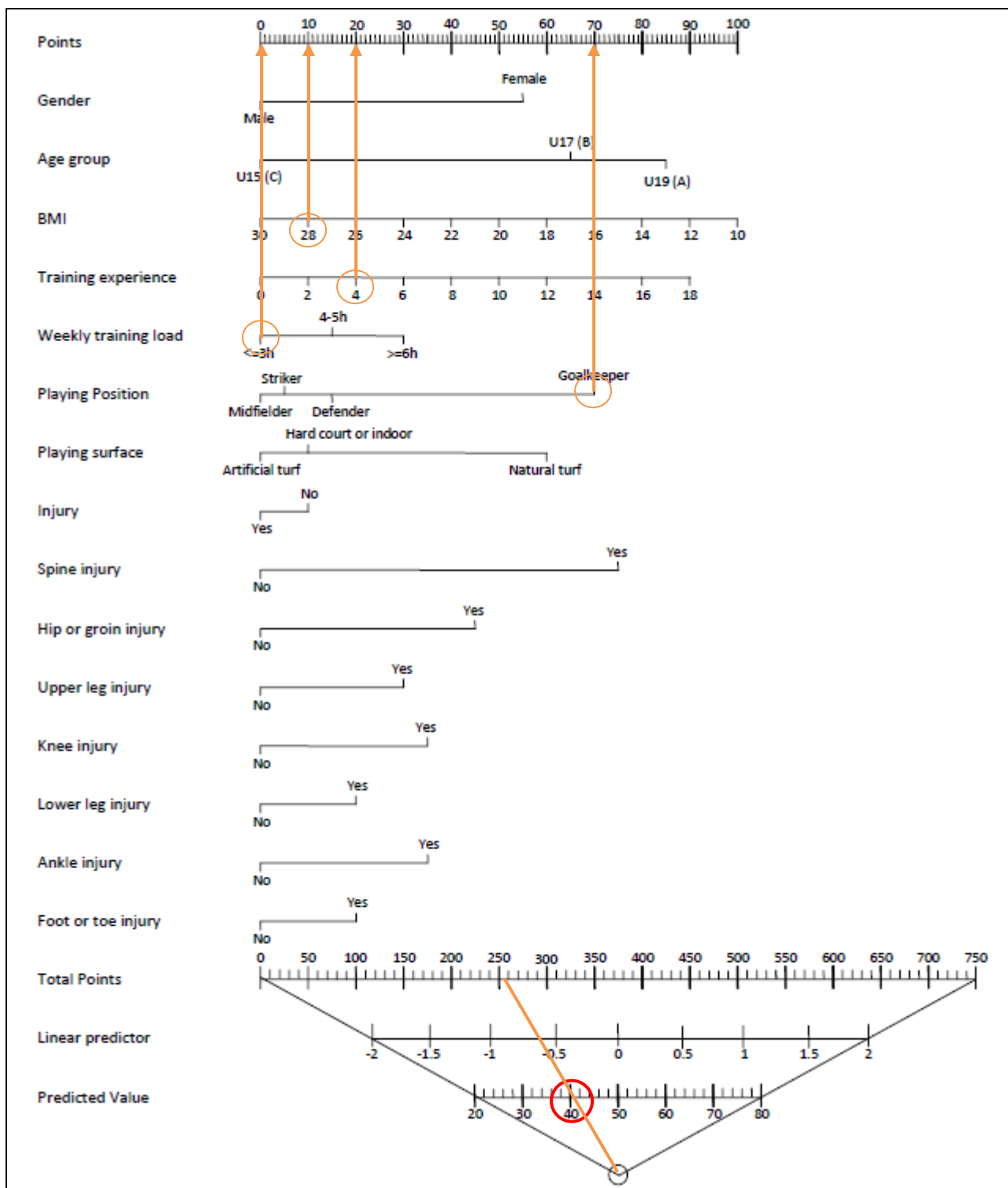


Abbildung 29: Nomogramm zur Evaluation des Rückenschmerz-Erkrankungsrisikos bei jugendlichen Fußballspielern, aus Haag et al., 2016, S.9.

In der Medizin lassen sich oft anhand chemisch nachweisbarer Schwellenwerte aus Blut oder Urin konkrete Erkrankungsrisiken berechnen (Blutzucker, Tumormarker, usw.). So wurden Nomogramme neben der Einschätzung von Metastasen bei Brust- oder Prostatakrebs (Van Zee et al., 2003, Stephenson et al., 2005), prä- oder postoperativ (Kattan, Eastham, Stapleton, Wheeler & Scardino, 1997; Stephen-



son et al., 2005), in pharmazeutischen Studien (Moellering, Krogstad & Greenblatt, 1981) oder aber bereits in der Sportwissenschaft bzgl. aerober Kapazität oder RB im Fußballsport (Astrand & Ryhmin, 1954, Haag et al., 2015) angewandt. Die Aussagekraft sportwiss. Prädiktoren zur Beschreibung komplexer Phänomene hingegen ist häufig limitiert, da das Wissen um die Validität der Messmethoden beschränkt ist. So lassen sich selten physische bzw. dynamische Testgrößen einwandfrei auf singuläre Ursachen zurückführen (Heinzer & Pummer, 2008). Beispielsweise ist der COP eine anerkannte Größe in der Beurteilung der posturalen Stabilität. Ob die ausgleichende Aktivität des oberen Sprunggelenks, die stabilisierende Wirkung der hüftumgebenden Muskulatur oder aber die Gleichgewichtsfähigkeit über das Innenohr spezifiziert wird, ist jedoch unklar. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der Postvalidierung erstellter Nomogramme insbesondere im sportmedizinischen Kontext.

## 4 Ergebnisse

Das folgende Kapitel stellt die mittels der dargelegten Methodik gewonnenen Ergebnisse umfassend dar. Im Rahmen des Promotionsprozesses sind folgende Abschlussarbeiten zu nennen, welche sich mit der deskriptiven Darstellung von Variablen der Untersuchung beschäftigen und bereits im Vorwort konkret differenziert wurden: die Bachelorarbeit von Johannes Kessler zur Differenzierung der Sprunghöhen zwischen 1. und 2. Ligen, Lena Himmelreichs Bachelorarbeit zur Erstellung einer Normwerttabelle für die Wirbelsäulenform von Volleyballern der 1. und 2. Ligen und die Dissertationsschrift zur Erlangung des Dr. med. von Judith Kirmeyer bzgl. der Verletzungsmuster im Volleyball. Zunächst erfolgt eine deskriptive Darstellung der Variablen im Zusammenhang ausgewählter Subsets (Geschlecht, Spielposition, Spielniveau und Berufsklasse), bevor die inferenzstatistischen Tests Anwendung finden. In diesem Rahmen werden auch die Daten der logistischen Regression dargelegt, welche als Ziel dieser Arbeit die Prädiktoren für RB im Volleyball herausstellen. Das Kapitel schließt mit der Erstellung des Nomogramms, bevor die Diskussion den Abgleich der Resultate mit den Befunden der aktuellen Forschungsliteratur erlaubt.

### 4.1 Verletzungen im Volleyball

Verletzungsstatistiken sind, wie Anfangs erwähnt, ausgiebig in Kirmeyer (2015) enthalten und sollen daher nicht Gegenstand dieser Untersuchung sein, weshalb hier lediglich die Kombination zwischen RB und den jeweiligen Lokalisationen sportartinduzierter Traumata erfolgt. Insgesamt wurden 436 Beschwerden (325 Traumata, 111 RB,) bei 170 der 205 befragten Athleten innerhalb der Karriere diagnostiziert. Am häufigsten litten die Sportler an Sprunggelenksverletzungen sowie RB (~24%, Abbildung 30). Schulter-/Kniebeschwerden implizieren sowohl akute Traumata als auch Überlastungsschäden (z. B. Jumpers Knee) und bilden damit ebenfalls einen hohen Anteil der Verletzungen (12%/15%). In der Kohorte haben sich Frauen (74,6%) und Männer (76,9%) annähernd identisch häufig eine Verletzung zugezogen und werden daher im Folgenden als Gesamtkollektiv behandelt. Auf geschlechtsspezifische Häufungen bestimmter Verletzungsarten/-Lokalisationen wird aber vereinzelt hingewiesen.

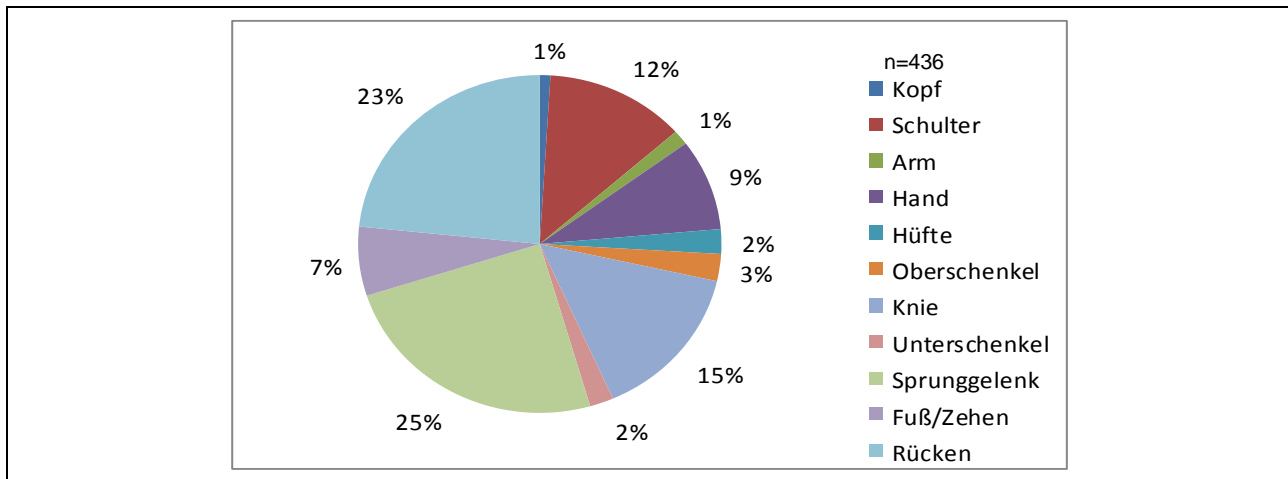


Abbildung 30: Lokalisation der Beschwerden aller befragten Volleyballer, kaudal sortiert (Rücken explizit).

Die Analyse der Verletzungshäufigkeiten offenbart eine ca. 62 prozentige (201/325) Koexistenz von Traumata und Rückenschmerzen. Je kaudaler ein Trauma zu verzeichnen ist, desto eher tritt es in der hier untersuchten Stichprobe als isolierte Verletzung auf, welche jedoch lediglich 11,4% aller Fälle ausmachen (ohne Verletzungen andernorts). Zusätzlich zu der hohen Anzahl multipler Traumata zeigt sich ein Zusammenhang von Hüftverletzungen in Verbindung mit Rückenschmerzen (Abbildung 31). Weder geschlechtsspezifisch noch im Ligen-Unterschied konnte jedoch ein sonstiger signifikanter und anatomisch erklärbarer Zusammenhang zwischen der Lokalisation der Rückenbeschwerden und Traumata nachgewiesen werden.

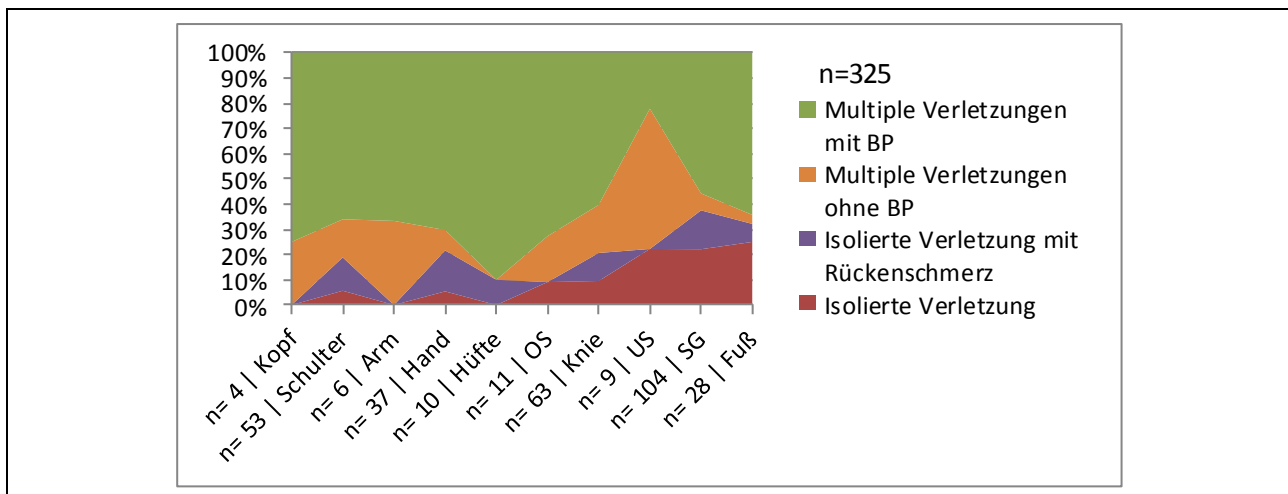


Abbildung 31: Die Häufigkeit multipler Beschwerden inklusive/exklusive RB.

## 4.2 Typisierung von Rückenschmerzen innerhalb der Kohorte

Zum Zeitpunkt der Erhebung litten 19% unter akuten Beschwerden, waren aber dennoch aktiv im Volleyball tätig. Ein Verdacht auf einen Prolaps oder eine Protrusion der vertebrae ist laut der ebenfalls erhobenen ‚red flags‘ (Della-Giustina, 2013)

nicht gegeben. Insgesamt wurden nur neun WS Traumata angegeben, von denen 6 mit chronischem Schmerz einhergingen (eventuelle Chronifizierung). Abbildung 32 kennzeichnet den Zeitraum der letzten Rückenschmerzepisode inklusive der betroffenen Region. Zur Verringerung des Einflusses erinnerungsinduzierter Bias wurden in der Berücksichtigung der Lokalisation und Intensität lediglich Daten der vergangenen zwölf Monate ab Erhebungszeitpunkt integriert. Im Mittel verzeichneten die Athleten einen Akutschmerz der VAS Skala in Höhe von 1,3 (sd=1,7), wohingegen der durchschnittliche Schmerz mit 3,8 (2,0) und der maximale Schmerz mit 6,4 (2,2) eingeordnet wurden. Im Mittel leiden die Teilnehmer seit 4,5 Jahren an persistierenden Beschwerden (maximale Dauer: seit 2005).

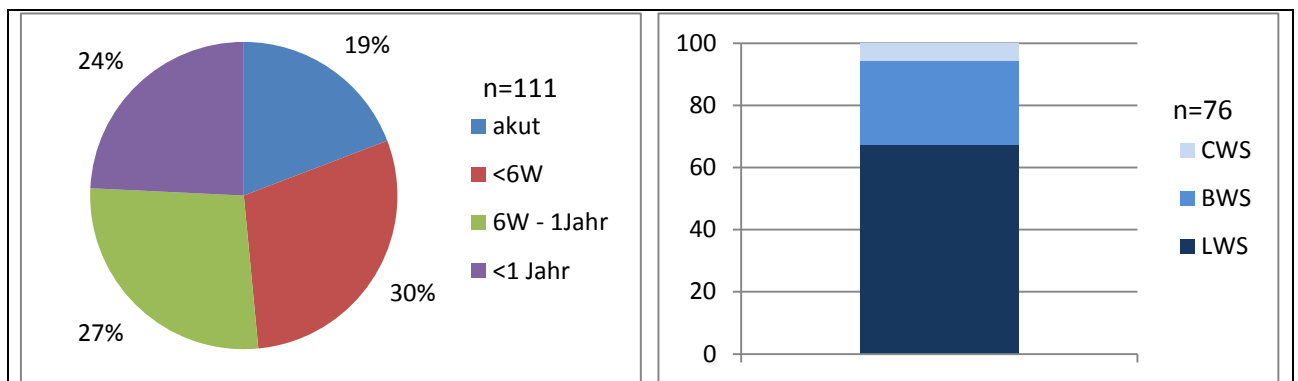


Abbildung 32: Zeitraum (links) kombiniert mit der Lokalisation der Beschwerden innerhalb eines Jahres zum Zeitpunkt der Befragung.

Es lassen sich signifikante Unterschiede in der Häufigkeit der RB innerhalb der Positionen aufzeigen ( $p < 0,01$ , Abbildung 33). Demnach sind insbesondere weibliche Mittelblocker und Zuspieler auffällig oft von RB geplagt. Bei den Herren scheinen hingegen Liberos am häufigsten von RB betroffen zu sein.

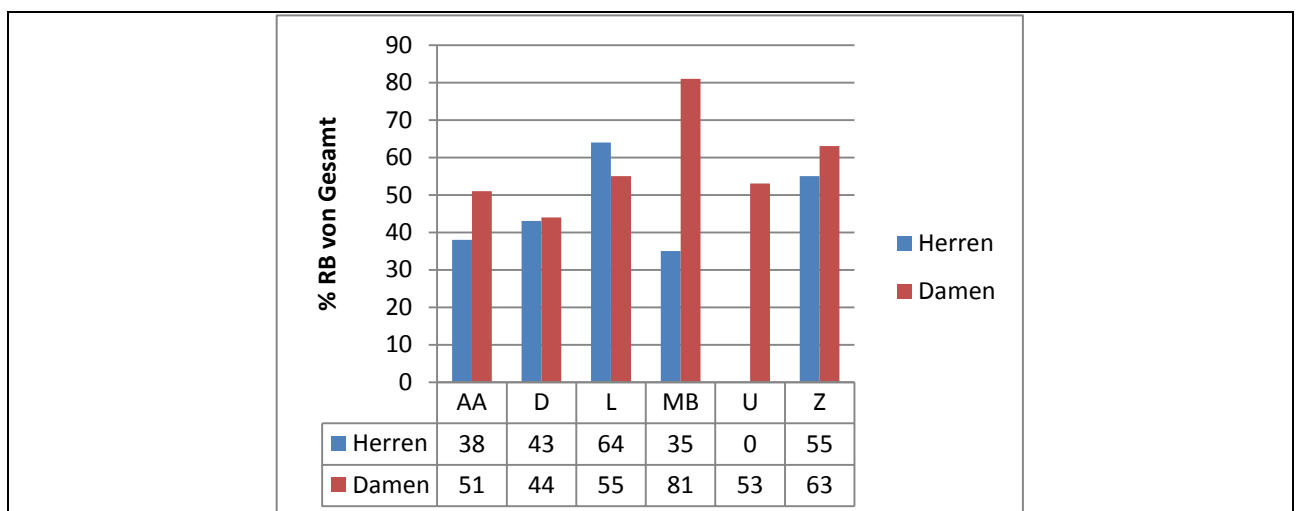


Abbildung 33: Positionsbezogene, prozentuale Häufigkeit von RB in der geschlechtsdifferenzierten Betrachtung.

Die Dauer wiederkehrender Schmerzepisoden lag im Durchschnitt bei mehreren Stunden bis zu einem Tag (Abbildung 34). Damen und Herren ließen kein unterschiedliches Schmerzverhalten erkennen, wobei die Symptome der Athleten fast ausschließlich mit stechendem Schmerz und Bewegungseinschränkungen beschrieben wurden. Eine signifikante Beeinträchtigung des Alltags oder der sportlichen und sozialen Aktivitäten konnte anhand der erhobenen Disability-Scores bei beiden Geschlechtern ausgeschlossen werden.

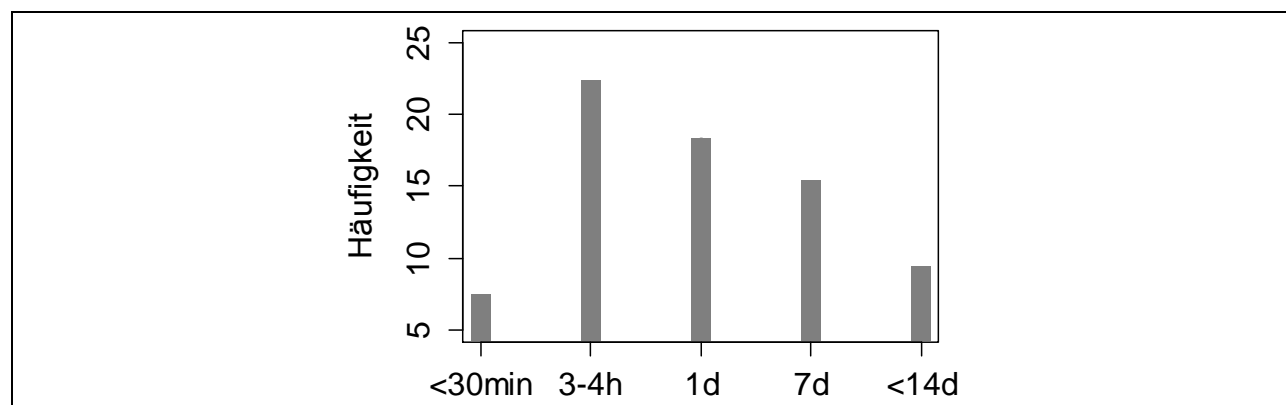


Abbildung 34: Dauer der Rückenbeschwerden innerhalb der Stichprobe.

Der überwiegende Anteil chronischer Rückenschmerzen liegt im lumbalen Bereich, dennoch sind über 20% der Beschwerden den thorakalen Segmenten zuzuordnen. In der Frontalebene liegen die Symptome zentral um/auf der Wirbelsäule mit leichter Linksschiefe der transversal-axialen Verteilungsfunktion (Abbildung 35). Ein lokaler Zusammenhang zwischen dem Lordoseapex und Schmerz ist nur bei 18 der 99 Athleten mit Rückenbeschwerden festzustellen. Die restlichen Sportler besitzen eine Distanz zwischen beiden Orientierungspunkten von über 10% des lumbalen Anteils der WS (bei durchschnittlich 175,4mm Lordoseanteil des Rückens) und werden daher als nicht korrelierend behandelt. Nur knapp ein Viertel (n=27) der betroffenen Athleten haben aufgrund der Schmerzen bereits einen Arzt aufgesucht, von welchen 95% mittels physiotherapeutischen Maßnahmen behandelt wurden. Die überwiegende Mehrheit der Athleten (n=62) therapiert sich nach Eigenangabe selbstständig über NSAR wie Ibuprofen oder Paracetamol in gängigen Dosierungen (bis 400mg).

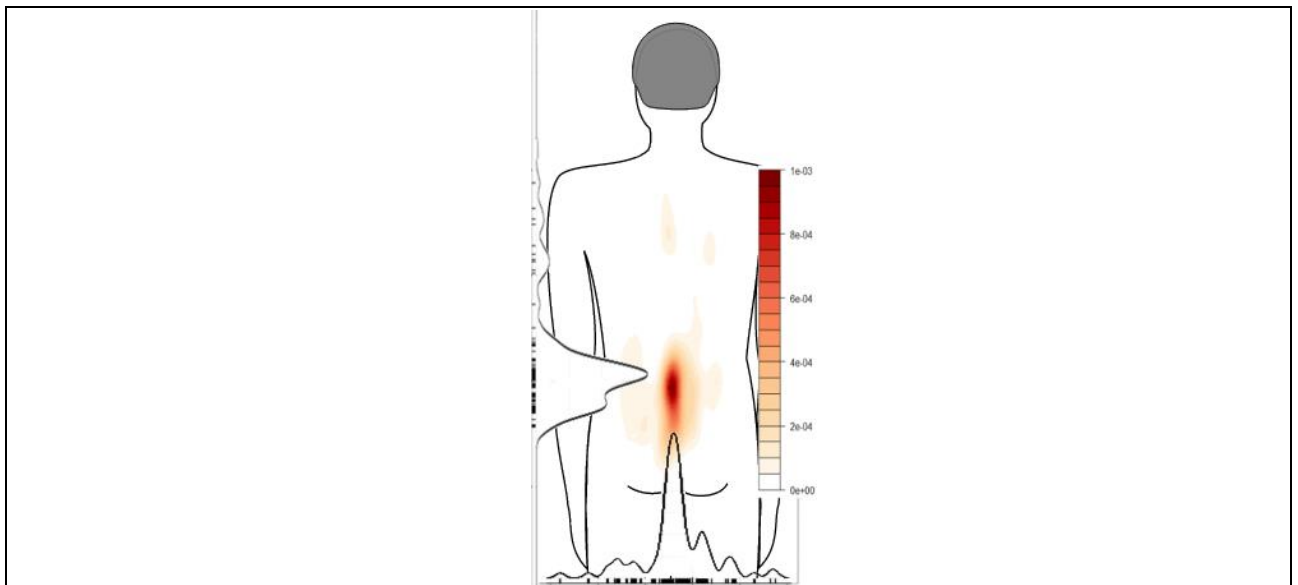


Abbildung 35: Heat-map über die Häufigkeitsverteilung der Lokalisation von Rückenschmerz.

Über die Hälfte der rüchenschmerzgeplagten (54/99) Volleyballspieler gaben an, bereits unter Schmerzen, mit einer durchschnittlichen Schmerzintensität von 4,8 (nach VAS,  $sd=1,8$ ), trainiert zu haben. Dabei ist der Schmerz während des Trainings höher als in Ruhe einzustufen (Abbildung 36). Jene Sportler, welche komplett mit dem Training aussetzen mussten, fehlten im Mittel in sechs Einheiten (im Jahr,  $n=37$ ,  $Min=1$ ,  $Max=24$ ,  $Median=3$ ,  $3.Quartil=10$ ), während die durchschnittliche Anzahl der Versäumnisse von Wettkämpfen bei 0,22 pro Jahr liegt ( $Max=9$ ).

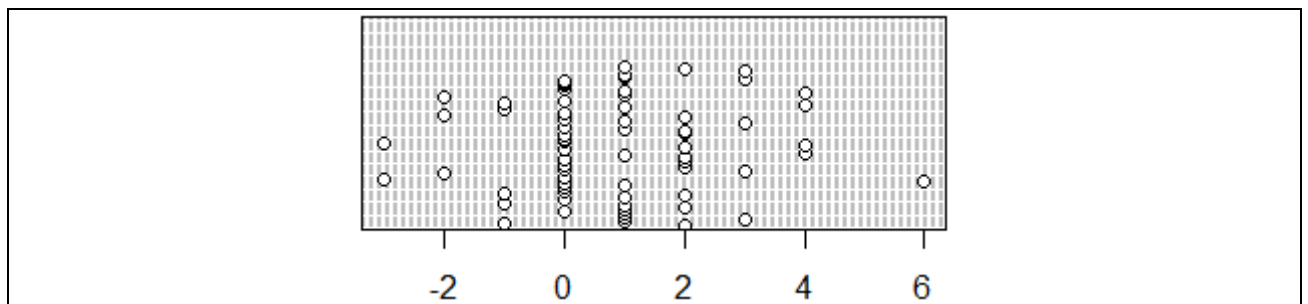


Abbildung 36: Differenz des subjektiv empfundenen Schmerzes während des Sports und in Ruhe ( $VAS_{Sport} - VAS_{Ruhe}$ ).

Bzgl. der Ausfallzeiten, Teiltrainings und Schmerzintensitäten lassen sich zwischen den Geschlechtern keine Unterschiede zeigen. Auch in der Reproduzierbarkeit der Schmerzen sind die subjektiv empfundenen Bewegungseinschränkungen gemäß Tabelle 27 von Herren und Damen identisch einzuordnen.

Tabelle 27: Disability-Score bzgl. der Reproduzierbarkeit der Schmerzen während dynamischen Rumpfbewegungen.

	Extension	Flexion	Landen	Lat.Flex	Rotation
mean	1,68	1,64	1,59	1,57	1,59
sd	0,80	0,74	0,67	0,68	0,67

Differenzen zeigen sich jedoch in der Beurteilung der Athleten bzgl. des Einflusses spezifischer Trainingsmethoden auf die Intensität der Beschwerden (Abbildung 37). Während das Ausdauertraining der Vorsaison kein eindeutiges Vorzeichen zu haben scheint, ist bzgl. Rumpfkraftübungen mit hohen Wiederholungszahlen sowie Dehnmethode ein Trend zur Schmerzreduktion zu verzeichnen. Sowohl sämtliche volleyballspezifischen Methoden des sportlichen Trainings (Technik, Taktik, Schnelligkeit, Komplex, Sprung/Angriff) als auch Krafttraining mit Gewichten scheinen hingegen einen negativen Einfluss auf die Rekurrenz von Rückenbeschwerden aufzuweisen (in Übereinstimmung mit Hodges, van den Hoorn, Dawson & Cholewicki, 2009).

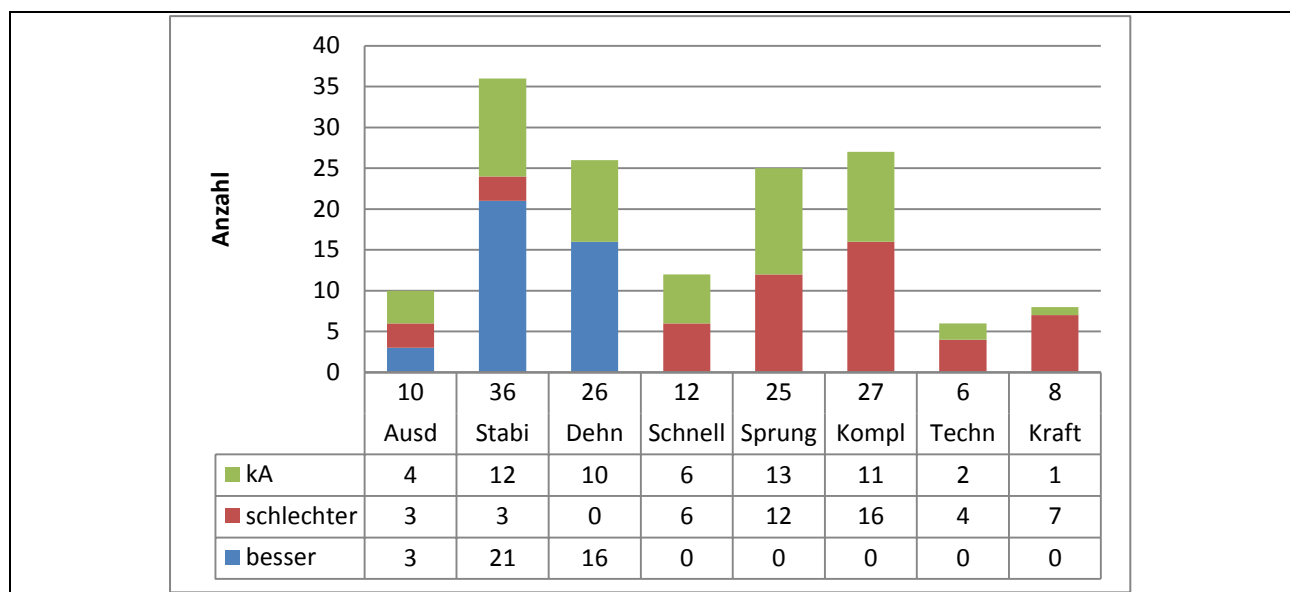


Abbildung 37: Subjektive Einschätzung der Athleten bzgl. des Einflusses spezifischen Trainings auf Rückenbeschwerden.

Anhand der ausgewählten Methodik und der statistischen Mittel lassen sich objektive Parameter identifizieren, welche für RB verantwortlich sein könnten. Da derartige Variablen jedoch stets mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit behaftet sind, wurde zusätzlich über den Fragebogen die subjektive Einschätzung der Athleten zur Entstehung ihrer Beschwerden abgefragt. Hierbei wurden weder geschlechter- noch positionsspezifisch Differenzen in den Häufigkeiten der Angaben sichtbar. Die aktive und langjährige Ausübung von Volleyball wird jedoch in der Mehrheit von allen Spielpositionen als ursächlich für die Entstehung von RB gesehen (Abbildung 38).

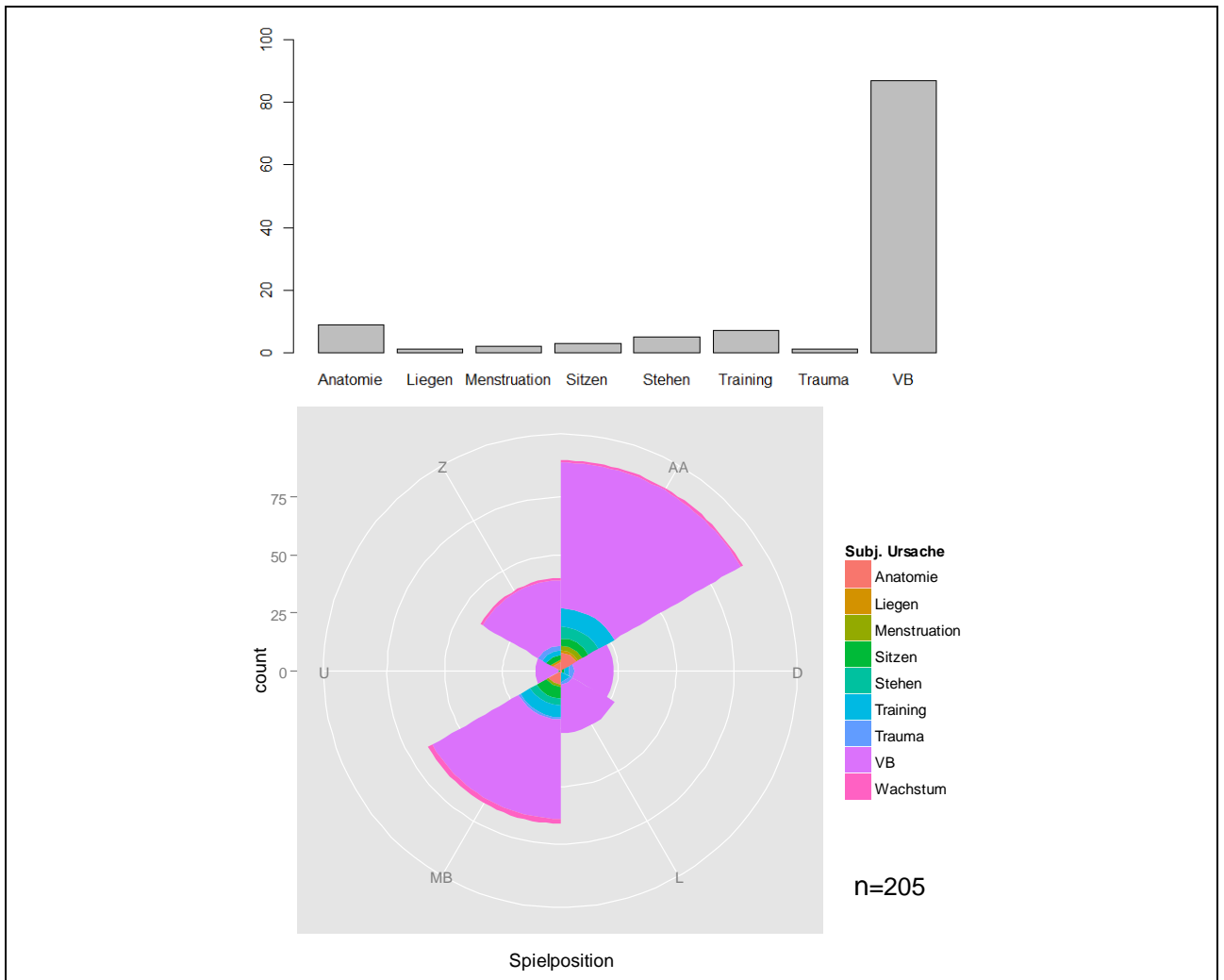


Abbildung 38: Subjektive Beurteilung der Athleten zur Ursache der Entstehung ihrer Rückenschmerzen für die gesamte Stichprobe (oben) sowie in Abhängigkeit der Spielposition (unten). Der Begriff ‚Training‘ bezeichnet hier die zusätzliche Betätigung in anderen Sportarten.

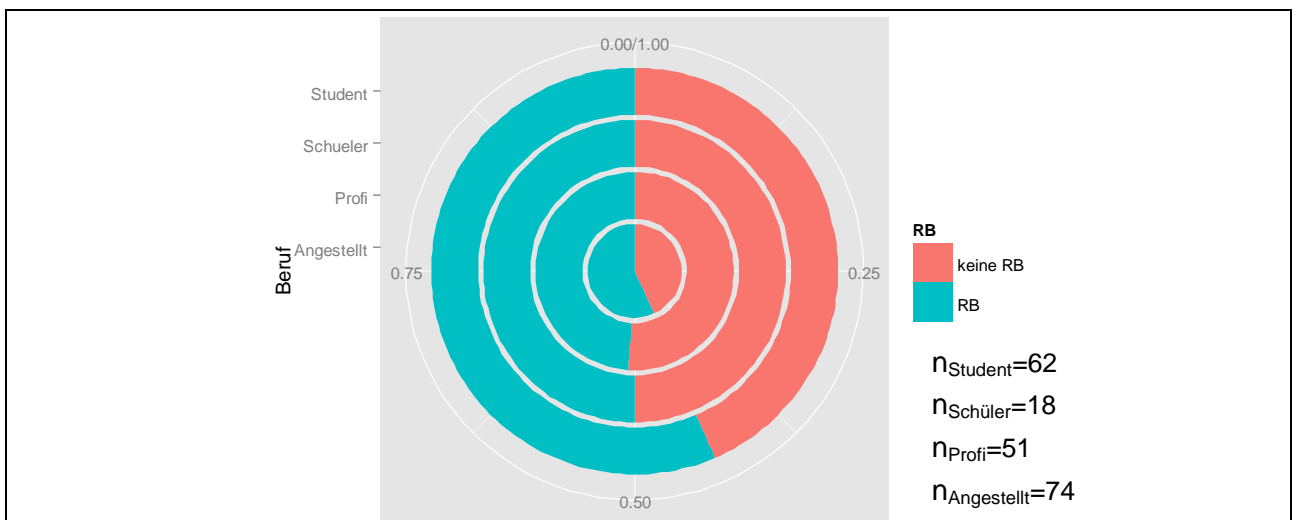


Abbildung 39: Häufigkeit von Rückenbeschwerden in Abhängigkeit der ausgeführten beruflichen Tätigkeit.



In Bezug auf die aktuelle berufliche Tätigkeit lässt sich ein leicht erhöhter (nicht signifikanter) Anteil an Rückenschmerzpatienten innerhalb der Studenten und Angestellten zu gleichen Teilen verzeichnen. Die Prävalenz von RB unter den befragten Athleten unterscheidet sich zwischen Profis und Nicht-Profis demnach nur um knapp 5-6% (Profis: 49%, Nicht-Profis 55%, Unterschied nicht signifikant).

### **4.3 Psychische Einflussfaktoren**

Die Auswirkung psychosozialer Parameter wie Stress oder Angst auf die Entstehung von RB lässt sich geeigneter Weise über die durch RB entstehenden Beeinträchtigungen sowohl auf beruflicher als auch sozialer Ebene ermessen. Die folgenden Erhebungsinstrumente (FABQ, HADS) sind dbzgl. international anerkannt.

Nach Analyse der 205 absolvierten Fragebögen konnten weder in den Antworten des FABQ noch des HADS eindeutige Anzeichen auf eine psychische Beeinflussung der Schmerzentstehung identifiziert werden. Auch die Einteilung der Batterien in Subskalen zur spezifischeren Diagnostik einerseits der Schmerzvermeidung im Beruf (FABQ-Items: 6,7,9,10,11,12,15; auffällig > 34/42) und physischen Aktivität (FABQ-Items: 2,3,4,5; auffällig > 14/24), andererseits der Angst (HADS-Items: 1,3,5,7,9,11,13) oder Depression (HADS-Items: 2,4,6,8,10,12,14; auffällig Gesamtscore > 11/42) ergab keine signifikanten Hinweise auf die Entstehung von Rückenbeschwerden. Vereinzelt wurden Grenzwerte verzeichnet (Crawford, Henry, Crombe & Taylor, 2001, Abbildung 40), welche jedoch bei differenzialdiagnostischer Betrachtung ebenfalls keinen Zusammenhang zu RB vermuten lassen (n=12, p=0.943).

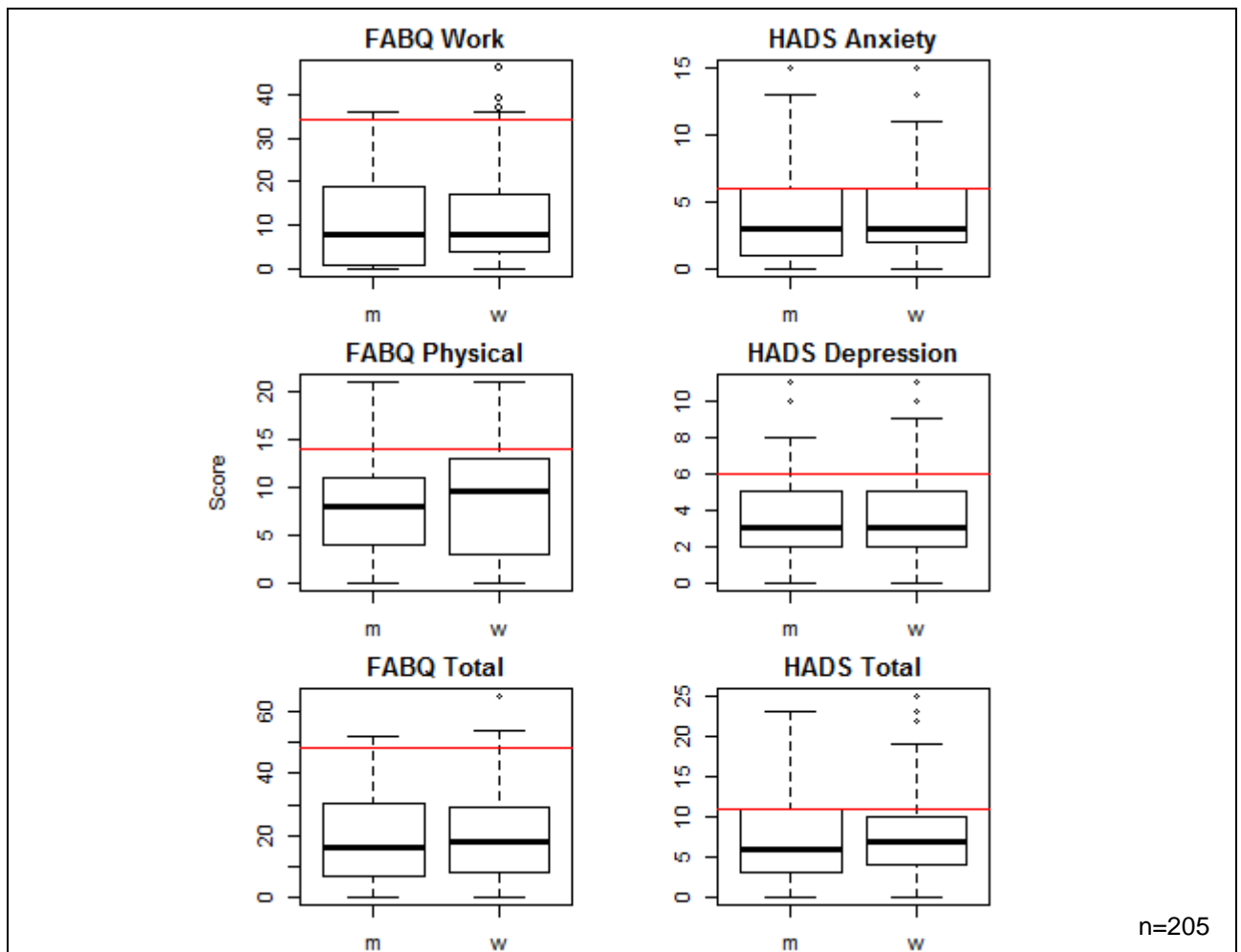


Abbildung 40: FABQ und HADS Subskalen/Gesamtscores der Volleyball-Stichprobe inklusive auffälliger cut-offs (rote Linien nach Crawford et al., 2001).

Eine Clusterung der Stichprobe in positions- oder berufsspezifische Untergruppen ergibt ebenfalls keine signifikanten Differenzen in der Ausprägung der untersuchten emotionalen Zustände. Obwohl der Einfluss psychosozialer Faktoren zur Entstehung von Rückenschmerzen in der Allgemeinbevölkerung nicht von der Hand zu weisen ist (u.a. Gatchel, Polatin & Mayer, 1995; Airaksinen et al., 2006), scheinen weder die Angstvermeidung noch Stress oder Depressionen im Hochleistungs-Volleyball für derartige Symptome ausschlaggebend. Auch die Berücksichtigung der Lebensumstände, insbesondere Wohnsituation, beruflicher Status, Rauchen oder die Gründung einer eigenen Familie, scheinen keinen Einfluss auszuüben. Selbst die Anzahl wöchentlicher Arbeitsstunden lässt bei Volleyballathleten keinen Rückschluss auf das Schmerzempfinden/-entstehung bzw. die psychische Stabilität zu.

#### 4.4 Anthropometrische Parameter

Die groben Charakteristika der Stichprobe sind bereits unter 3.3 *Kollektiv* dargelegt. Im Folgenden liegt der Fokus nunmehr auf der Aufarbeitung der Daten bezüglich ihrer prädiktiven Eigenschaft für RB und den subgruppenspezifischen Differenzen.

#### 4.4.1 Gewicht / BMI / Größe

Zwar unterscheiden sich die Körpergrößen und –massen signifikant innerhalb der Geschlechter und Spielpositionen ( $***p < 0,001$ , Abbildung 41), ein Einfluss auf die Entstehung von RB scheinen diese Parameter jedoch nicht zu besitzen. Es lässt sich auch kein Cut-Off Wert verzeichnen, welcher evtl. den Anstieg einer RB Prävalenz ab einer extremen Körperhöhe markieren würde.

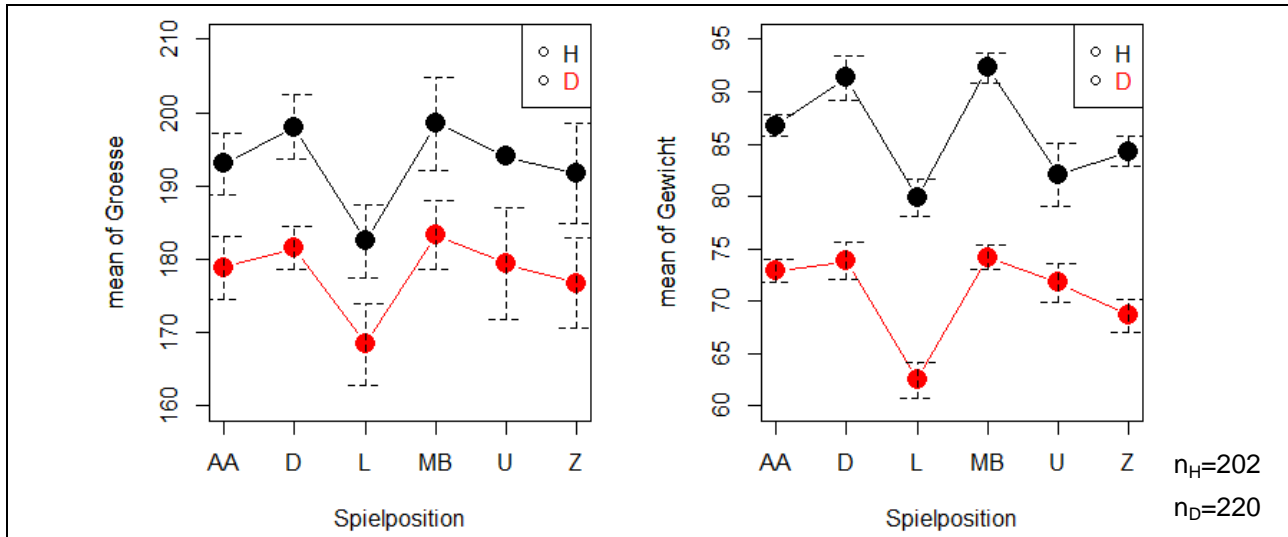


Abbildung 41: Mittelwerte und Standardabweichungen der Körpergröße (links) und Körpermassen (rechts) in Relation zur aktiv ausgeführten Spielposition im Hallenvolleyball, getrennt nach Geschlechtern.

Erkennbar sind fast identische Verteilungen der Größen und Massenverhältnisse bei den Herren und Damen zwischen den Spielpositionen. Dabei stellen Liberos und Zuspieler die kleinsten und leichtesten (von der Gewichtskraft ausgehend) Athleten dar. Eine Differenzierung der Körperverhältnisse basierend auf dem aktuellen Spielniveau der Sportler ist in Abbildung 42 erkennbar.

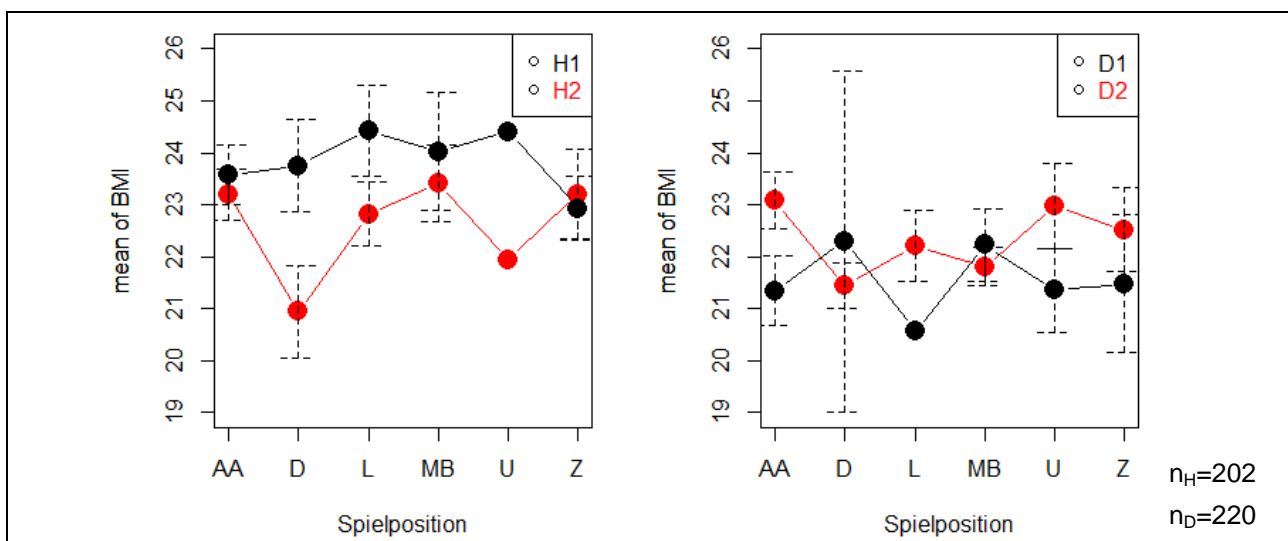


Abbildung 42: Vergleich der Body Mass Indices aller Spielpositionen in Abhängigkeit des Spielniveaus differenziert nach Geschlechtern (Herren links, Damen rechts).

Während die Herren der ersten sich signifikant schwerer als die der zweiten Liga herausstellen (t-Test,  $n=205$ ,  $p<0,001$ , mean Liga 1: 89,61kg, Liga 2: 84,66kg), zeigt sich bei den Damen ein konträres Bild. Die Indices der Zweitliga-Damen sind im Durchschnitt deutlich höher als jene der Erstligistinnen. Zudem scheinen sowohl Liberos als auch Zuspieler der zweiten Liga (Damen und Herren) höhere BMIs aufzuweisen, als es anteilmäßig im höheren Leistungsniveau zu erkennen ist. Dabei lässt sich jedoch kein signifikanter Zusammenhang eines höheren BMIs zu RB herstellen.

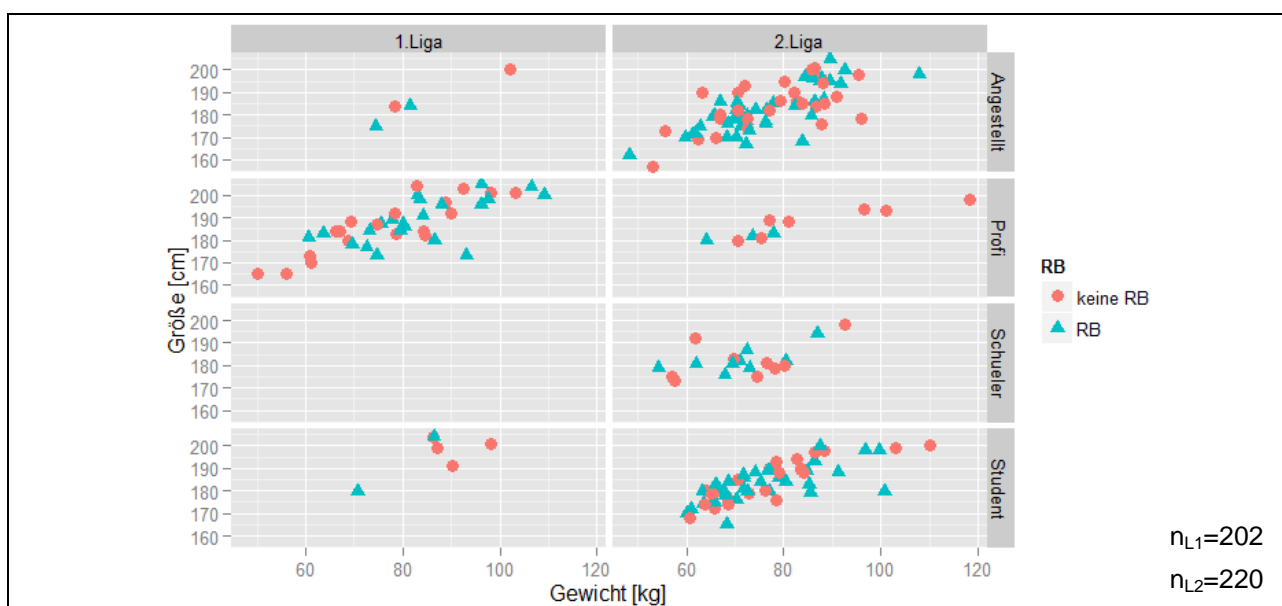


Abbildung 43: Größe [cm] und Gewicht [kg] der Stichprobe je nach Angestelltenverhältnis, dem Spielniveau und der Existenz chronischer Rückenbeschwerden.

In der Subgruppe der Profis scheint sich ein höherer BMI bei professionellen Spielern gegenüber Nicht-Profis (23,0 vs. 22,3) abzuzeichnen. Dabei unterscheidet sich die Körpergröße ebenfalls nicht signifikant. Abbildung 43 liefert einen Einblick in die Verteilung der Athleten mit/ohne RB und deren berufliche Aktivität pro Spielniveau bzgl. der Körperzusammensetzung. Bemerkenswert ist, dass in der 1. Liga fast nur Profis agieren, hingegen diese in der zweiten Liga eine Ausnahme darstellen. Insbesondere innerhalb der Studenten sind überwiegend Athleten des obersten Perzentils (der Größenverteilung) in der ersten Liga aktiv, ein signifikanter Zusammenhang ist aber auch hier nicht gegeben. Zusätzlich zeigt sich, dass innerhalb der Stichprobe der Mittelwert aller Angestellten und Studenten geringer ist als jener der Profis und Schüler (geschlechtsspezifisch). Ein Erklärungsansatz hierfür findet sich im Rahmen der Diskussion der anthropometrischen Daten.

Tabelle 28: Mittelwerte der Körperhöhen getrennt nach Berufsstand.

Parameter: Größe	Angestellt		Profi		Schüler		Student	
mean	183,2		187,3		182,1		184,9	
sd	10,3		10,1		6,8		9,3	
mean: m   w	193,0	177,2	194,0	180,1	198,0	181,1	192,0	179,1

#### 4.4.2 Körpervolumina

Die Differenz der arithmetischen Mittel aller Körpersegmente und der anhand der Normwerte über die Gesamtmasse berechneten arithmetischen Mittel der Sollwerte weicht höchstsignifikant voneinander ab (Tabelle 29, außer US Volumen).

Tabelle 29: Vergleich der Körpervolumina Volleyball-aktiver Damen und Herren mit der gesellschaftlichen Norm nach Hanavan, 1964 und Kassat, 1993.

		Prozentualer Anteil an der Gesamtmasse				Diff. der arithm. Mittelw. zur Norm		
		Herren		Norm	Damen		Herren gesamt	Damen gesamt
		RB	kRB	-	RB	kRB	in [l]	in [l]
Segmente		36	46	n	75	48	82	123
Kopf		3,9	3,9	5	4,4	4,4	-1,79	-1,14
Hals		0,9	0,9	2	0,8	0,8	-0,12	-0,17
Rumpf		44,7	44,9	43	41,3	42,0	1,50	-0,61
Oberarm	li***	3,4	3,4	2,7	3,0	3,0	0,62	0,22
	re***	3,6	3,6	2,7	3,2	3,1	0,77	0,32
Unterarm	li***	1,4	1,4	1,6	1,2	1,2	-0,18	-0,25
	re***	1,4	1,5	1,6	1,3	1,3	-0,13	-0,21
Hand	li***	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	0,14	0,05
	re***	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	-0,80	-0,84
Ober-schenkel	li***	13,2	13,1	14	15,1	15,0	-0,65	0,73
	re***	13,1	13,1	14	15,1	15,1	-0,71	0,79
Unter-schenkel	li***	4,4	4,3	4,5	4,6	4,5	-0,11	-0,01
	re***	4,5	4,4	4,5	4,6	4,5	-0,04	0,01
Fuß	li***	1,8	1,8	1,5	1,7	1,6	0,27	0,09
	re***	1,8	1,9	1,5	1,7	1,6	0,28	0,10

Dabei stellen sich bei den Herren vor allem der Oberkörper, die Oberarme und die Füße als überdurchschnittlich voluminös zur Norm heraus (Abbildung 44). Die Damen besitzen zudem ein, gegenüber der Norm, signifikant höheres Oberschenkelvolumen.

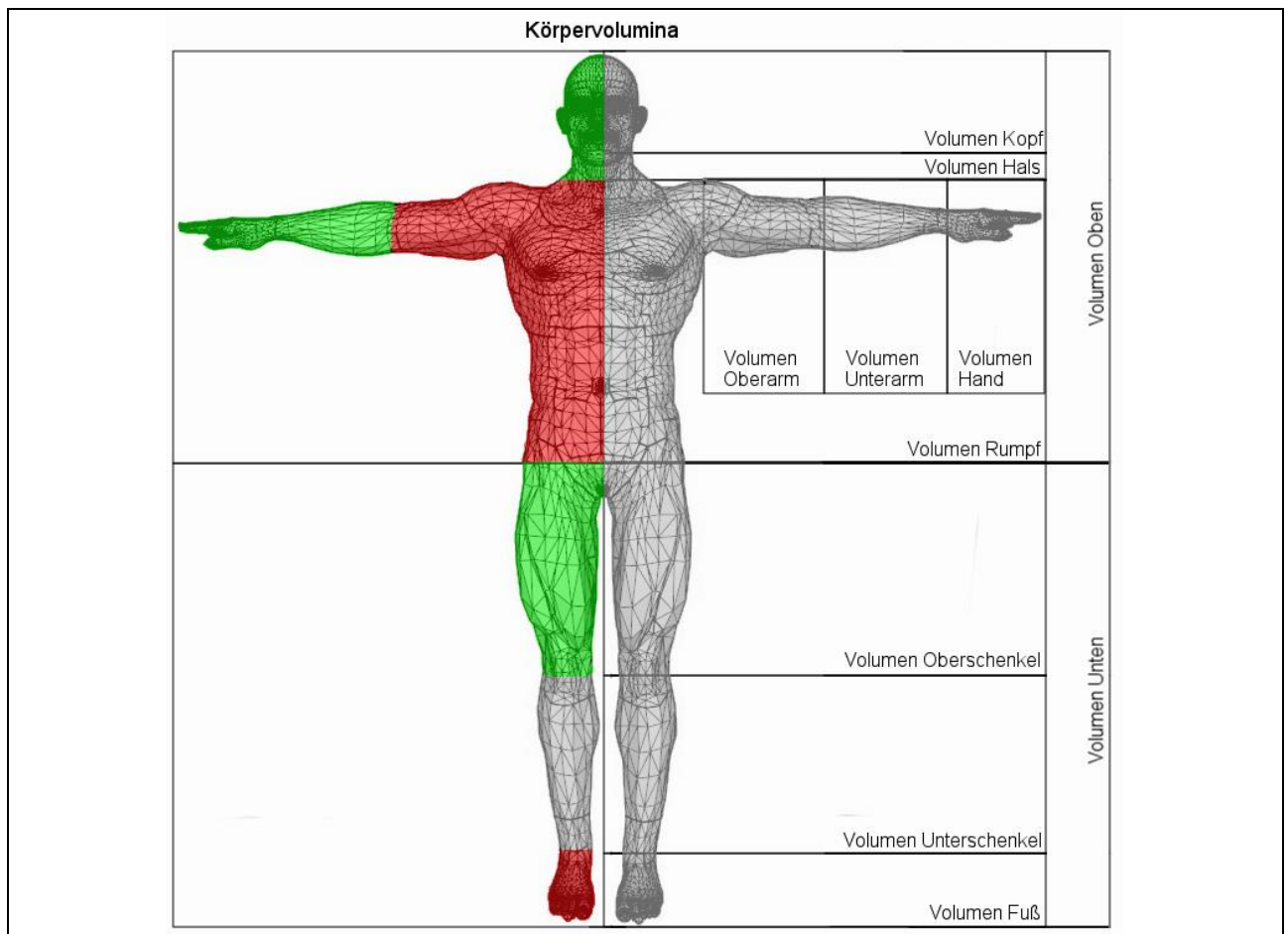


Abbildung 44: Illustration der erfassten Körpervolumina der Herren. Die Einfärbung der rechten Körperhälfte markiert die von der Norm abweichenden Teilvolumina (rot=schwerer als die Norm, grün=leichter, grau=normgerecht).

Das Volumenverhältnis zwischen Ober- und Unterkörper stellt sich bei beiden Geschlechtern als einflussreich bezüglich der Entstehung von RB heraus. Ein, relativ gesehen, schwerer Oberkörper wirkt dabei präventiv, hingegen scheint das bilaterale Ungleichgewicht zwischen linker und rechter Seite keine Auswirkungen zu haben. Spielpositionsspezifisch zeichnen sich ebenfalls unterschiedliche Trends in den Verhältnissen des Ober- zu Unterkörpers ab, welche eine signifikante Korrelation zwischen der Körpergröße und dem Verhältnis besagter Körperpartien aber nur bei den Damen bestätigen (Tabelle 30,  $cor=-0,24$ ,  $p<0,01$ ). Ein Hinweis auf statistisch signifikant unterschiedliche Teilkörpervolumina zwischen Volleyball Athleten mit und ohne RB besteht jedoch nicht (weder absolut noch innerhalb der Verteilung relativ zur Gesamtmasse).

Tabelle 30: Das positionsdifferenzierte Verhältnis der Ober- zu Unterkörpervolumina bei den Damen.

Damen	AA		D		L		MB		U		Z	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd
keine RB	1,37	0,13	1,40	0,09	1,52	0,13	1,25	0,07	1,41	0,08	1,30	0,08
RB	1,34	0,15	1,36	0,16	1,37	0,07	1,33	0,13	1,36	0,14	1,41	0,09

#### 4.4.3 Dominanz und Drehsinn

Weder die Dominanz noch die Drehrichtung lassen aussagekräftige Schlüsse über die Entstehung von RB zu. Zwar lassen sich signifikante Unterschiede in der Häufigkeit der präferierten Drehrichtung identifizieren (56% links, 44% rechts,  $p < 0.05$ ), mittels des Chi<sup>2</sup>-Tests ist jedoch ein Zusammenhang mit RB zu negieren. Aus Gründen praxisnaher Forschung wird hier dennoch rein deskriptiv auf die positionsspezifische Häufigkeitsverteilung der Rechts- und Linkshänder eingegangen, da innerhalb der Lehre eine präferierte Zuteilung von Linkshändern zur Diagonalposition proklamiert wird (Meyndt et al., 2010). Tabelle 31 illustriert zwar eine anteilmäßige Überzahl von Linkshändern auf der Diagonalposition, aufgrund der geringen Fallzahlen ist jedoch von statistischer Absicherung der genannten Hypothese abzusehen.

Tabelle 31: Positionsspezifische Verteilung von Links-, Rechts- und Beidhändern.

DomArm	AA	D	L	MB	U	Z
beid	2	0	0	0	1	3
links	2	5	1	1	1	0
rechts	57	11	24	54	16	27

Allgemein lässt sich anhand der Rückenprofile (Abbildung 45) der Athleten eine muskuläre Dysbalance eruieren, welche bei über 63% der befragten Sportler mit der Händigkeit einhergeht ( $p < 0,05$ ). Eine Rotation des Oberkörpers ist jeweils an den identischen Höhenprofilen der Taille im lateralen Vergleich auszuschließen.

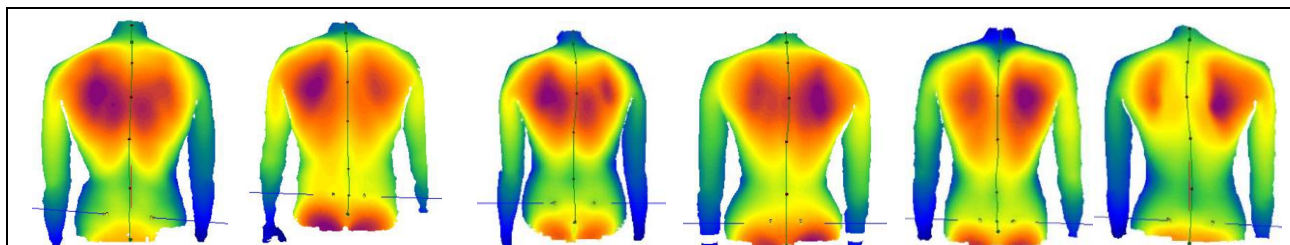


Abbildung 45: Rückenprofile von links- (1-3) und rechtshändigen (4-6) Diagonalspielern/-innen gleichen Alters ( $23 \pm 1,1$ ) und ähnlicher Volleyballerfahrung ( $8300 \pm 850$  [h], 1.Liga) im Vergleich.

Dabei sind spielpositionsspezifische Auffälligkeiten in der Übereinstimmung zwischen muskulärer, lateraler Dysbalance und der Dominanz zu erkennen. Zuspieler scheinen nicht nur die geringsten Abweichungen zwischen linker und rechter Schulterpartie, sondern auch die geringste Häufigkeit an Übereinstimmungen aufzuweisen. Es ist jedoch anzumerken, dass es sich bei diesen Resultaten lediglich um die rein qualitative Beurteilung einer muskulären Dysbalance anhand der Rückenprofile handelt. Diese wurden trivial binär kodiert (Dysbalance existiert optisch (0), existiert nicht (1)).

## 4.5 Biomechanische Parameter

### 4.5.1 Stabilisationsfähigkeit

Die Resultate der Erhebungen der posturalen Kontrolle zeigen hohe Differenzen innerhalb der Subgruppen auf. Die folgende Graphik veranschaulicht dies anhand der Zusammenhänge zwischen der Existenz von RB, dem Leistungsniveau, des Geschlechts und der Spielposition:

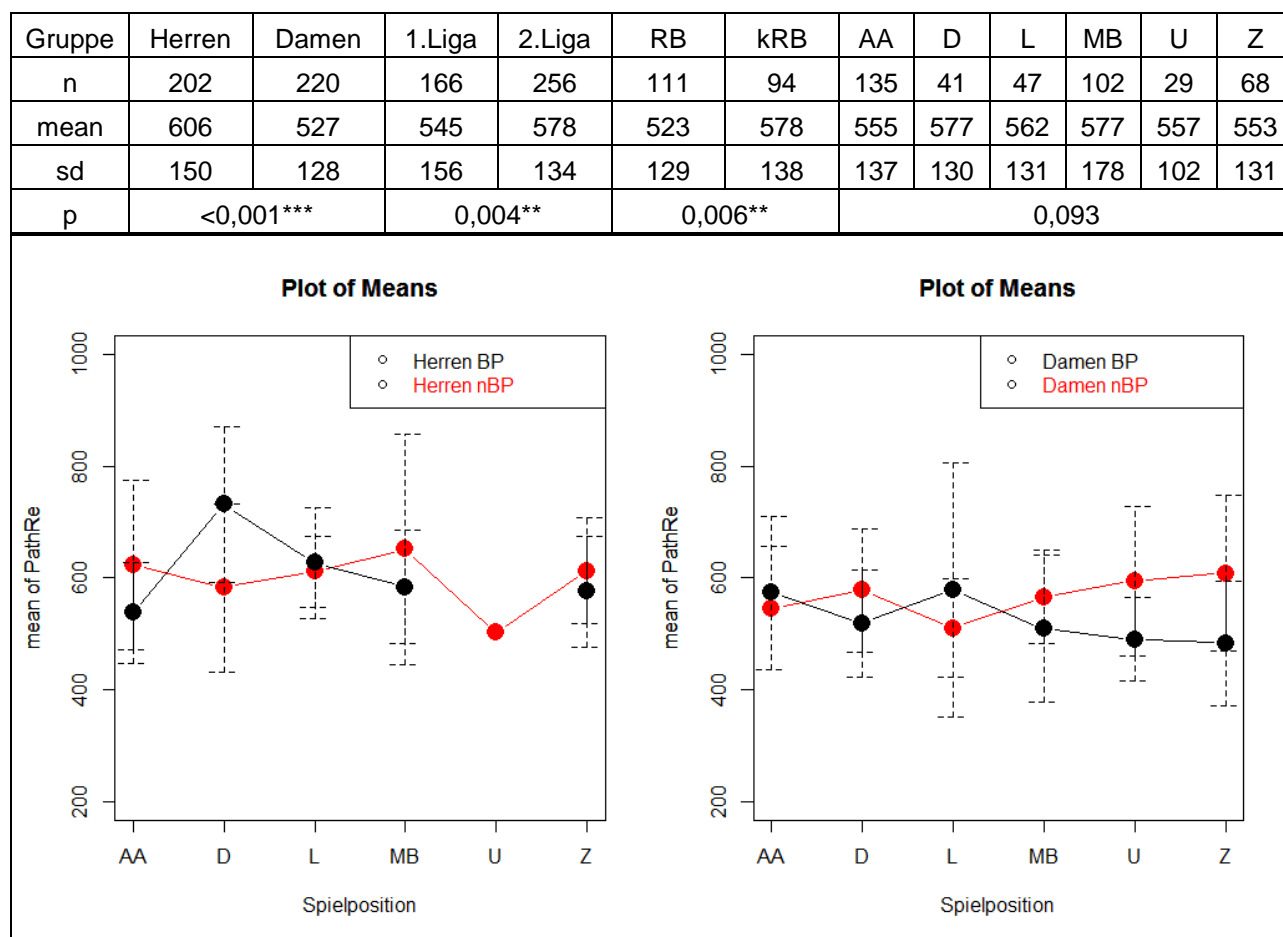


Abbildung 46: Mittelwerte der CoP Messungen der Stichprobe geclustert nach RB, Geschlecht und Positionsspezifisch. Aufgetragen ist das positionsbezogene arithmetische Mittel der Weglängen des Einbeinstands berechnet über die Auslenkung des Kraftangriffspunktes auf einer Kraftmessplatte während eines Standes von 15s Dauer.

Dabei ist besonders hervorzuheben, dass Rückenschmerzgeplagte eine geringere Center of Pressure Weglänge innerhalb der Stichprobe aufzeigen als asymptotische Athleten. Es lassen sich in diesem Vergleich keine Unterschiede zwischen den Spielpositionen erkennen, wenngleich Mittelblocker und Diagonalangreifer die schlechtesten COPs aufweisen.

Diese Aussage ist bei genauerer Betrachtung ebenso für die Resultate des Y-Balance-Tests zutreffend, da die erhobenen Composit Scores (CS) den Verdacht bekräftigen, dass Diagonalspieler und Mittelblocker die, bezogen auf die posturale Kontrolle, schwächsten Athleten darstellen (ebenfalls nicht signifikant). Allgemein



betrachtet lässt sich zwischen dem YBT und dem COP eine signifikante, aber äußerst geringe Korrelation (-0,12\*, p=0,018) zeigen, welche bei genauerer Differenzierung nur bei den Damen zu bestätigen ist -0,15\*. Zusätzlich anzumerken ist, dass die CS allgemein mit im Durchschnitt ~80 ausgesprochen gering im Vergleich zu den Normdaten ausfallen. Dies ist auf methodische Implikationen zurückzuführen, welche im Diskussionsteil näher erläutert werden und weiterführende Einschätzungen der absoluten Scores hinfällig werden lassen.

#### 4.5.2 Tests zur Sprunghöhe

Im Mittel erreichten männliche Athleten eine maximale Sprunghöhe durch einen CMJ ohne Armeinsatz von 40±6cm (Range 25-61cm), während die Damen nur 28±4cm erzielten (Range 17-45cm). Die signifikanten Sprunghöhenunterschiede zwischen Damen und Herren sind in Abbildung 47 dargestellt. Dabei ist ebenfalls die Differenz der maximalen Sprunghöhe in Abhängigkeit der Bewegungsausführung signifikant. Herren ( $\mu_{\text{DifHerren}}=8\text{cm}$ ) erreichen durch dynamische Arbeit der o.E. beim Sprung einen höheren Zugewinn als die Damen ( $\mu_{\text{DifDamen}}=5\text{cm}$ , p<0,05). Ein überzufällig großer Unterschied zwischen Spielern/Spielerinnen der ersten und der zweiten Liga besteht nicht.

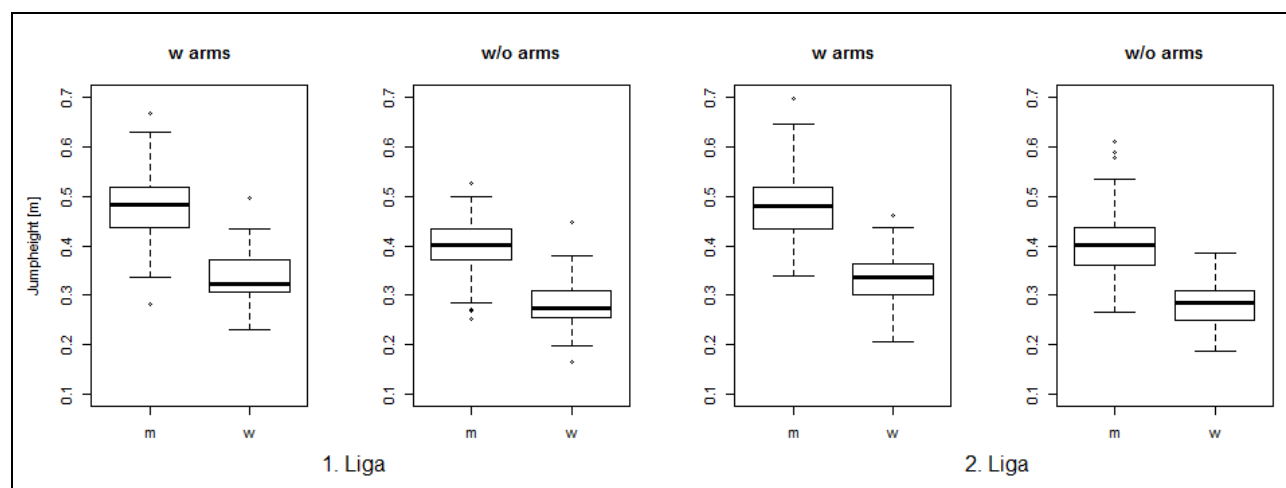


Abbildung 47: Maximale Sprunghöhe aus drei Versuchen jeweils mit und ohne Armschwung der Stichprobe differenziert nach Geschlecht und aktuellem Leistungsniveau.

Bezogen auf die Körpergröße der Herren lässt sich ein signifikant negativer Zusammenhang zur Sprunghöhe herstellen (cor=-0,24, p=0,029), welcher besagt, dass kleinere Athleten eine höhere Flugzeit bei beidbeinigem Absprung besitzen (Abbildung 48). Bei den Damen ist die hier auffällige Korrelation nicht nachweisbar (cor=-0,08, p=0,37).

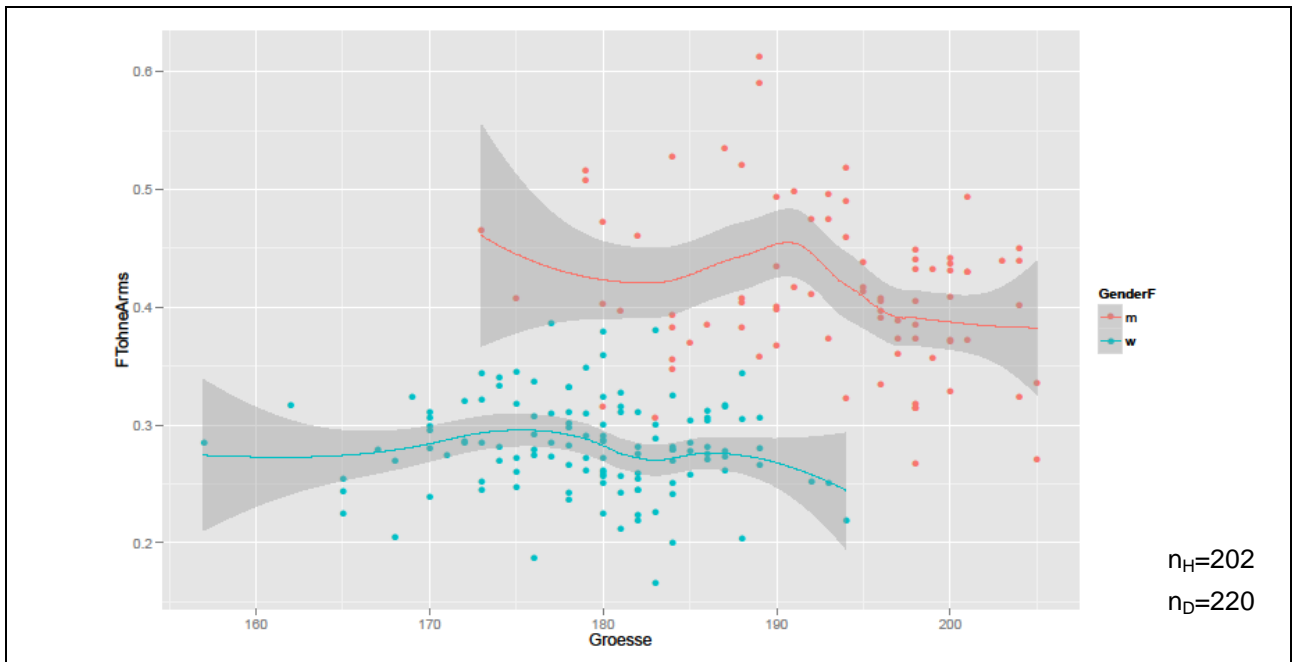


Abbildung 48: Zusammenhang der Sprunghöhen und der Körpergröße der Damen und Herren.

Eine genauere Betrachtung der diversen Spielpositionen innerhalb der angesprochenen Thematik offenbart signifikante Unterschiede. Universalspieler ( $\mu_{\text{UFT}_{0A}}=31\pm 4\text{cm}$ ) scheinen hier trotz der geringen Stichprobenanzahl relevante Defizite gegenüber Außenangreifern ( $\mu_{\text{AAFT}_{0A}}=42\pm 7\text{cm}$ ), Diagonalspielern ( $\mu_{\text{DFT}_{0A}}=41\pm 6\text{cm}$ ) und Mittelblockern ( $\mu_{\text{MBFT}_{0A}}=39\pm 6\text{cm}$ ) aufzuweisen (Abbildung 49).

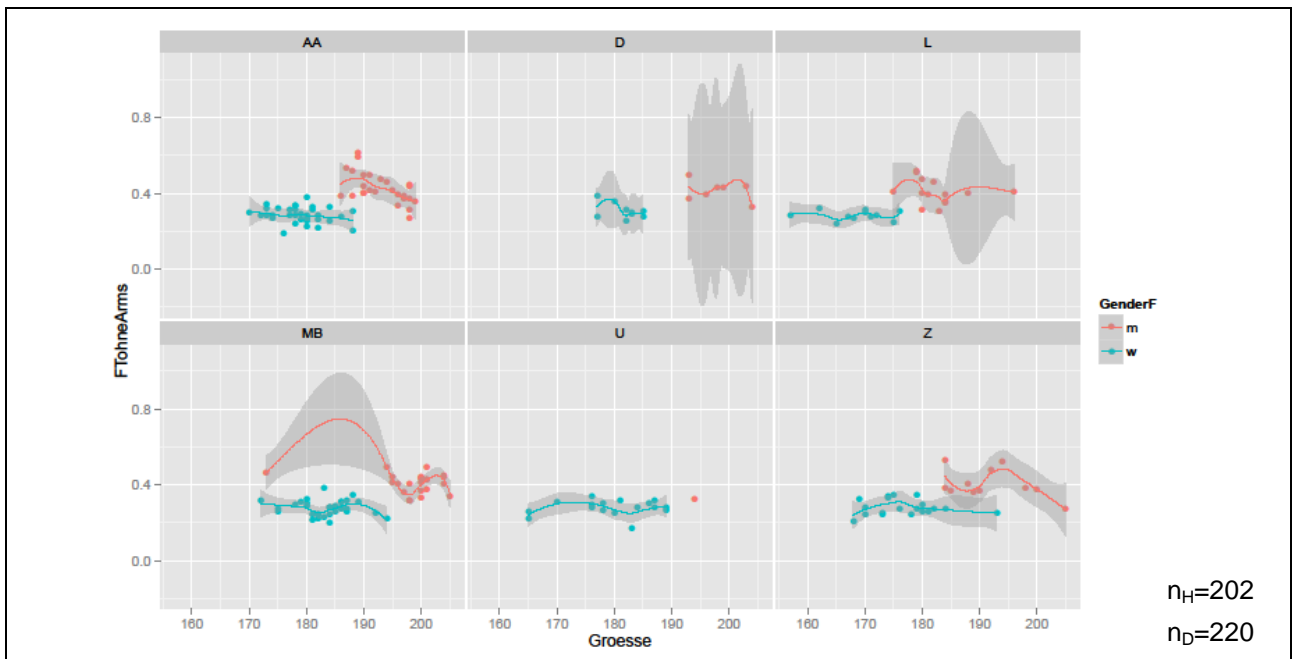


Abbildung 49: Boxplots der positionsspezifischen Sprunghöhen der Stichprobe (links) sowie die intracluster Differenzen anhand der Konfidenzintervalle der Erwartungswerte (rechts).

Außer bei den Universalspielern sind diese signifikanten Unterschiede jedoch nur innerhalb der männlichen Volleyballathleten aufzeigbar (Abbildung 50,  $p=0,003$ ).

Weiterhin bemerkenswert ist die signifikante, negative Korrelation der Sprunghöhe und des Gewichts, welche lediglich bei Außenangreifern und Diagonalspielern beider Geschlechter zu verzeichnen ist.

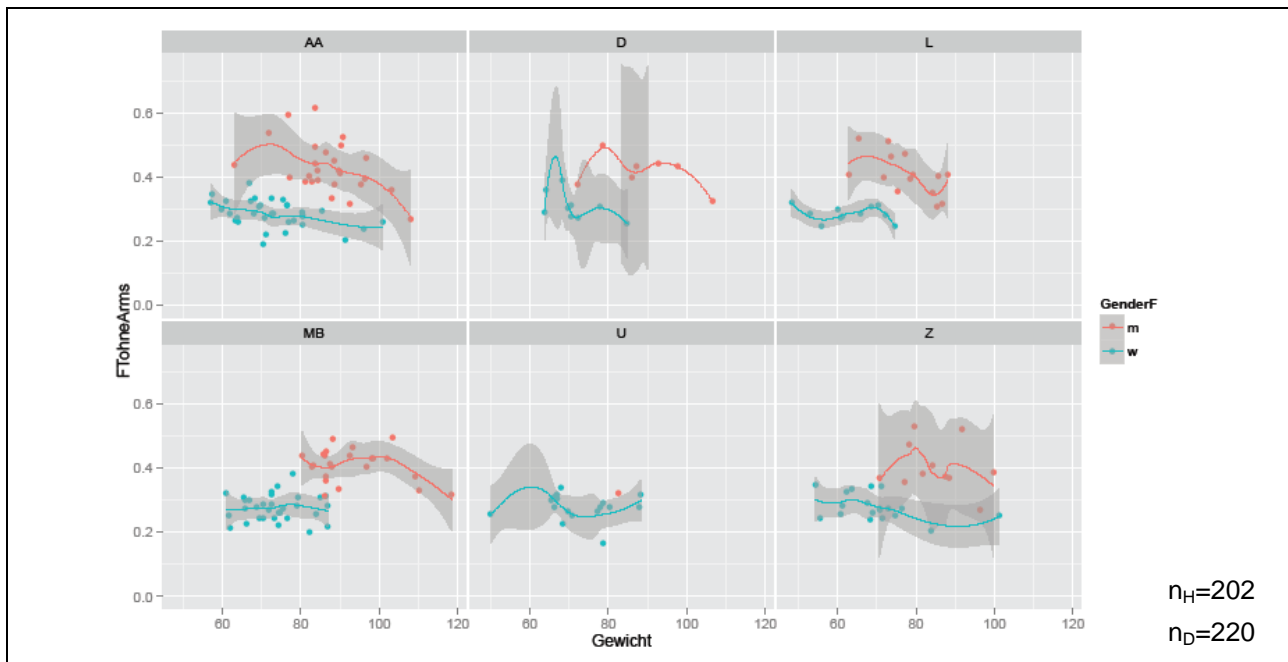


Abbildung 50: Scatterplots der Sprunghöhen ohne Armeinsatz differenziert nach Geschlecht und Spielposition in Abhängigkeit des Gesamtgewichts.

Je größer die Körpermasse, desto geringer ist also die maximale Sprunghöhe (mittleres Niveau  $cor=-0,3$  bis  $-0,7$ ), während sich zwischen der Gesamtmasse und der Entstehung von Rückenbeschwerden kein Zusammenhang abzeichnete. Kontrovers hierzu zeigt sich eine negative Beziehung zwischen Rückenbeschwerden und der Sprunghöhe (Abbildung 51,  $p=0,015$ ).

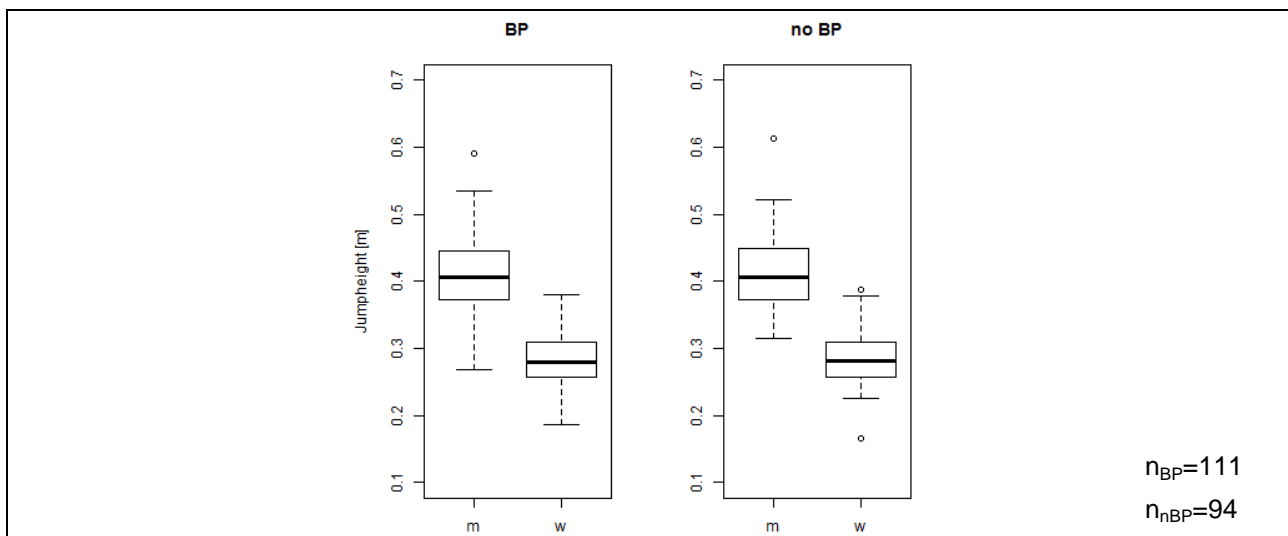


Abbildung 51: Zusammenhang zwischen RB und der max. Sprunghöhe (CMJ ohne Armeinsatz).

Entgegen den Erwartungen konnten keine differierenden Sprunghöhen im intragruppenvergleich der Berufstätigkeit identifiziert werden. Vollzeit-aktive, professionelle Volleyballathleten/-innen verfügen demnach nicht über eine bessere Sprungkraft als sonstige Erwerbstätige/Studenten.

*Tabelle 32: Maximale Sprungkraft in Abhängigkeit der Erwerbstätigkeit der Damen und Herren.*

Herren	mean	sd	data:n	Damen	mean	sd	data:n
Angestellt	0,401	0,055	28	Angestellt	0,285	0,036	46
Profi	0,405	0,061	25	Profi	0,278	0,042	26
Student	0,436	0,077	28	Student	0,281	0,041	34
Schüler	0,314	-	1	Schüler	0,280	0,045	17

Die Auswertung und Interpretation der Ermüdungsindizes (basierend auf der 20-maligen, unmittelbaren Wiederholung eines CMJ) wird aufgrund inakzeptabler Messdaten nicht intensiv behandelt. Mannschaftsübergreifend ergaben sich zu großen Teilen Indizes  $>1$ . Dies würde bedeuten, dass die letzten Sprünge der Serie maximalkräftiger Einsätze höher ausfallen als die ersten. Nachdem weder trainingswissenschaftlich noch biomechanisch für einen derartigen Sachverhalt evidente Hinweise gefunden wurden, sondern sich vielmehr gegenteilige Verweise verdichten, ist von motivationalen Problemen innerhalb der 30-minütigen Messmethodik auszugehen. Zusätzlich errechnet sich bei fast allen Athleten die Sprunghöhe der separaten Sprünge als  $>15\%$  niedriger im Vergleich zu der vorherigen Maximalkraftmessung. Demnach werden die Messunsicherheiten bzgl. der Erhebung der Sprungkraftausdauer als derart relevant eingestuft, dass eine Analyse und Interpretation der Daten nicht sinnvoll erscheint.

#### *4.5.3 Training des Rumpfes*

Jene Probanden, welche ihren Angaben zufolge unter RB leiden, trainieren häufiger ihren Rücken als jene, welche beschwerdefrei waren. Es lassen sich jedoch keine Unterschiede in der Trainingshäufigkeit im Vergleich der Geschlechter, Berufsklassen oder den aktuellen Leistungsniveaus nachweisen. Etwa 1/3 aller befragten Athleten trainiert extern ihren Rücken, wobei ca. 2/3 davon wiederum rückenspezifische Symptome aufweisen. Im Rahmen dieser Maßnahme findet ausschließlich ein Training über hohe Wiederholungszahlen bei eigener Körperlast Anwendung. Alternative Methoden werden lediglich im regulären Training explizit eingesetzt und beinhalten Übungen an Kraftgeräten, Stabilisationsübungen in geringem Umfang (einzelne Serien á 10 Wiederholungen) und Mobilisationsübungen. Speziell sensomotorisches Training findet, nach Angabe der Athleten, nur in äußerst eingeschränktem Rahmen innerhalb der Vorbereitungszeit der Volleyballsaison zum Training der variablen Verfügbarkeit technischer Spielelemente Einsatz.

## 4.6 Wirbelsäulenformkennziffern

Die Erstellung der Normwerttabelle mittels Daten der Lichtrasterstereographie oblag der Abschlussarbeit Frau Himmelreichs. In ihrer Arbeit unberücksichtigt bleibt jedoch die Differenzierung asymptomatischer/symptomatischer RB Patienten. Folgende Tabellen sollen daher die WS Form Rückenschmerz-geplagter VB von symptomfreien Athleten differenzieren.

Tabelle 33: Wirbelsäulenformkennziffern der DIERS formetric 4D Analyse der Kohorte (mean + sd); \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$ ; Ligenunterschiede bestehen nur bei den Damen.

WS Parameter, sig. Geschlechtervergleich	Herren   202		Damen   220	
	1.Liga   98	2.Liga   68	1.Liga   104	2.Liga   152
Rumpflänge [mm]	507,18 ± 29,2	501,63 ± 28,9	474,00 ± 31,0***	459,75 ± 26,6
Beckenhochstand [mm]	-1,56 ± 6,3	-0,56 ± 5,3	-0,47 ± 5,1	-0,23 ± 4,6
Beckenneigung [°] ***	16,55 ± 6,1	17,33 ± 5,5	22,12 ± 5,2	22,63 ± 5,3
Grübchenabstand [mm]	102,69 ± 15,8	100,83 ± 12,3	99,64 ± 11,5	100,92 ± 12,4
Kyphosewinkel [°]	43,88 ± 8,2	42,97 ± 9,0	41,24 ± 10,4*	44,23 ± 8,1
Kyphoseapex [mm] ***	-190,81 ± 24,1	-196,38 ± 25,3	-176,82 ± 33,7	-170,63 ± 28,3
Lordosewinkel [°] ***	28,06 ± 7,9	28,98 ± 7,4	35,90 ± 8,5	37,82 ± 8,4
Lordoseapex [mm] ***	-429,14 ± 37,4	-428,92 ± 41,1	-393,08 ± 37,8***	-375,69 ± 29,4
Lotabweichung [°]	0,76 ± 0,6	0,81 ± 0,7	1,09 ± 0,9	0,86 ± 0,7
Oberflächenrotation [°] *	3,88 ± 1,7	3,58 ± 1,4	4,07 ± 2,1	4,20 ± 2,4
Seitabweichung [mm]	4,76 ± 2,1	4,78 ± 2,3	5,67 ± 3,4*	4,68 ± 2,4

Tabelle 34: Statistische Kennziffern (mean, sd) der Athleten mit und ohne Rückenbeschwerden, differenziert nach Geschlechtern; T veranschaulicht den Trend des Mittelwertvergleichs; \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ .

WS Parameter, sig. Geschlechtervergleich	Herren   202			Damen   220		
	keine RB	T	RB	keine RB	T	RB
Rumpflänge [mm]	512,51 ± 26,9	↘**	495,58 ± 26,6	461,76 ± 28,1	→	465,89 ± 27,2
Beckenhochstand [mm]	0,03 ± 6,7	→	-0,26 ± 5,9	-0,65 ± 4,1	→	-0,24 ± 5,3
Beckenneigung [°]	17,44 ± 5,4	↘	16,22 ± 5,6	21,69 ± 5,2	→	23,58 ± 5,2
Grübchenabstand [mm]	99,04 ± 8,6	↗*	103,87 ± 10,4	98,71 ± 12,2	↗	101,45 ± 9,9
Kyphosewinkel [°]	43,47 ± 7,1	→	43,93 ± 10,3	44,24 ± 9,5	→	44,23 ± 8,7
Kyphoseapex [mm]	-195,73 ± 23,3	→	-195,37 ± 24,1	-172,27 ± 30,2	→	-175,94 ± 28,6
Lordosewinkel [°]	28,84 ± 6,1	→	28,11 ± 8,0	36,82 ± 8,7	→	37,84 ± 8,1
Lordoseapex [mm]	-439,30 ± 35,5	↗*	-423,46 ± 31,0	-379,25 ± 33,3	→	-380,25 ± 31,5
Lotabweichung [°]	0,73 ± 0,7	↗	0,93 ± 0,6	0,85 ± 0,7	↗	0,96 ± 0,7
Oberflächenrotation [°]	3,38 ± 1,3	↗	3,90 ± 1,4	3,88 ± 2,0	↗	4,37 ± 2,4
Seitabweichung [mm]	4,94 ± 2,2	↘	4,14 ± 2,0	4,46 ± 2,4	↗	4,94 ± 2,6

Die Herren der Kohorte verfügen über eine signifikant geringere Beckenneigung (im Mittel  $16,6 \pm 6^\circ$  vs.  $22,1 \pm 5^\circ$ ) und demzufolge auch einen verminderten Lordosewinkel innerhalb der Sagittalebene im Vergleich zu den Damen ( $28 \pm 8^\circ$  vs.  $36 \pm 9^\circ$ ), da sich bei weiterer Analyse eine hohe Korrelation zwischen Beckenneigung und Lordosewinkel bestätigen lässt (Abbildung 52,  $p < 0,001$ ,  $cor = 0,68$ ).



Abbildung 52: Korrelation der beiden Wirbelsäulenkennziffern Lordosewinkel und Beckenneigung.

Zusätzlich besitzen die Herren einen längeren Rumpf ( $Dif_{H-D} \approx 30\text{mm}$ ) und damit ebenfalls (per Definition) einen absolut höheren Lordose- (LA) und Kypohoseapex (LA). Es lässt sich jedoch innerhalb der Daten kein Hinweis darauf finden, dass das Verhältnis von Rumpflänge zu LA/KA einen Einfluss auf die Entstehung von RB hätte, wenngleich der Lordoseapex, separat betrachtet, durchaus die Prävalenz beeinträchtigt

Tabelle 34, S. 138, nur bei den Herren signifikant). Der Verlauf der WS im lumbalen Bereich innerhalb der Sagittalebene (Höhe des Lordosewinkels) lässt weder bei den Herren noch bei den Damen einen Zusammenhang mit der Existenz von Schmerzen des Rückens vermuten. Die in der Transversalebene verorteten Lumbalgrübchen scheinen diesbezüglich jedoch einen prädiktiven Charakter aufzuweisen. Hier spricht ein höherer Grübchenabstand für eine höhere Wahrscheinlichkeit, an Rückenschmerzen zu erkranken. Die Herren besitzen im Durchschnitt eine im Betrag größere Distanz (102 vs. 100 mm) als die Damen, die Abweichungen der Oberfläche entlang der WS aber (Rotation der Wirbelkörper als Resultat der mittleren Residuen der Oberflächennormalen (horizontaler Anteil)) stellt sich wiederum als signifikant geringer heraus. Auch der Einfluss der ebenfalls in der Transversalebene befindlichen Abweichung der WS vom Lot (C7 auf Grübchenabstand, in [mm]) lässt sich zwar nicht statistisch bestätigen, ein Trend zu einer direkten Proportionalität ist jedoch auch hier zu verzeichnen.

Unter Berücksichtigung des aktuellen Leistungsniveaus existieren nur innerhalb der Gruppe der Athletinnen Differenzen. Hier besitzt die 1. Liga einen längeren Rumpf und demnach auch (identisch zu den Herren) einen absolut höheren Lordose- und Kyphoseapex. Bemerkenswert ist jedoch die erhöhte Brustkyphose der Zweitligaspielerinnen ( $44\pm 8^\circ$  zu  $41\pm 10^\circ$ ), welche jedoch in keiner Verbindung zu einer erhöhten Schmerzprävalenz im thorakalen Bereich der WS steht.

Bei positionsbezogener Betrachtung der WS Parameter fällt besonders die signifikant erhöhte Neigung des Beckens ( $>0,5^\circ$ ) der Middleblocker und Liberos im Vergleich zu anderen Positionen auf. Neben identifizierten Abweichungen bereits bearbeiteter Kenngrößen (Größe, BMI, Stabilisationsfähigkeit) stellt die Beckenneigung folglich einen weiteren Faktor der positionsinhärenten Charakteristika im Volleyball dar. Dieser zeigt sich in Bezug auf die zeitlich operationalisierte Erfahrung volleyballspezifischer Aktivität (Abbildung 53) als latent steigend ( $p=0,003$ ,  $cor: 0,21$ , 95%-confid: 0,07-0,33). Eine Korrelation mit dem Lebensalter ist jedoch nicht nachweisbar.

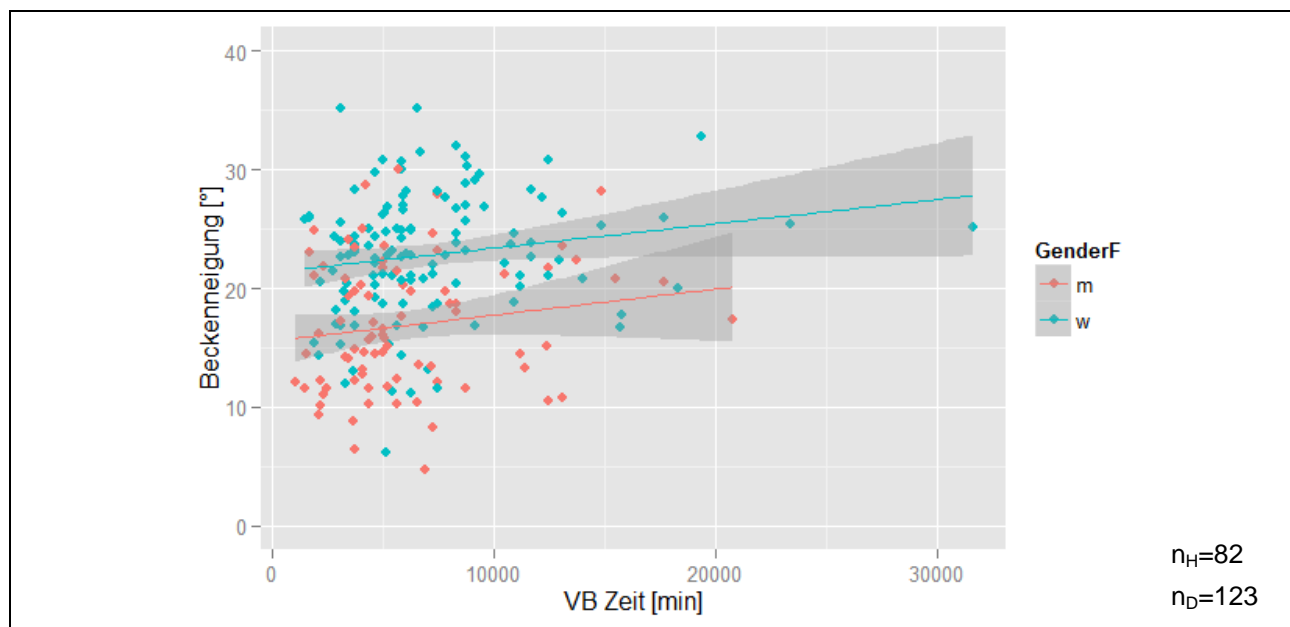


Abbildung 53: Korrelation zwischen der Beckenneigung [°] und der Spielzeit im Volleyball [min], logarithmierte x-Achse,  $cor=0,20$ ,  $p<0,01^*$ .

Die Resultate der parallel zur Lichtrasterstereographie durchgeführten Pedobarographie lassen in keinem der erhobenen Parameter (Maximaler Druck, durchschnittlicher Druck, Druckverteilung links/rechts und vorne/hinten, Oberfläche, Fußachsenwinkel, Schwerpunktrotation) einen Rückschluss auf die Entstehung von RB oder Ausprägung anderer Variablen zu. Weder geschlechtsdifferenziert noch innerhalb der diversen Subgruppen lassen sich signifikante Unterschiede aufzeigen. Da die Fußform jedoch in der Literatur bereits als potentieller Faktor für Beschwerden in anderen Gelenken dargelegt werden konnte, scheint auch der fehlende Nachweis für einen signifikanten Zusammenhang bei Volleyballern erwähnenswert und diskutabel.

## 4.7 Arbeitsbedingte Belastung und Erholung

Die Selbstauskunft über tägliche Arbeitszeiten und die damit verbundenen Tätigkeiten (Sitzen, Stehen, Computerarbeit, etc.) ergeben keinen eindeutigen Zusammenhang mit RB. Das Verhältnis von aktiven zu passiven Tätigkeiten im Beruf ist ebenso unauffällig, wenngleich die Prävalenz von RB unter den sportlich aktiven Angestellten dieser Kohorte geringer als bei der Normalbevölkerung ausfällt (42/74, 56,8%, Biering-Sorensen, 1982). Unabhängig von der beruflichen Stellung ergab sich allgemein eine subjektiv hohe Zufriedenheit mit der eigenen Gesundheit sowie der Qualität des Schlafs. Die durchschnittliche Schlafdauer in allen Subgruppen variiert von im Mittel 7 bei Rückenschmerzgeplagten bis zu im Mittel 8 Stunden bei symptomfreien Athleten pro Nacht ( $p < 0,05$ ).

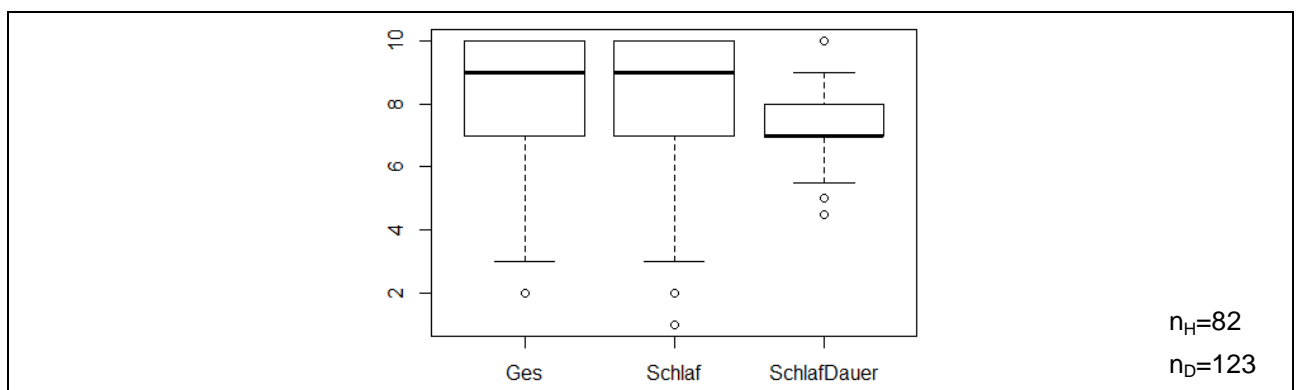


Abbildung 54: Subjektive Einschätzung der Athleten bzgl. ihres eigenen Gesundheitszustands, Schlafqualität und der Schlafdauer.

Je länger ein Athlet pro Woche im Durchschnitt schläft, desto geringer scheint seine Wahrscheinlichkeit an RB zu erkranken. Operationalisiert wurde dies über die subjektive Einschätzung einer „normalen Woche“ der Sportler. Eventuell auftretende, schlafstörende Ereignisse wie wettkampfbedingte Nervosität, Krankheiten, familiäres Umfeld (insbesondere Kinder), Festivitäten o.ä. Effekte wurden nicht gesondert erfasst.

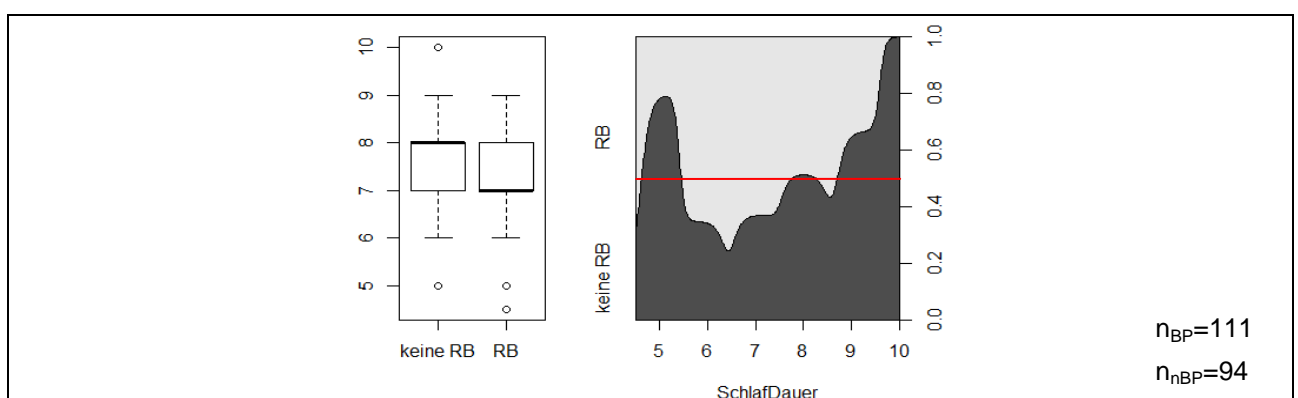


Abbildung 55: Boxplots und Einflussgraphik der Schlafdauer auf die Existenz von Rückenbeschwerden innerhalb der untersuchten Kohorte,  $n=205$ .



Es lässt sich hingegen kein direkter Zusammenhang der in VB investierten Zeit, der wöchentlichen Anzahl an Trainingseinheiten und RB aufzeigen, wenngleich die Trainingshäufigkeit (Himmelreich, 2016) wirbelsäulenbeschreibende Parameter beeinflusst. Die Anzahl wöchentlicher Trainingseinheiten unterscheidet sich zwischen den Ligen signifikant (im Durchschnitt 9 TE der 1.Liga vs. 4 TE der 2.Liga), es gibt jedoch keine positionsspezifischen Unterschiede im Trainingspensum (vgl. Abbildung 56).

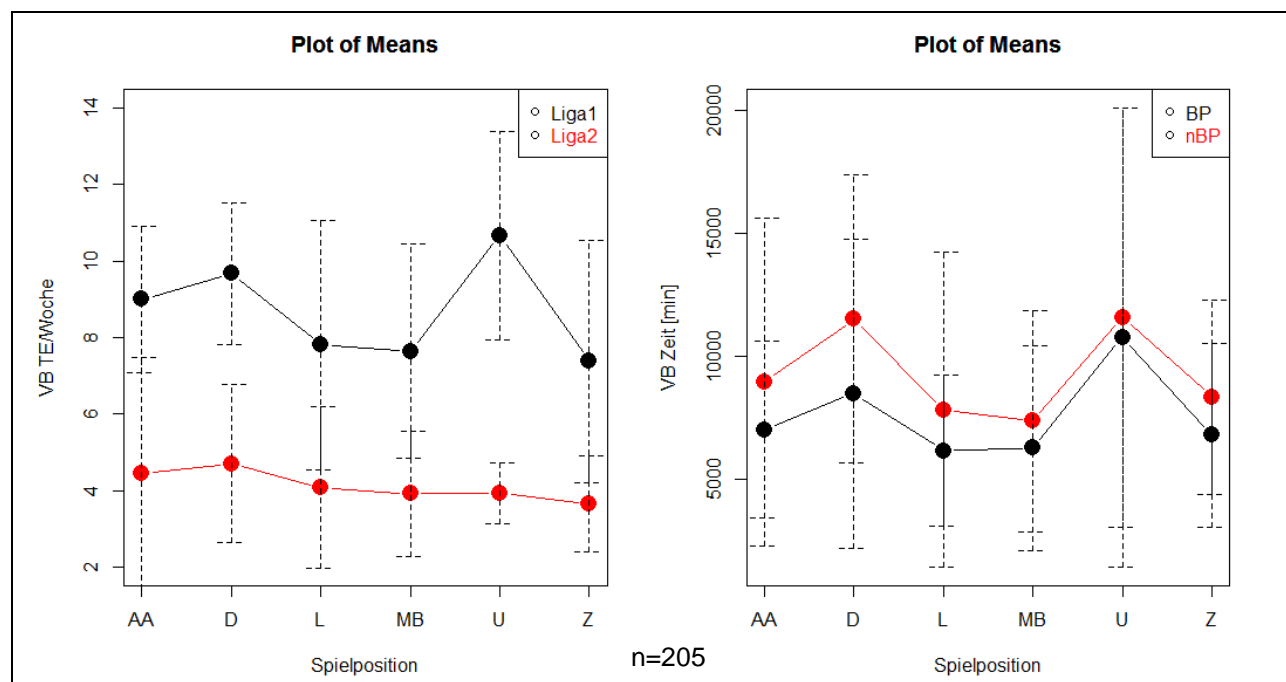


Abbildung 56: Anzahl wöchentlicher Trainingseinheiten differenziert nach aktivem Leistungsniveau und der Spielposition (links) und der Zusammenhang der in Volleyball investierten Zeit mit Rückenbeschwerden (rechts).

Es ist also davon auszugehen, dass sportartinduzierte Einflüsse auf die WS in gleichem Umfang auf die Athleten einwirken. Aufgrund diverser Differenzen in den Anforderungsprofilen der Spielpositionen ist jedoch von einer unterschiedlichen Beanspruchung bzw. Intensität auszugehen.

#### 4.8 Anmerkungen zur inferenzstatistischen Verarbeitung der Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt wird zunächst ein Überblick über die aus dieser Forschungsarbeit resultierenden relevanten Prädiktoren für Rückenschmerz gegeben und die Weiterverarbeitung mittels logistischer Regression erläutert. Dabei erfolgt insbesondere eine Betrachtung der interpartiellen Korrelationen, welche in Addition zu den berechneten AICs der Gesamtmodelle eine Entscheidung über das verwendete Konzept fällen.

Bereits mittels der Untersuchung Haags et al. (2015) konnte im Jugendfußball über derartige statistische Verfahren ein Nomogramm zur Einschätzung des Inzidenzrisikos von Rückenbeschwerden etabliert werden. Ein derartiges Tool besteht überwiegend aus nicht modifizierbaren Variablen, welche eine präventive Maßnahme bereits a priori unterbinden. Aus diesem Anlass werden hier neben dem Modell rein statistischer Art auch erweiterte Konzepte vorgeschlagen, welche durch eine Ergänzung um praxisrelevante Faktoren und eine Erweiterung der akzeptierten statistischen Fehlerwahrscheinlichkeit auf  $\alpha=0,1$  gekennzeichnet sind.

Die bisher identifizierten relevanten Zusammenhänge sind in Abbildung 57 dargestellt. Hieran lassen sich Trends positiver (Beckenneigung, Lordoseapex, Grübchenabstand und Oberflächenrotation) wie negativer (Maximale Sprunghöhe, durchschnittliche Schlafdauer, COP-Gesamtlänge, das Volumenverhältnis Oberkörper/Unterkörper und die Rumpflänge) Korrelationen zuordnen.

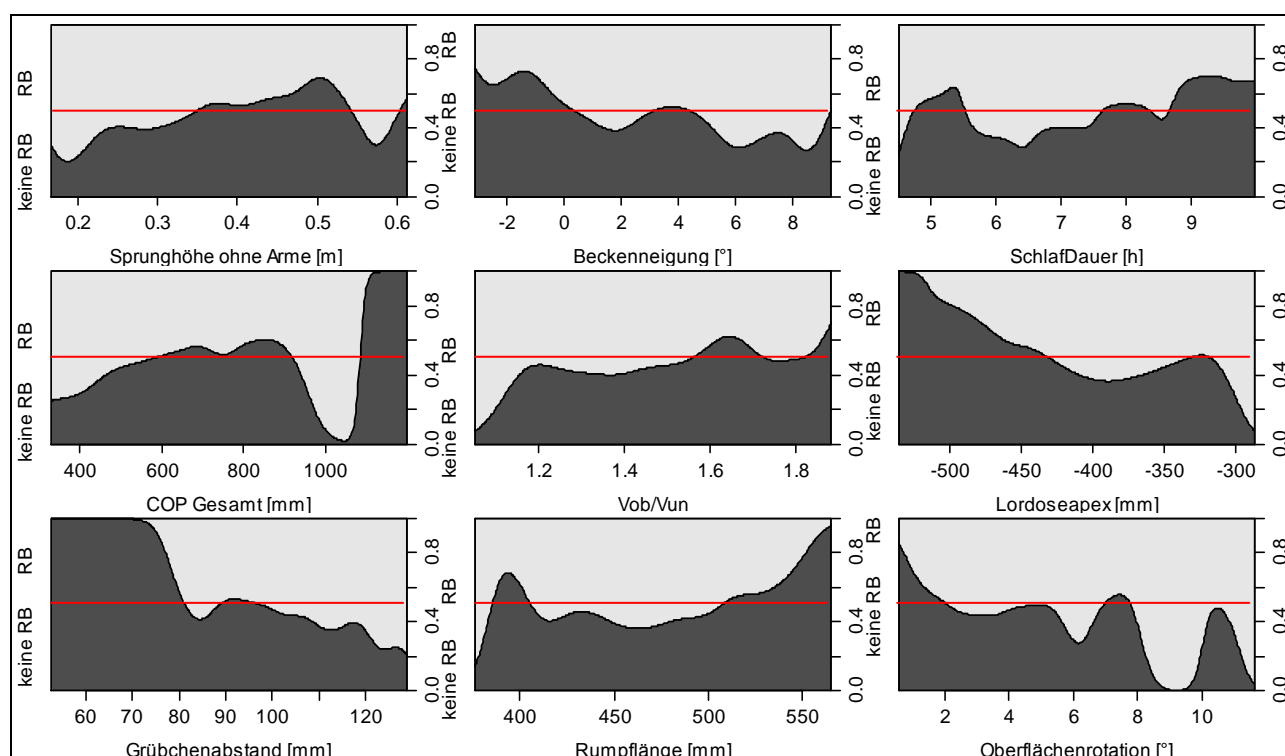


Abbildung 57: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge mit RB innerhalb der potentiellen Prädiktoren.

Eine weitere Hürde der logistischen Regressionsanalyse stellt gewiss die Festlegung der Komplexität des Modells dar. Eine Vielzahl von Prädiktoren vermag die Varianz des Outcomes am besten zu beschreiben (über Pearsons Pseudo  $R^2$ ), läuft jedoch Gefahr, aufgrund sog. *overfittings* eine eingeschränkte Aussagekraft/Praktikabilität und Interpretierbarkeit aufzuweisen (Faraway, 2002). Eine geringe Anzahl integrierter Variablen besitzt jedoch womöglich wiederum eine zu geringe Erklärung der Varianz des Outcomes. Daher wurde eine Selektion anhand univariater Zusammenhänge zu der abhängigen Variablen geprüft (Modelle 1+2),

parallel dazu eine Vorwärts- wie Rückwärtsauswahl modelliert (Modell 5) und anschließend beide Konzepte abgeglichen/ergänzt (Modelle 3+4).

Im Rahmen dieses Verfahrens wurden anschließend, wie bereits erwähnt, die standardisiert verwendeten Konfidenzintervalle bzw. Signifikanzgrenzen auf 10% erweitert, um Alternativen für das Endmodell nicht a priori zu eliminieren. Weiterhin wurden die generalisierten Modelle mittels theoriegeleiteter Überlegungen um potentiell relevante, aber statistisch nicht eindeutig erkennbare Variablen erweitert und abermals in die Berücksichtigung mit aufgenommen. Bevor besagte Konzepte jedoch vorgestellt werden, soll zunächst die Darlegung linearer Zusammenhänge der Prädiktoren untereinander betrachtet werden.

#### 4.8.1 Partielle Korrelationen

Über eine Pearson Korrelationsmatrix (vgl. Abbildung 58) wird die Höhe bzw. die Relevanz der Zusammenhänge dargestellt. Treten vermehrt Variablen auf, welche stark miteinander zusammenhängen, müssen Prädiktoren aus dem Modell ausgeschlossen werden (z. B. Vob/Vun), um vielversprechende Variablen nicht zu maskieren. Dabei ist nicht nur von Interesse, ob Multikolarität besteht, sondern auch ob sie die Steigung der anderen Regressionsgeraden beeinflusst, bzw. in wie vielen Prädiktoren sich diese Korrelation widerspiegelt.

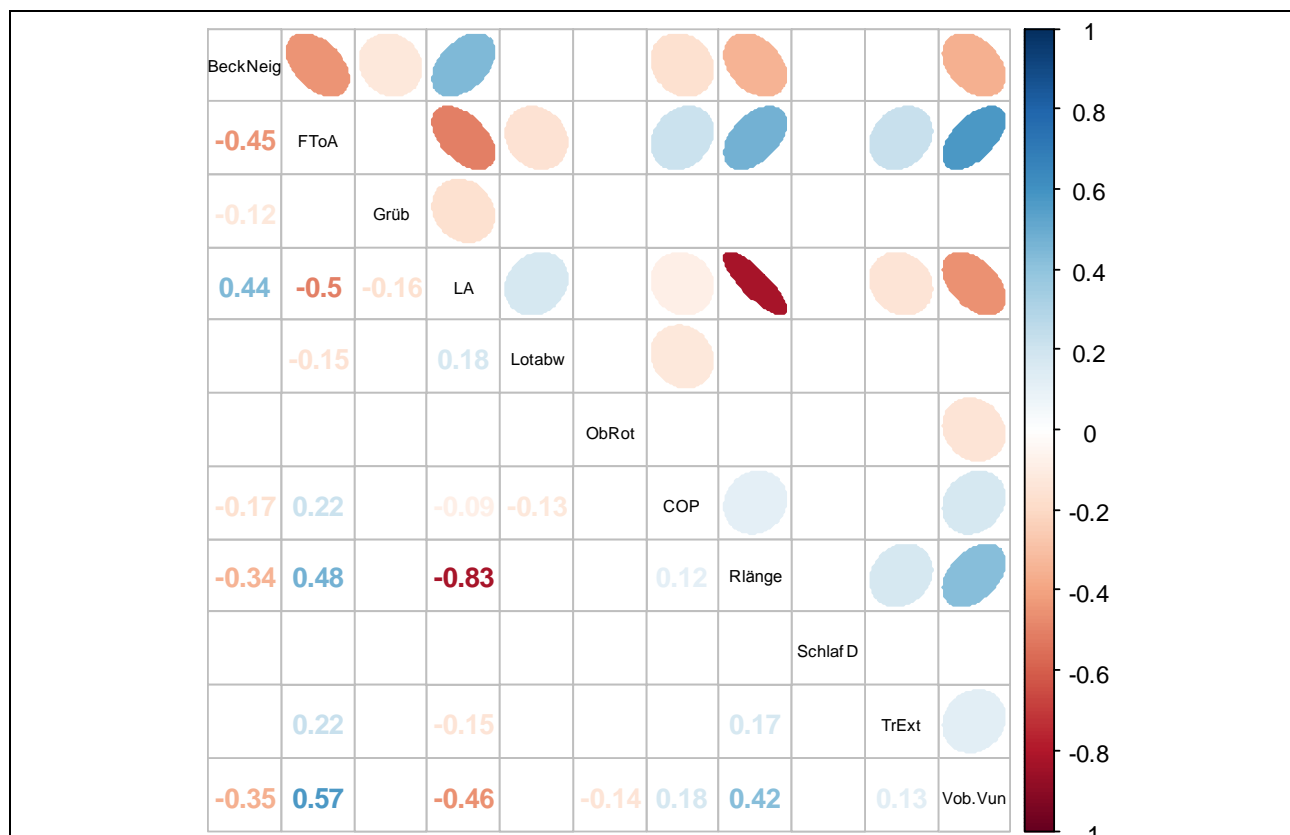


Abbildung 58: Korrelationsmatrix der durch die lineare Regression ermittelten relevanten Prädiktoren für RB.

Hohe Korrelationen wurden zusätzlich auf statistische Signifikanz geprüft. Die Ellipsen illustrieren das Vorzeichen des Zusammenhangs sowie deren Stärke kombiniert aus Intensität der Farbe und Ellipsenradius. Der Zusammenhang zwischen Rumpflänge, dem Oberkörpervolumen und Lordoseapex stellte sich als höchst signifikant heraus, was zu einer Extraktion der Rumpflänge sowie des Oberkörpervolumens aus dem Modell zur Vermeidung von Kovarianzen führte. Die genannten mathematischen Methoden lassen die in der folgenden Tabelle 35 zusammengefassten Ansätze formulieren, welche in näherer Betrachtung der Güte im weiteren Verlauf reduziert werden.

*Tabelle 35: Logistische Regressionsmodelle der untersuchten Stichprobe; die rot hinterlegten Prädiktoren sind Variablen, welche aufgrund besagter Vorüberlegungen zur Kolinearität eliminiert wurden, wenn gleich sie eine scheinbar statistische Signifikanz aufweisen. Die grau hinterlegten Prädiktoren weisen keine statistische Signifikanz auf, werden jedoch mittels der Vor- bzw. Rückwärtsselektion empfohlen.*

Modell1	Modell2	Modell3	Modell4	Modell5
univ sig p<0,05	univ sig p<0,10	univ sig p<0,05 + AIC	univ sig p<0,10 + AIC	AIC
FToArms*	FToArms*	FToArms*	FToArms*	FToArms
COP*	COP*	COP*	COP*	Grübchen
Vob/Vun*	Vob/Vun*	Vob/Vun*	Vob/Vun*	LA
RLaenge*	RLaenge*	RLaenge*	RLaenge*	BeckNeig
Grübchen*	Grübchen*	Grübchen*	Grübchen*	SchlafD
LA*	LA*	LA*	LA*	Lotabw
OberflRot*	OberflRot*	OberflRot*	OberflRot*	TraiRExt
	BeckNeig	Lotabw	BeckNeig	
	Spielposi MB	RumpfNeig	Spielposi MB	
	SchlafD	TraiRExt	SchlafD	
			Lotabw	
			RumpfNeig	
			TraiRExt	

Die farblich gekennzeichneten Prädiktoren beinhalten zum einen die bereits erwähnten, aufgrund hoher Ko-korrelationen aus den Modellen eliminierten, aber dennoch statistisch signifikanten Prädiktoren (rot) und zum anderen die nicht signifikanten aber für die Aussagekraft des Modells ( $R^2$ ) relevanten Faktoren. Dabei werden die Rumpflänge und das Verhältnis der Volumina Oberkörper/Unterkörper komplett aus den Modellen entfernt, hingegen von den grau hinterlegten Faktoren nur die Lotabweichung in die Modelle aufgenommen wird. Da der Kausalzusammenhang externen Trainings und Rückenschmerzen nicht einwandfrei zu interpretieren ist und die Rumpfneigung mit für die Zuverlässigkeit des Modells unbrauchbar hohen Messunsicherheiten behaftet ist, werden diese ebenfalls entfernt.

Für die Vorwärts- bzw. Rückwärtsselektion der Parameter wurden alle potentiellen Prädiktoren in ein Gesamtmodell integriert (Pearson Pseudo  $R^2=0,74$ ). Zur Beurtei-

lung der Modellgüte in jedem einzelnen Schritt des Selektionsverfahrens wurde das Akaike Informationskriterium herangezogen. Für eingehendere Auseinandersetzungen mit dieser Thematik sei auf (Saefken, Kneib, van Waveren & Greven, 2014, S.204, Erläuterung des AIC + mAIC) verwiesen.

Der Vergleich der Modelle zeichnet Modell 4 als zufriedenstellend zur Beschreibung der Entstehung von Rückenbeschwerden aus (Tabelle 36). Dabei ist zu berücksichtigen, dass beim Pseudo-R<sup>2</sup> (ermittelt über den Likelihood-Ration-Test), entgegengesetzt zum klassischen R<sup>2</sup>, „schon bei Größen von 0,2 bis 0,4 von einer guten Modellschätzung auszugehen ist“ (Urban, 1993, S.62f). Der Determinationskoeffizient Pseudo-R<sup>2</sup> wird mittels dem

„Quotient aus der Summe der Quadrate zwischen geschätzten und beobachteten Y-Werten und der Summe der Quadrate zwischen beobachtetem Y-Mittelwert und den einzelnen beobachteten Y-Werten von 1 subtrahiert“ (Urban, 1993, S.62)

gebildet und ist somit als Evaluation der Modelle anhand des Verhältnisses der Abweichungen der Residuen des geschätzten Modells und den tatsächlichen Werten zu der Streuung der Y-Werte um den Mittelwert zu betrachten.

Tabelle 36: Gütevergleich der Modelle anhand des Pearson Pseudo R<sup>2</sup>.

Modelle	Pearson Pseudo R <sup>2</sup>
A1	0,13***
A2	0,20***
A3	0,15***
A4	0,26***
A5	0,17***

Nachdem die Berechnung der Güte über die Likelihood-Ratio Schätzung zur Entscheidung für Modell 4 führte, kann die Regressionsgleichung anhand der berechneten Koeffizienten (Abbildung 59) aufgestellt werden und führt somit zu der folgenden Funktion [76]. Der R Output zeigt sämtliche geprüften Faktoren in ihrer Ausprägung innerhalb der Regressionsgleichung sowie der jeweiligen Standardabweichung (eingeklammert). Die für die graphische Illustration verwendeten unabhängigen Variablen zeichnen sich überwiegend als signifikant ( $p < 0,05$ ) ab. Lediglich der Grübchenabstand ist als höchst signifikanter Einflussfaktor dargestellt und ist demnach auch als Haupt- bzw. Richtwert in der Erstellung des Nomogramms anzusehen.

	<i>Dependent variable:</i>		<i>Dependent variable:</i>	
	Back Pain		Back Pain	
Spielposition=D	0.068 (0.627)		Gruebchenabstand_DL_DR_mm (0.017)	0.047***
Spielposition=L	0.888* (0.530)		BeckNeig_Grad (0.078)	0.100*
Spielposition=MB	0.788* (0.417)		LA_VPDM_mm (0.005)	0.008*
Spielposition=U	0.083 (0.604)		Oberflaechenrotation_rms_Grad (0.088)	0.100*
Spielposition=Z	0.613 (0.504)		SchlafDauer (0.161)	-0.223*
FTohneArms	-1.831* (2.243)		Lotabw (0.245)	0.303*
PathRe	-0.002* (0.001)		Constant	0.635 (2.596)
			Observations	0
			R <sup>2</sup>	0.256
			chi <sup>2</sup>	34.324*** (df= 13)
			Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Abbildung 59: R-Output der logistischen Regression.

$\text{Logit}(Y X = x) = 0,635 - 1,831 * X_1 - 0,002 * X_2 + 0,047 * X_3 + 0,008 * X_4 + 0,100 * X_5 + 0,328 * X_6 + X_7 - 0,225 * X_8 + 0,303 * X_9$	[69]
<p>Mit den Prädiktoren:</p> <p><math>X_1 = FToArms [m]</math></p> <p><math>X_2 = COP [mm]</math></p> <p><math>X_3 = Gruebchenabstand [mm]</math></p> <p><math>X_4 = LordoseApex [mm]</math></p> <p><math>X_5 = Oberflaechenrotation [^\circ]</math></p> <p><math>X_6 = BeckenNeigung [^\circ]</math></p> <p><math>X_7 = Spielposition [D = 0,068, L = 0,888, MB = 0,788, U = 0,083, Z = 0,613]</math></p> <p><math>X_8 = SchlafDauer [h]</math></p> <p><math>X_9 = Lotabweichung [^\circ]</math></p>	

Die Vorzeichen spiegeln dabei die Richtung des Einflusses wider, welche ebenfalls anhand der Effekt Plots (Abbildung 60) zu begutachten ist. Die grauen Flächen legen die Glättungsbreite bzw. die mögliche Varianz dar, wobei ein schmaler Streifen für eine hohe Aussagekraft spricht. Die Stärke des Zusammenhangs wird durch den Verlauf der Kurve illustriert. Adäquat hierzu ist bei dem kategorialen Merkmal Spielposition die Standardabweichung angetragen, um die graphische Beurteilung zu unterstützen.

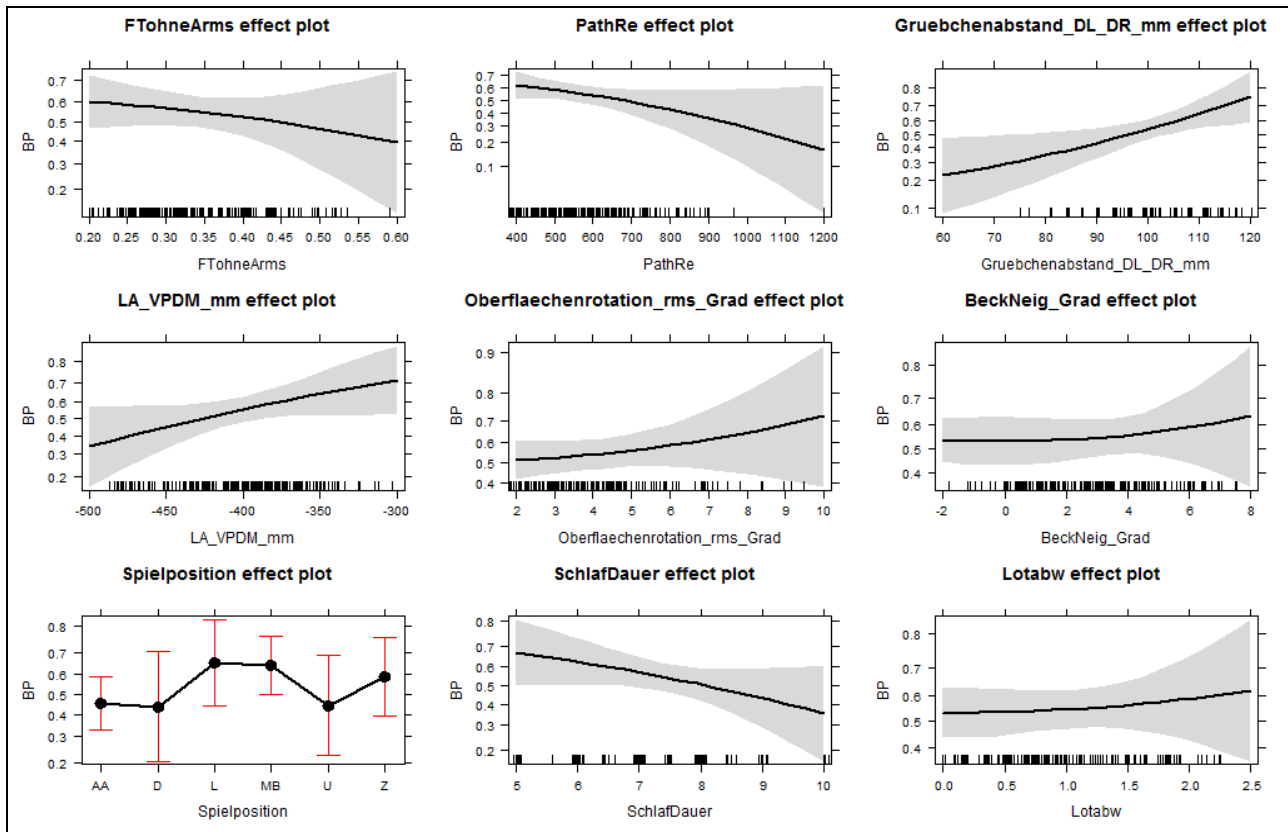


Abbildung 60: Effektplots der modellinhärenten Prädiktoren auf die Entstehung von Rückenbeschwerden.

Ähnlich dem Prinzip zur Evaluation der separaten Modellgüte verläuft die Identifikation der Vorhersagequalität der Parameter. Hier werden anhand der Abweichungen der geschätzten und tatsächlichen Ausprägungen Prognosen abgegeben, welche im Nachgang evaluiert zu einer Trefferwahrscheinlichkeit bzw. der Fehlklassifikation führen. Diese wird anhand des c-Kriteriums evaluiert (0,5=rein zufällig, 1=perfekte Vorhersage) und beträgt für das besagte Modell 4 mit  $c=0,72$  keine gute, aber im Rahmen des komplexen Konstruktes Rückenschmerz akzeptable prädiktive Kraft (Tabelle 37) im Rahmen der Ein-Jahres-Vorhersage.

Tabelle 37: R-Output zum logistischen Regressionsmodell Nr. 4; die Modellbewertungsindizes  $R^2$ , Brier und C sind trotz ihrer geringen Ausprägung im Rahmen einer logistischen Regressionsanalyse als "gut" zu bewerten.

		Model Likelihood Ratio Test		Discrimination Indexes		Rank Discrim. Indexes	
obs	205	LR chi <sup>2</sup>	34,32	R <sup>2</sup>	0,26	C	0,72
0	94	d.f.	13	g	1,07	Dxy	0,44
1	111	Pr(>chi2)	0,0011**	gr	2,91	gamma	0,44
max  deriv	6e <sup>-06</sup>			gp	0,23	tau-a	0,22
				Brier	0,21		

Alternativ wird das c-Kriterium auch als AUC (Area Under the Curve) bezeichnet. Damit ist das Integral des klassischen ROC-Plots (Receiver-operator characteristics, siehe auch Lasko, Bhagwat, Zou & Ohne-Machado, 2005, S.404; Hanley &

McNeil, 1982) gemeint, welcher die Vorhersage-Resultate eines Modells den tatsächlichen Werten gegenüberstellt (Scheipers, Perrey, Siebers, Hansen & Ermert, 2005, Abbildung 61). Er stellt also das Ausmaß dar, in welchem die Wahrscheinlichkeit, einen positiven Befund von RB als solchen zu erkennen, größer ist, als einen negativen für positiv zu halten und nimmt somit Werte zwischen 0 und 1 an.

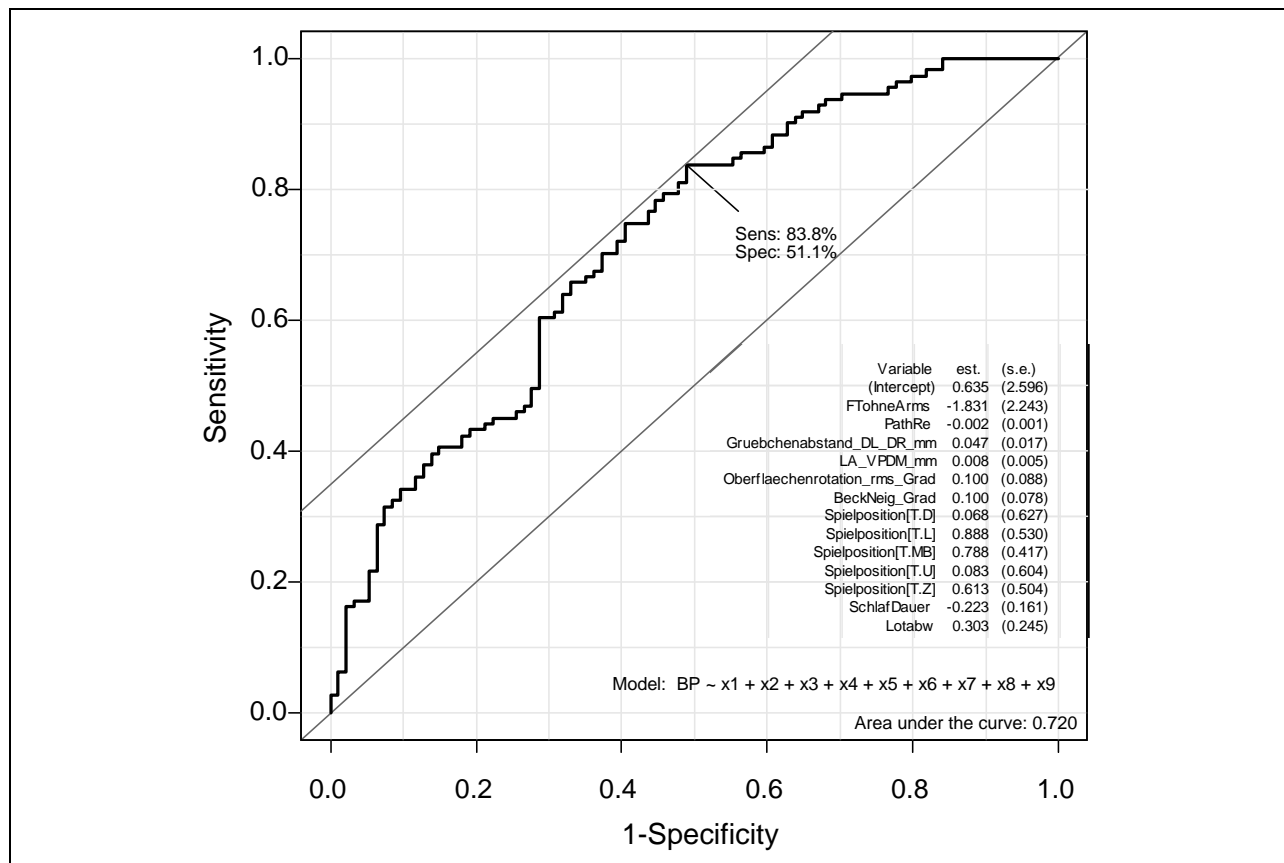


Abbildung 61: ‚Receiver-operator characteristics‘ Funktion des ausgewählten Modells (Sensitivität/Spezifität).

Diese Methode basiert auf einer 4-Felder Tafel (Tabelle 38), welche die beiden Kernbegriffe Sensitivität und Spezifität anhand von Cut-Off Werten berechnen lässt. *Sensitivität* bezeichnet hier die Höhe der durch das Testmodell korrekt identifizierten erkrankten Patienten als Anteil aller Kranken ( $A1/(A1 + A2)$ ) und *Spezifität* die Güte der korrekten Zuordnung nicht erkrankter Patienten als Anteil aller Gesunden ( $B2/(B1 + B2)$ ). Der exakte Wert dieses Modells beträgt adäquat zum c-Kriterium  $AUC_{M4}=0,7202$ .

Tabelle 38: 4-Felder Tafel zur Beurteilung der Sensitivität (A1) und Spezifität (B2) eines Regressionsmodells.

Ergebnis des Testmodells	Tatsächlicher Probandenstatus	
	RB präsent	RB nicht präsent
RB präsent	A1) richtige Zuordnung	B1) falsche Zuordnung
RB nicht präsent	A2) falsche Zuordnung	B2) richtige Zuordnung



Die Beurteilung der Cut-Off Werte erfolgt über die Prädiktion einer Stichprobe derselben Fallzahl der Ursprungskohorte und berechnet schrittweise anhand jeder Probandenzuordnung das Verhältnis von Sensitivität zu Spezifität neu (ähnlich der Vorwärts-/Rückwärtsselektion zur Modellauswahl im AIC). Ziel ist es, das optimale Verhältnis von Sensitivität zu Spezifität zu erreichen. Dieses wiederum ist nicht nur quantitativ zu bemessen (hohe Sensitivität und niedrige 1-Spezifität), sondern auch qualitativ zu evaluieren. Dabei ist entscheidend, ob es schwerer wiegt einen eigentlich erkrankten Probanden als gesund anzusehen (A2) oder einen gesunden Patienten als vermeintlich erkrankt zu werten (B1). Aus praktischer Sicht stellen zum einen RB keinen lebensbedrohlichen Zustand und zum anderen in erster Linie ein behandelbares Erkrankungsbild dar, welches mit keinen/geringen therapeutischen Nebenwirkungen einhergeht. Demnach ist die falsche Zuordnung gesunder Probanden in die Gruppe der Erkrankten als geringes Problem einzustufen, wohingegen einen tatsächlich gefährdeten zu übersehen, aufgrund potentieller Chronifizierung höhere Relevanz besitzt. So bemisst sich das in Abbildung 61 dargestellte, im Rahmen der potentiellen Modelle als optimal angesehene, Verhältnis von Sensitivität zu Spezifität auf 83,3% zu 51,1%. Demnach stellt sich das Prädiktionsmodell als sensitiv, aber zu gering spezifisch heraus. Potentielle Maßnahmen zur Optimierung des Konzepts werden im Rahmen der Diskussion des folgenden Kapitels näher erläutert.

#### 4.8.2 Entwicklung des Nomogramms

Auf Basis der Modellierung der Zusammenhänge der Prädiktoren zu Rückenschmerz und deren statistischer Beurteilung lässt sich nun ein Nomogramm erstellen, welches den Effekt der Variablen visuell erfassbar und interpretierbar werden lässt. Hierfür wurden den Prädiktoren je nach Effektstärke (Beta Wert) Punktskalen bis zu einem Maximum von 100 zugeordnet (vgl. Tabelle 39).

Tabelle 39: Die Berechnung der Punktwerte des Nomogramms anhand der Steigungen der einzelnen Prädiktoren und ihrer maximalen Ausprägung (LP).

Prädiktor	Steigung (Beta)	Linearer Prädiktor der Maximalwerte	Punktwert (anschließend interpolieren)
Sprunghöhe	1,831	$0,61 \cdot 1,831 = 1,12$	$=100 \cdot (1,12/8,53)=13,13$
COP	0,002	$1435 \cdot 0,002 = 2,87$	$=100 \cdot (2,87/8,53)=33,65$
Distanz der Grübchen	0,047	$181,5 \cdot 0,047 = 8,53$	=100 für $x=181,5$
Lordoseapex	0,008	$-285,7 \cdot 0,008 = 2,29$	$=100 \cdot (2,29/8,53)=26,85$
Oberflächenrotation	0,100	$15,8 \cdot 0,100 = 1,58$	$=100 \cdot (1,58/8,53)=18,52$
Beckenneigung	0,328	$16,7 \cdot 0,328 = 5,48$	$=100 \cdot (5,48/8,53)=64,3$
Spielposition	0,888	$0,888 = 0,89$	$=100 \cdot (0,888/8,53)=10,41$
Schlafdauer	0,225	$10 \cdot 0,225 = 2,25$	$=100 \cdot (2,25/8,53)=26,38$
Lotabweichung	0,303	$4,37 \cdot 0,303 = 1,32$	$=100 \cdot (1,32/8,53)=15,47$

Der Faktor mit der größten Effektstärke bildete den Orientierungswert für sämtliche restliche Prädiktoren, welche anteilig in Relation zum Hauptprädiktor evaluiert wurden (nach  $100 \cdot (\text{maximaler Beta Wert Hauptfaktor} / \text{maximaler Beta Wert Prädiktor})$ , nach Yang, 2013, S.2)). Der Lineare Prädiktor (LP) stellt das Ergebnis der Regressionsgleichung bei singulärer Betrachtung der separaten Faktoren dar. Dieser wird verwendet, um die Umrechnung der Punktwerte auf die Wahrscheinlichkeitsskala nach folgendem Muster zu ermöglichen:

- „1) Points per unit of linear predictor:  $100 / (\text{max LP} - \text{min LP})$
- 2) Linear predictor units per point:  $1 / \text{Points per unit of linear predictor}$
- 3) LP for total point of 0:  $\beta_0 + X\beta$ , hold each factor at reference level
- 4) LP for total point  $> 0 = \ln [\text{Risk of } Y = 1 / (1 - \text{Risk of } Y = 1)]$
- 5) Total Point = Points per unit of linear predictor \*  $(\text{LP}_i - \text{LP for total point of 0})$ “ (Yang, 2013, S.4)

Für das ausgewählte Modell ergeben sich im Rahmen der genannten Rechenschritte die in Tabelle 40 aufgeführten Punktzahlen adäquat zur Ausprägung der Variablen x. Dabei stellt der Grübchenabstand den Prädiktor mit dem Maximalwert von 100 Punkten. Abbildung 62 liefert das abgeschlossene Nomogramm zur schnellen Einschätzung des Inzidenzrisikos für Rückenbeschwerden bei Hochleistungsvolleyballathleten.

Sämtliche Werte der Probanden, die zwischen den angegebenen Grenzen liegen, werden zur nächsten Stufe auf- bzw. abgerundet. Ein Mittelblocker, welcher über eine Sprunghöhe von 30 cm verfügt, einen COP von 900mm, mit einer durchschnittlichen täglichen Schlafdauer von 9 Stunden und den WS Parametern Grübchenabstand 105mm, LA bei  $|-435\text{mm}|$ , einer Oberflächen Rotation von  $0,8^\circ$ , einer Beckenneigung von  $14^\circ$  und einer Lotabweichung von  $0^\circ$  besitzt also einen Gesamtscore von 125 Punkten und ist somit einer Erkrankungswahrscheinlichkeit von annähernd 45% zuzuordnen. Graphisch wird diese Wahrscheinlichkeit über das Fällen eines Lots auf die Achse der Gesamtpunktzahl auf Höhe der erreichten Summe.

Tabelle 40: Auflistung der Gesamtpunktzahlen der Prädiktoren ausgehend vom Grübchenabstand als Hauptfaktor, nach Yang, 2013.

FToArms		COP		DGrübch		LA		ObRot		BeckNeig		Spielpos		SchlafD		LotAbw			
Val	P	Val	P	Val	P	Val	P	Val	P	Val	P	Val	P	Val	P	Val	P		
0,15	11	200	33	20	0	560	0	0	0	-15	0	AA	0	4,5	14	0,0	0		
0,20	10	300	31	40	11	540	2	2	2	-10	6	D	1	5	13	0,5	2		
0,25	9	400	28	60	22	520	4	4	5	-5	12	L	10	5,5	12	1	4		
0,30	8	500	26	80	33	500	5	6	7	0	18	MB	9	6	10	1,5	5		
0,35	6	600	23	100	44	480	7	8	9	5	24	U	1	6,5	9	2	7		
0,40	5	700	21	120	56	460	9	10	12	10	29	Z	7	7	8	2,5	9		
0,45	4	800	18	140	67	440	11	12	14	15	35			7,5	7	3	11		
0,50	3	900	15	160	78	420	13	14	16	20	41			8	5	3,5	12		
0,55	2	1000	13	180	89	400	14	16	19	25	47			8,5	4	4	14		
0,60	1	1100	10	200	100	380	16			30	53			9	3	4,5	16		
0,65	0	1200	8			360	18			35	59			9,5	1				
		1300	5			340	20			40	65			10	0				
		1400	3			320	22												
		1500	0			300	23												
						280	25												
Gesamtpunktzahl		103		112		118		124		128		133		138		145		154	
Predicted Val		0,1		0,2		0,3		0,4		0,5		0,6		0,7		0,8		0,9	

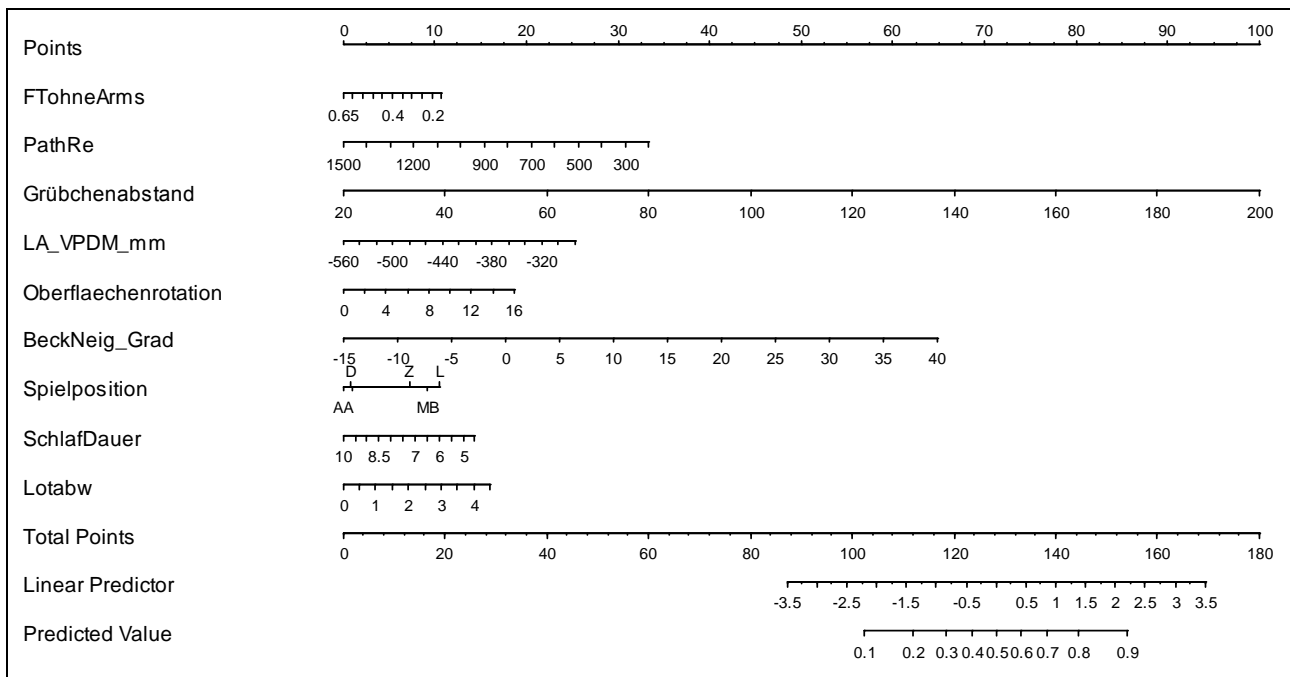


Abbildung 62: Nomogramm bzgl. der Entstehung von Rückenschmerz im Hallenvolleyball anhand diverser modifizierbarer Prädiktoren.

## 5 Diskussion

Bevor in diesem Kapitel die eingangs erwähnten Forschungsfragen vor dem Hintergrund der soeben dargestellten Resultate der Untersuchung diskutiert werden, soll zunächst eine kritische Betrachtung der eigenen Methoden erfolgen. Dies soll helfen, dem Leser einen klaren Blick für die Aussagekraft der einzelnen Parameter zu verschaffen.

### 5.1 Kritische Betrachtung der Methoden

In den bisherigen Kapiteln konnte dargelegt werden, welche methodologischen Notwendigkeiten sich aus den Hypothesen entwickelten und welche Mittel sich laut aktueller Forschungsliteratur als probat erwiesen haben. Dennoch sind bei kritischer Betrachtung der Untersuchung, Zugeständnisse in der Ausführung zu machen, welche im Folgenden erläutert und zur Interpretationsfähigkeit der Resultate beitragen sollen.

Das zweifelsohne größte methodologische Problem ist das eines Designs einer Querschnittsstudie zur Identifikation von Risikofaktoren inhärente. Durch die fehlenden Verlaufsmessungen bleibt die Kausalität mancher Parameter ungeklärt. Auch präzise formulierte Fragen können retrospektiv aufgrund eventueller Recall-Bias die Interpretation von Ursache und Wirkung nicht eindeutig klären. Wie bereits erwähnt, stellt sich die längsschnittliche Begleitung von Mannschaften – insbesondere in dieser Größenordnung – im Profisport jedoch als impraktikabel und im Rahmen einer derartigen Forschungsarbeit zu kostenintensiv heraus.

Basierend auf der hohen Stichprobenzahl ergibt sich anhand der Dauer der Einzelmessungen und der Verortung der Vereine ein Zeitaufwand von ca. 2 Monaten. Diese Periode innerhalb der Saisonvorbereitung impliziert differierende Trainingsbelastungen und Leistungszustände. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass sich alle Mannschaften in etwa auf dem gleichen Stand der Vorbereitungsphase befinden. Die maximale Differenz der bisherigen Vorbereitungszeit zwischen zwei Mannschaften lag jedoch immer noch bei 10 Tagen (~12 TEs). Aufgrund der Anzahl der Messungen, der anfallenden Kosten sowie der zu bewältigenden Distanzen zwischen den Vereinen ist eine schnellere Durchführung der Studie jedoch als unrealistisch anzusehen.

Die Bedingungskonstanz wurde versucht über identische Testleiter und – apparaturen sicherzustellen. Da es sich um unterschiedliche Erhebungsorte handelte, konnten externe Einflüsse (u.a. Hallenboden, Tageszeit) ebenso wie der Testleitereffekt nicht kontrolliert werden. Es ist also möglich, dass motivationale Aspekte der Athleten (je nach Geschlecht) eine Rolle in der Ausprägung leistungsbezogener Tests gespielt haben könnten. Auf die sonstige divergierende Motivation der Athleten konnte kein Einfluss genommen werden.

Die Akzeptanz gegenüber der Versuchsbatterie ist aufgrund kostenfreier Teilnahme und geringem Mehraufwand als äußerst positiv einzuschätzen. Quantitativ lässt

sich die motivationale Komponente anhand des Ermüdungsindex eruieren. Dabei zeugen Werte  $> 1$  von einer geringen Teilnahmebegeisterung, wohingegen geringere Resultate als durchaus positiv zu bewerten sind. Die akzeptable Rücklaufquote (51,3%) der Fragebögen bestätigt das Eigeninteresse der Teilnahme im Rahmen Trainings-externer Untersuchungen.

Speziell in der Erhebung des COPs lassen sich im Nachgang Optimierungen vorschlagen, welche auf dem Einfluss von Messzeit und -frequenz (des sogenannten *Sampling Duration Effekts*) beruhen. Dbzgl. gibt es einige Untersuchungen für den beidbeinigen Stand, die längere Messzeiten als reliabel einschätzen (Le Clair & Riach, 1996; Schubert, Kirchner, Schmidtbleicher & Haa, 2012). Dies lässt sich ebenfalls für den Einbeinstand bestätigen (Parreira, Boer, Rabello, Costa Vde, Oliveira, et al., 2013), speziell auch in Bezug auf Rückenbeschwerden (low back pain, Burangne, 2004). Schon aus empirischer Sicht scheint demnach eine Messzeit von mindestens 30s inklusive einer Abtastrate von über 60Hz als geeignet zur Abbildung symptombedingter Differenzen der Stabilisierungsfähigkeit. Neben den gelieferten Befunden zum gold standard der Testung posturaler Kontrolle herrschen auch Modifikationen der sensorischen Parameter im beidbeinigen Stand (visuelle Differenzierungen: Augen offen/geschlossen, Carpenter et al., 2001) vor, welche sich jedoch erst ab einer Messzeit von 60s als reliabel erwiesen (van der Kooij et al., 2011). Auf messtechnischer Ebene sind derartige Notwendigkeiten der Testdauer auf die Frequenzanteile des COP zurückzuführen, welche überwiegend unter 1Hz liegen und somit die sehr tiefen Frequenzen von hohen überlagert werden (Vieira, Oliveira & Nadal, 2009; Schubert et al., 2012). Signalanteile von 0,1 Hz und geringer werden also innerhalb von 30s nur unzureichend oft abgebildet ( $<3$ ), sind jedoch wesentlicher Bestandteil menschlicher Eigenoszillation.

In Bezug auf die Erfassung der Lokalisation von RB, gelten Schmerzzeichnungen gemeinhin zwar als nicht besonders valide, sind aber dennoch unerlässlich in der klinischen Diagnostik (Pfingsten et al., 2003) insbesondere nicht organischer Beschwerden (Uden et al., 1988). Daher wurde ebenfalls ausführlich die Genauigkeit der Darlegung des Schmerzempfindens aufgeführt.

Unabhängig von den methodologischen Schwachstellen dieser Untersuchung sei noch einmal explizit auf die statistische Unsicherheit der Erhebung hingewiesen. Zwar handelt es sich um ein außerordentlich großes Kollektiv des Spitzensports, die Vielzahl der erhobenen Parameter erhöht zugleich jedoch die Möglichkeit eines rein zufälligen statistischen Zusammenhangs. Je höher also die Stichprobenzahl sowie die Anzahl beobachteter Variablen, desto wahrscheinlicher ist es auch, dass sich Variablen als signifikant korrelierend herausstellen. Die Methode der logistischen Regression ist zudem lediglich in der Lage, lineare Zusammenhänge zwischen den Prädiktoren darzustellen und erlaubt kaum, Optimaltrends zu identifizieren. Dadurch, dass Kokorrelationen apriori eliminiert werden müssen, sind also gewisse Eigenschaftskombinationen in ihrer Ausprägung auf die unabhängige Variable nicht zu berücksichtigen. Aus diesem Anlass sei nochmals darauf hingewiesen,

dass eine Postvalidierung der identifizierten Prädiktoren im Rahmen einer verringerten Testbatterie wünschenswert erscheint.

Im Rahmen dieser Methodik ergeben sich nun nicht nur allerhand Parameter bzgl. des Auftretens für Rückenschmerzen im Volleyball, welche ein aktuelles Bild der obersten Leistungsklassen wiedergeben, sondern es lassen sich in der Folge für zukünftige longitudinale Studien Hinweise generieren, die den Fokus und die Effektivität besagter Untersuchungen erhöhen können.

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

Das vorrangige Ziel dieser Forschungsarbeit war, Parameter zu identifizieren, welche sich im Hallenvolleyball für die Entstehung von Rückenschmerz verantwortlich zeigen. Hierbei scheint eine Differenzierung nach den genannten Subsets der Stichprobe nicht nur wegen der unterschiedlichen Grundvoraussetzungen ratsam, sondern lässt sich auch trainingswissenschaftlich bzw. spielstrukturanalytisch empfehlen. Neben einigen externen Variablen wie der Netzhöhe, Trainingshäufigkeit oder dem Arbeitsumfeld divergieren aber auch interne wie Trainingszustand, motivationale Komponenten, die neuromuskuläre Kontrolle oder das Schmerzempfinden zwischen den Untergruppen. Demzufolge wird auch in dem folgenden Abschnitt diese Differenzierung innerhalb mancher Prädiktoren aufrechterhalten.

Die Prävalenz besagter Beschwerden liegt bei beiden Geschlechtern unterhalb der, in der altersadäquaten Normalbevölkerung Deutschlands diagnostizierten, Häufigkeit (Raspe, 2012). Aufgrund der differierenden alltäglichen Belastungsanforderungen ist das klassische LBP jedoch nicht auf Athleten trivial adaptierbar (Hoy et al., 2010). Der Vergleich zu anderen Top Sportarten ist hinfällig, da hier kaum belastbare Daten vorliegen (Airaksinen et al., 2006; Bundesärztekammer, 2010). Frühere Untersuchungen im Fußball (Haag et al., 2015) und im Basketball (Mehdizadeh, Rajabi & Abbasi, 2013) lassen jedoch vermuten, dass die Prävalenz von RB in anderen Ballsportarten ähnlich hoch ausfällt. Die Mechanismen, die zu besagten Beschwerden führen, scheinen aufgrund der intensiven körperlichen Kontakte mit den Gegenspielern aber anders verortet. Das erhöhte Verhältnis traumatischer zu chronischen Verletzungen von Kontaktsportarten im Vergleich zum Volleyballsport (Paajanen, Ristolainen, Turunen & Kujala, 2011; Ristolainen et al., 2010) unterstützt diese These. Erstaunlicherweise stellt sich heraus, dass das Geschlecht keinen Beitrag zur Erklärung der Varianz von RB in der vorliegenden Stichprobe von Volleyballern liefert.

Die Prädilektionsstelle des Rückenschmerzes lässt sich bei der Volleyballkohorte überwiegend im lumbalen Bereich der WS verorten. Die Ursache hierfür wird oft in der häufigen Hyperextension der WS gesehen (Krämer et al., 2005), sei es beim Auf-, Angriffsschlag oder dem rückwärtigen oberen Zuspiel. Selbst der Hechtbagger verzeichnet in seiner Bewegungsausführung eine schnellkräftige Überstreckung der WS, so dass jede Spielposition von wiederholter Extension der WS betroffen ist. Die Auswirkungen auf die Bandscheiben und die resultierenden Kräfte der stabilisierenden Muskeln, Sehnen und Bänder bei derartigen Bewegungen wurden bereits in vorigen Kapiteln ausführlich behandelt. Es konnte dabei insbesondere die Bedeutung intensiver und steter Sprungbelastungen für die Entstehung von RB herausgestellt werden.

Brüggemann (2015) konnten über inverse Dynamik die kinetischen Kräfte auf die Körperstrukturen bei einem CMJ auf 500% des Körpergewichts identifizieren. Laut Maxwell (1981) vergrößert eine Postversion und Rotation des Rumpfes den prozentualen Anteil beschleunigter Massen bei offensiven Aktionen und bewirkt so ei-

ne erhöhte Scherkraft, welche laut Chung et al. (1990) durch die Bogenspannung und die Verdrehung des Rumpfes von bis zu 29° verursacht wird. Potvin (2008) stellt zusätzlich die Bedeutsamkeit lateral gerichteter Bewegungen heraus: „asymmetrical spine postures and moments, away from the sagittal plane and flexion/extension axis, are important risk factors for LB injuries“ (S.895). Unter Berücksichtigung der sportarttypischen (lateralen) Bewegungsmuster des Volleyballs stellt sich so die Seitabweichung der WS als offensichtliches Problem dar, wie auch Dalichau und Scheele (2002, S.15) berichten. Die Resultate dieser Dissertationsschrift unterstützen diese Befunde, indem die Hauptlokalisierung der Rückenschmerzen bei Volleyballern in dem von Sprungbelastungen am meisten betroffenen lumbalen Bereich der WS vorzufinden ist. Diese Segmente tragen den größten Teil der Körpermasse (Klein & Sommerfeld, 2007) und dienen insbesondere der Federung axialer Stoßbelastungen, die sich in früheren Untersuchungen als Risikofaktor herausstellten und nach Sprüngen extrem hoch ausfallen. Kaneoka et al. (2013) konnten ebenfalls zeigen, dass Volleyballer mit 69% Prävalenz signifikant häufiger an degenerierten Bandscheiben leiden als die Kontrollgruppe (30%). Demnach kann die Hypothese, dass stetige Sprungbelastungen sich negativ auf die Rückengesundheit auswirken zwar nicht im Rahmen der Ermüdungsindizes, aber anhand des statistischen Zusammenhangs zwischen der Existenz bzw. Lokalisation von Beschwerden und der maximalen Sprunghöhe der Athleten bestätigt werden (H<sub>3</sub>).

Es konnte gezeigt werden, dass nicht nur RB ein häufiges Phänomen im Hallenvolleyball darstellen (Prävalenz), sondern auch mit Verletzungen anderer Körperpartien zu 62% koexistieren. Dies kann in Miltners et al. (2012) Studie zur Prävalenz von Verletzungen bestätigt werden, wenngleich bisherige Untersuchungen die Häufigkeit und Schwere unterschätzen (Hell & Schönle, 1985, Aagaard et al., 1996, Bahr & Bahr, 1997). Da der zeitliche Bezug zu den jeweiligen Verletzungen fehlt, bleibt die Kausalität zu RB auch weiterhin ungeklärt. Zwar herrschen Evidenzen vor, die den Einfluss spezifischer Traumata der Hüfte und unteren Extremität auf die Entstehung von RB bekräftigen (Nadler, Malanga, Deprince, Stitik & Feinberg, 2000), ein Rückschluss auf Traumata als Ursache zur Entstehung besagter Schmerzen im Hallenvolleyball anhand der hier getätigten Studie ist jedoch nicht gerechtfertigt.

Lediglich die subjektive Einschätzung der Athleten lässt vermuten, dass Verletzungen eine, wenn auch nur zweitrangige, Bedeutung besitzen, selbst wenn die bereits anfangs dargestellte enge biomechanische Verbindung zwischen den Körpersegmenten sich zunächst nicht statistisch signifikant auf die Entstehung von Verletzungen auswirkt. Ein verhältnismäßig schwerer Rumpf hingegen ist jedoch nach den Resultaten der Untersuchung durchaus als positiv im Zusammenhang mit RB-Prävention einzuschätzen (Hypothese H<sub>2</sub> bestätigt). Zwar stellen Hüter-Becker und Dölken (2004) fest, dass „Übergewicht die Last erhöht“ und aus dem verlängerten Lastarm „ein erhöhter Druck auf die Bandscheibe“ (S.90) resultiert, bei Profisportlern/-innen ist bzgl. der Höhe der Gesamtmasse und des BMIs aber eher von einem durchschnittlich erhöhten Muskelanteil auszugehen, welcher in einer vermehr-



ten muskulären Kompensation einwirkender Kräfte resultieren würde (wenngleich keine Fettmessungen stattfanden). Es scheint also zunächst, dass die sportbedingte Erhöhung des Gesamtvolumens des Oberkörpers einen höheren präventiven Einfluss auf die Entstehung von WS Beschwerden ausübt, als dass die lumbalen Segmente dadurch belastet werden.

Die signifikanten Unterschiede zwischen den Positionen bzgl. der Größe sowie der Masse (bzw. Volumens) der Athleten könnten durch die variierenden Belastungsanforderungen des Volleyballs zu begründen sein. Mittelblocker sind – in Abhängigkeit der Reaktions- oder Antizipationsfähigkeit – bei nahezu jeder Blockaktion der eigenen Mannschaft beteiligt (Sheppard et al., 2009b). Die hohen Ballfluggeschwindigkeiten im Zuspiel erhöhen dabei den zeitlichen Druck zum Erreichen größtmöglicher Aktionshöhe zur Blockierung des gegnerischen Angriffs. Dies bedingt eine hohe Reich- und Körperhöhe von Mittelblockern, welche sich von Carvajal et al. (2012) zeigen lässt und in dieser Dissertationsschrift nochmals bestätigt lässt. Hingegen durchläuft der Libero während seiner aktiven Spielphasen lediglich netzferne Positionen und benötigt, neben einem ausgezeichneten Reaktionsvermögen, auch eine exzellente Antritts- und Aktionsschnelligkeit (Meyndt et al., 2010). Eine hohe Gesamtmasse ist jedoch kontraproduktiv beim Erreichen maximaler Geschwindigkeiten auf kurzen Strecken (zweites Newtonsches Axiom).

Je höher also die Masse  $m$  wird, desto größer ist auch die benötigte Kraft  $F$ , um die identische Geschwindigkeit  $v$  bei konstanter Zeitspanne  $\Delta t$  zu erreichen. Dabei gibt es bisher keine Erkenntnisse, die den Zusammenhang zwischen Massenzunahme eines Muskels und dessen Kraftoutput konkret spezifizieren können. Zwar ist bekannt, dass der Kraftoutput von der Anzahl der parallelwirkenden Fibrillen (Muskelquerschnitt) abhängt (Brinckmann, 2012, S.178), es ist jedoch aufgrund diverser Variablen, welche mit einer Zunahme der Gewichtskraft einhergehen (die Unterschiede in der Masse zwischen L und MB sind nicht nur rein durch muskuläre Anteile zu erklären, sondern auch durch Körperhöhe und damit vermehrter Hautanteile, Knochen und anderer Strukturen), nicht von einer direkten Proportionalität zum Kraftoutput auszugehen. Aus diesem Anlass eignet sich die Besetzung der Libero Position in Bezug zur geringsten mannschaftsbezogenen Körperhöhe/-masse, um den Effekt der größtmöglichen Startbeschleunigung (geringe Trägheit der Masse) auszunutzen.

Es scheint jedoch auch hier ein bisher noch nicht näher spezifiziertes Optimum an Körperhöhe zu geben, da diese mit der Armlänge positiv korreliert (Watts, Joubert, Lish, Mast & Wilkins, 2003) und so eine größere Feldabdeckung in der Verteidigung ermöglicht. Kontrovers zu diesen Beobachtungen besitzen Liberos das im Durchschnitt höchste Verhältnis von Ober- zu Unterkörpervolumina bei gleichzeitig relativ hoher Prävalenz von RB. Dieser zunächst als präventiv für RB interpretierte Parameter lässt vermuten, dass Liberos bzgl. anderer Prädiktoren schlechte Voraussetzungen aufweisen, oder aber die positionsspezifische Belastung auf die WS

im Vergleich hoch ausfällt. Bisherige strukturanalytische Erkenntnisse geben jedoch keinen Grund zu der Annahme, dass die WS Belastung auf der Libero Position am höchsten ausfällt.

Die Abschätzung der Gesamtmassen über die mittlere Dichte des Körpers hängt stark von der erfassten Kohorte ab, wie Brinckmann et al. (2012, S.233) resümieren. So weichen die bisherigen Normwerte insbesondere der Oberschenkel und des Rumpfes um 5-7% voneinander ab, je nach untersuchtem Kollektiv (Rundungsfehler eingeschlossen). Eine separate Betrachtung der segmentbezogenen Körperdichten scheint die in dieser Dissertationsschrift berechneten Teilmassen nur marginal zu beeinflussen. Die ohnehin geringer als die Norm ausgeprägten Werte der Unterarme und Hände der Volleyballer würden bei der durchschnittlich höheren Dichte im Vergleich zum Gesamtdurchschnitt (Unterarme: 1,09, Hände: 1,12, Gesamt: 1,05, Brinckmann et al., 2012, S.232) sogar noch verkleinert werden. Vice versa würden die bereits als durchschnittlich größer abgeschätzten Oberarme (1,04) und der Rumpf (1,03) in höheren Teilmassen resultieren. Lediglich die Füße und der Kopf lassen sich als unter- bzw. überschätzt deklarieren, wobei die absolut betrachtet niedrigen Massen besagter Segmente nur in einer Fehleinschätzung von etwa 2,6% (0,04l) resultieren. Die Kalkulation der Körpergesamtmassen der Volleyballathleten ist demnach als ausreichend genau anzusehen.

Es hat sich gezeigt, dass die Schmerzschwelle (also die Grenze, bei der ein Reiz als schmerzhaft wahrgenommen wird) bei Athleten höher liegt als in der Normalbevölkerung (Tesarz, Schuster, Hartmann, Gerhardt & Eich, 2012). Dieser Umstand ist jedoch stark von der Sensibilität zu abzugrenzen, die bei Athleten erwiesenermaßen höher ausfällt und vielmehr die Intensitätsgrenze der Wahrnehmung einer Reizänderung beschreibt (Tesarz et al., 2012). Wenngleich also Veränderungen des eigenen Körpers bewusster bzw. früher registriert werden, scheint bei Athleten die Interpretation dieser als schmerzhaft empfundene Reize (die Interpretation der Reize) differenzierter vollzogen zu werden. Infolgedessen ist zu klären, ob die Definition bzw. Erfassung von Schmerz (VAS/Korff) ausreichend spezifisch ist, oder ob für Leistungssportler nicht eine höhere Auflösung der Skalierungen von Schmerzerhebungsinstrumenten vonnöten wäre (VAS: 0-100).

Die Schmerzintensität zeigt sich anhand dieser Untersuchung während sportlicher Aktivität im Vergleich zur Ruhe erhöht, so dass häufig unter, wenn auch nur geringen, Schmerzen trainiert wird. Die Existenz trainingsbegleitender Rückenschmerzen innerhalb der Kohorte, in Kombination mit der geringen Inanspruchnahme medizinischer Betreuung spricht für eine hohe Toleranz der Athleten gegenüber Beschwerden des Rückens. Dabei werden jedoch alle Bewegungsrichtungen des Rumpfes als beeinträchtigt eingeschätzt, während in der Literatur der negative Einfluss von Schmerz auf die Qualität von Bewegungsmustern zusätzlich bestätigt werden konnte (Wilke & Buhmann, 2013). Zur Beseitigung akuter Beschwerden werden jedoch häufig (gemäß der Antworten der Athleten) nur inflammatorische Analgetika (wie Paracetamol oder Ibuprofen) in schwankender Dosis eingenom-

men. Dabei konnten Shirado et al. (2010) zeigen, dass die Einnahme derartiger Medikamente langfristig eine reduzierte Wirksamkeit im Vergleich zu spezifischem Training aufweist. Die Integration spezifisch geplanter Interventionen zur Prävention von RB könnte hier also auf lange Sicht Erfolg versprechend sein.

Der Einfluss der diversen Trainingsmethoden auf die Schmerzintensität offenbart dass Volleyball-spezifische Bewegungsformen (Schnellkraft, Sprünge, Komplexformen und Krafttraining) dabei jedoch als unverträglich, hingegen Übungen mit hohen Wiederholungszahlen und dem Fokus der Beweglichkeitsverbesserung opportun scheinen. Trainingswissenschaftlich und biomechanisch ist ein derartiges Ergebnis keinesfalls verwunderlich, da plötzliche Richtungswechsel und maximal schnelle Aktionsausführungen nicht nur zu höherer körperlicher Aktivität (Stoffwechsel) führen als langsames, kontrolliertes An- und Entspannen der Muskulatur, sondern ebenfalls in höheren dynamischen Kräften resultieren (höherer Gesamtimpuls nach  $p=m \cdot v$  unter Berücksichtigung der Trägheit der Masse). Neben der quantitativ höheren Anzahl innervierter motorischer Einheiten komplexer Bewegungsmuster ist so auch die Effizienz der Ausführung von Bewegungen im sportlichen Kontext, u.a. durch die willkürliche Co-Kontraktion der Antagonisten, verringert (Wilke & Buhmann, 2013). Ergänzend erzwingen spielsportartspezifische Interaktionsprozesse (Lames, 1996; Lames & Hohmann, 1997) kurze Reaktionszeiten, da die Unvorhersehbarkeit gegnerischer Handlungen zusätzlich zur Schnelligkeit des Spielgeschehens beiträgt und zeitlich nur einen geringen Spielraum lässt.

Der hohe Krafteinsatz bewirkt in der zur Verfügung stehenden Zeit einen hohen Impuls, welcher über den eigenen Körper abgefangen werden muss, sei es bei der Schlagbewegung (bei der auch nur Teile des Armimpulses auf den Ball übertragen werden) oder bei Bewegungsausführungen über kurze Distanz (Sprint, Zuspiel, Hechtbagger). Aufgrund der Dynamik der Spielhandlungen ist, wie bereits im volleyballspezifischen Anfangskapitel erläutert, nicht immer eine kontrollierbare (Folge-)Handlung möglich. Dies forciert atypische sowie hohe Belastungsmuster für den gesamten Bewegungs- und Haltungsapparat, insbesondere der Wirbelsäule als Zentralorgan. Demnach sind Stabilisations- und Dehnübungen in ihrer motorischen Komplexität weitaus geringer einzuschätzen und offenbar schonender als die dargelegten Methoden maximal kräftiger Muskeleinsätze und stellen somit keine zusätzliche Belastung für die ohnehin stark beanspruchten Körperpartien dar.

Die Rehabilitationserwartungen der Athleten bzgl. Beeinträchtigungen spielen erwiesener Maßen nicht nur bei akuten Traumata, sondern auch bei RB (Schlotz-Christensen, 1999) eine tragende Rolle für den Wiedereinstieg in den Sport oder das erneute Auftreten von Beschwerden. Variablen wie den durchschnittlich höheren medizinischen Standards im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung, der regelmäßigen Betreuung durch Physiotherapeuten und der bewussten Körperwahrnehmung (in Bezug auf Schmerzschwelle und -Sensitivität) von Spitzensportlern könnte ein positiver Einfluss auf die Heilungserwartung zugeschrieben werden. Dabei weisen die in Verbindung mit der Rehabilitationserwartung (sowie Chronifizierung)

stehenden Parameter der Bewegungsvermeidung (FAB-Q) sowie der Angst und Depression (HAD-S, siehe George et al., 2007) keine Besonderheiten bei der untersuchten Kohorte auf. Demnach konnte die Hypothese H<sub>3</sub>, dass psycho-soziale Einflussfaktoren im Profivolleyball einen eklatanten Beitrag zur Entstehung von RB besitzen, nicht bestätigt werden. Zwar gilt der FAB-Q als gängiges Tool in der Beschreibung chronischer Einschränkungen (George et al., 2007), doch konnte dies speziell für Sportler noch nicht gezeigt werden. So unterschieden sich laut Bruder-manns (2013) „angstbedingte Vermeidungsstrategien zwischen Tänzern mit und ohne Lumbalgie nicht“ (S.58), wenngleich sogar die europäischen Richtlinien (Airaksinen et al., 2006) psychosozialen Stress als prognostischen Faktor für RB herausstellen. Derartiges konnte u.a. bisher an einer jungen Stichprobe von Langlotz (2005) bestätigt werden, die Rücken- und Hüftschmerzen als „somatische Manifestation einer psychischen Beeinträchtigung hervorgerufen durch Stress“ (Langlotz, 2006, S.3) charakterisiert.

Für die Differenz der Ergebnisse scheinen hierbei entweder die Expertise im Sport oder die Altersunterschiede verantwortlich. Schon vor dem Hintergrund existentieller Nöte scheint jedoch im Profisport die Erfassung angstbedingter Bewegungs-vermeidung hinfällig. Vielmehr verwundert die offenbare Irrelevanz additiver ar-beitsbedingter Alltagsbelastungen. Angestellte wiesen hier in der Stichprobe weder einen vermehrten psycho-physischen Stress noch eine erhöhte Rückenschmerzprävalenz im Vergleich zu Profis auf (in Abhängigkeit der wöchentlichen Arbeitszeit inklusive VB Training). Eine Differenzierung der durchschnittlichen täglichen Berufsabläufe (passiv vs. aktiv) erbrachte ebenfalls keine tieferen Einblicke in die Entstehung von RB im Volleyballsport. Dabei gelten jedoch arbeitsbedingte Auswirkungen auf RB in der allgemeinen Bevölkerung bereits als erwiesen (Sjolie, 2004; Airaksinen et al., 2006). Es kann nur vermutet werden, dass für die Entstehung von RB in der allgemeinen Bevölkerung Inaktivität als vornehmliche Ursache anzusehen ist, welche von berufsbedingtem Stress verstärkt wird. Da im Leistungsbereich eine regelmäßige, ausgleichende und ausgiebige Aktivität zum alltäglichen Arbeitsumfeld gegeben ist, scheint arbeitsbedingter psycho-physischer Stress nicht als alleiniger Verursacher von Beschwerden des Rückens ausreichend. Zur eingehenden Analyse wäre hier die Erhebung des Zufriedenheitsgrades der Athleten innerhalb ihres Arbeitskontextes ratsam.

Zur kurz- sowie langfristigen Kontrolle und Optimierung von Bewegungsmustern eignet sich ein direktes Feedback im Rahmen verbaler oder visueller Kommunikationsformen seitens des Trainers (unmittelbares, videounterstütztes und verbales Feedback, Jerry, 2000). Schon während der Ausübung rükkenspezifischer Krafttrainingsmethoden ist die direkte Rückkopplung und Unterstützung der Athleten durch ausgewiesenes Personal als hilfreich anzusehen (Menke, 2014). Diese These wird abermals von Sheeran et al. (2013) bestätigt: Die Gegenüberstellung eines allgemein geführten und eines individuell angeleiteten Trainings der posturalen Kontrolle stellte die spezifische betreuende Methode als deutlich effektiver heraus.

Aus diesem Anlass werden den Trainern, auf Basis der Reports ihrer Athleten, Übungsanweisungen an die Hand gegeben, welche mittels separater Begleitung der Sportler zur Verbesserung der untersuchten Parameter führen können. Zwar liefert die ausgewählte Diagnostik keinesfalls eine zu Sheeran et al. (2013) adäquate Differenzierungsfähigkeit (weder MRT noch eine videogestützte Analyse der Bewegungsmuster wurden bewerkstelligt), aufgrund der erhobenen Prädiktoren ist dennoch eine, im Abgleich mit den individuellen Daten der Athleten, speziell ausgerichtete Trainingsbatterie seitens des Stabes erstellbar. So sind die gewählten diagnostischen Methoden als geeignet zur Identifikation von Haltungsdysbalancen anzusehen, welche laut Hibbs (2008) einer Prävention von Verletzungen voranzustellen ist.

### 5.2.1 Posturale Kontrolle

Die dargestellten methodischen Schwierigkeiten bei der Durchführung des Y-Balance-Tests erübrigen eine eingehendere Analyse der absoluten CS. Das Verhältnis zwischen den Geschlechtern sowie der intraindividuelle Vergleich der beiden unteren Extremitäten sollten von diesem Umstand jedoch unbeeinträchtigt bleiben. Demnach stellt sich die Stabilisationsfähigkeit (CS\*\*) der Damen als geringfügig besser ausgeprägt (deutlich niedrigere Varianz) heraus, was sich auch in den COP Werten widerspiegelt\*\*\*. Dies könnte durch die nachweislich existente Korrelation ( $p < 0.05$ ,  $cor = 0,2$ ) zwischen Größe und dem COP erklärt werden, da die Herren dieser Kohorte im Mittel signifikant größer sind als die Damen ( $p < 0,001$ ) und (durch den längeren Hebel) das Sprunggelenk dadurch mehr belastet wird. Ob außerdem eine bessere neuromuskuläre Kontrolle der Damen vorherrscht, müsste in weiteren Untersuchungen separat geprüft werden, ist jedoch auf Basis der COP Längen zunächst nicht abzulehnen.

Kontrovers hierzu ließ sich von Hegedus, McDonough, Bleakley, Baxter und Cook (2015) zeigen, dass der YBT nicht nur auf die Güte der posturalen Kontrolle schließen lässt, sondern zudem prädiktiven Charakter für Verletzungen der u.E. aufweist:

„Normalised composite right reach distance of 94% or less and an anterior right/left reach distance difference of 4cm or more of the SEBT [...] appears to be the only test to be associated with increased injury risk“ (Hegedus et al., 2015, S.655).

Beide Geschlechter berichteten aber nahezu gleich häufig von Verletzungen. Um hier gesicherte Aussagen zu erhalten, empfiehlt sich eine differenzierte Betrachtung und eingehende Datenerhebung der Verletzungsmuster weiterführender Untersuchungen, welche sich nicht nur wie die bisherigen Prävalenzstudien im VB auf reine Häufigkeitsverteilungen fokussieren, sondern vor allem die Praktikabilität funktional-motorischer Tests zur Prädiktion von Traumata herausstellen. Insbesondere Essendrop et al. (2003) bestätigen die Bedeutung derartiger Tests für die klinische Praxis. Unterstützend resümieren Airaksinen et al. (2006), dass die regionale Range of Motion (der WS) zuverlässiger prognostiziert als die segmentale ROM, weshalb also der Einsatz motorischer Tests und operationalisierter Bewegungsaufgaben in der Prognose und Diagnostik von Beschwerden unabdingbar scheint.

In Bezug auf das Wettkampfniveau fällt auf, dass sich Athleten der 1. Liga dynamisch, aber nicht statisch besser stabilisieren als Sportler der zweiten Ligen (COP n. sign.; CS,  $p < 0,05^*$ ). Dies könnte durch die signifikant höhere Anzahl regelmäßiger Trainingseinheiten ( $p < 0,001$ ) begründet sein und legt die Vermutung nahe, dass eine – in Bezug zur Allgemeinbevölkerung – Erhöhung des Aktivitätsniveaus nur bis zu einem gewissen Grad Einflüsse auf die statische Standstabilität ausübt. Darüber hinausgehende Intensivierung volleyballspezifischer sportlicher Belastungen scheinen hingegen keine Steigerung der statischen, sondern nur noch der dynamischen posturalen Kontrolle zu bewerkstelligen. Die hohen Mittelwerte der statischen Standstabilität der Athleten könnten durch die Steifigkeit des Rumpfes erklärt werden, die laut Reeves et al. (2007) die Schwierigkeit von Balanceaufgaben erhöht und sich vor allem nicht als zwangsläufig notwendig für eine gute WS-bezogene Systemleistung zeigt: „increased spine stiffness by itself does not always lead to better system performance (Reeves et al., 2007, S.271).

### *5.2.2 Sprungkraft als leistungsbestimmendes Kriterium im Volleyball*

Es lässt sich lediglich ein erwarteter, signifikanter Unterschied in der Sprunghöhe zwischen den Geschlechtern zeigen (Dübotzky & Leistner, 1992, S.89; Sattler, Hadzic, Dervisevic & Markovic, 2015), nicht jedoch ein Leistungsclassen übergreifender. Es wird vermutet, dass die Differenzen im Spielniveau des Spitzensports Volleyball nicht auf die Sprungkraft zurückzuführen sind, wengleich sich die Aktionshöhe bisher als entscheidendes Leistungskriterium im Volleyball abbilden ließ (Smith, Roberts & Watson, 1992). Dies würde auch die fehlende Differenzierungskraft des Berufsverhältnisses in Bezug auf die Sprunghöhe erklären (Profis springen im Durchschnitt nicht höher als Angestellte oder Studenten). Die Vermutung liegt nahe, dass ein gewisses Mindestniveau für die Teilnahme im Hochleistungsvolleyballsport entscheidend ist, eine weitere Erhöhung jedoch im Spitzenbereich nicht zwangsläufig zu einer verbesserten Leistung führt. Der signifikante Unterschied der Körpergrößen zwischen 1. und 2. Ligisten ist mit seinem Beitrag zur Aktionshöhe für das Leistungsniveau zusätzlich entscheidend.

Die Handlungshöhe von Außenangreifern und Diagonalspielern scheint dabei einerseits von der Körperhöhe zu profitieren, andererseits gerade in diesen Positionen am stärksten von der Gesamtmasse negativ beeinflusst zu sein (das Gewicht wirkt sich bei AA und D am stärksten auf die Sprunghöhe aus). Es ist davon auszugehen, dass die volleyballspezifischen Bewegungsdynamiken offensiver Aktionen von AA und D durch die zusätzliche Notwendigkeit der Überbrückung längerer Distanzen höherer muskulärer Stabilisationsarbeit bedarf als die primär vertikal ausgegerichtete Sprungdynamik von MB. Es deutet sich also auch hier an, dass volleyballspezifisch optimale Verhältnisse von Körperhöhe zu Gesamtmasse existieren.

Dabei muss aber auch das Verhältnis des Oberkörper- zum Unterkörpervolumen Berücksichtigung finden (Dübotzky & Leistner, 1992). Ähnlich wie bei Sattler et al. (2015) stellt sich auch in dieser Kohorte der Spielpositions-bezogene Sprunghöhenunterschied nur bei den Herren als signifikant heraus. Das bestärkt die bereits

angestellte Vermutung, dass die Damen bisher weniger spezialisiert sind, so dass sich eine homogenere Masse an Athleten bildet. Diese fehlende Professionalisierung lässt sich ebenfalls an den mangelnden Umgebungsbedingungen (fehlende Athletik-Coaches, Co-Trainer, Spielanalysten, etc.) ausmachen.

Auf den Rückenschmerz bezogen bleibt die Kausalität des Zusammenhangs zur Sprungkraft ungeklärt. Zwar verfügen Athleten mit Rückenschmerzen über eine signifikant geringer ausgeprägte Sprunghöhe als Probanden ohne Beschwerden, welcher Parameter hier jedoch als Ursache und welcher als Wirkung anzusehen ist, ist in weiteren, längsschnittlichen Untersuchungen zu klären. Dabei bestehen bereits Hinweise, dass bzgl. anderer Beschwerdebilder die Sprunghöhe durchaus als ursächlich anzusehen ist, ähnlich wie bei dem Patellaspitzenyndrom:

„The main finding of this study was that a group of players with jumper's knee performed better in a standardized series of jump and power tests than a matched control group” (Lian, Engebretsen, Ovrebø & Bahr, 1996).

Es wäre also denkbar, dass auch die passiven Systeme des Rumpfes einer dauerhaft hohen Sprungbelastung nicht standhalten können. Unstrittig hingegen scheint, dass Rückenbeschwerden einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit im Volleyball darstellen, da die Sprunghöhe davon in Mitleidenschaft gezogen wird. Diese wiederum zeigte sich (im Rahmen eines CMJ) bereits als prädestinierend für die Leistung in Schnelligkeitstests (Tests mit schnellen Richtungsänderungen, Borrás, Balas, Drobnic & Galilea, 2011; Gonzalez-Rave et al., 2011; Barnes et al., 2007), einer für Volleyball ebenso relevanten Bewegungsdynamik. Dies bestätigt somit die eingangs gestellte Hypothese H<sub>8</sub>.

Ebenso wie bei Salimi ist bei dieser Untersuchung eine Betrachtung der EIs wenig aussagekräftig in Bezug auf die Sprunghöhe (Salimi, 2008, S.68), was hauptsächlich auf die differierende Motivation der Athleten zurückzuführen ist. Das Wissen um die Häufigkeit zu absolvierender maximaler Absprünge scheint in diesem Untersuchungsdesign einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Sprunghöhe zu besitzen. Verdeutlicht wird dies durch die durchgehend untypisch hohen Messwerte (0,94-1,03). Da bereits vor der Datenerhebung eine separate Erwärmung erfolgte, kann eine Leistungssteigerung während der Messdurchführung aufgrund muskulärer Belastungsadaptationen aber von vornherein ausgeschlossen werden. Die resultierenden, für einen Kraftausdauer-Test untypischen, Signalkurven scheinen also lediglich die Folge fehlender intrinsischer Motivation gegenüber der Absolvierung des Versuchs. Ebenso könnte das Wissen um die Häufigkeit maximaler Krafteinsätze die bewusste Krafteinteilung der Athleten forciert haben (sog. *Pacing*).

### 5.2.3 Die Wirbelsäulenform als Prädiktor für Rückenbeschwerden

Wie Adams (2004) berichtet, hängt die Beanspruchung der WS wesentlich von der Geschwindigkeit und Dauer der Belastung sowie der Ausrichtung der Wirbelkörper ab:

„Experiments on living people have shown that spinal loading depends very much on the precise manner in which a person moves, and experiments on cadaveric spines have shown that the distribution of forces within and between spinal tissues is sensitive to the relative orientation of vertebrae, and to the speed and duration of loading“ (Adams, 2004, S.186).

Dementsprechend ließ sich die Oberflächenrotation (modelliert als Tangente zur Oberflächennormalen und somit beschreibender Faktor der Ausrichtung der einzelnen Wirbelkörper) als Risikofaktor für RB bestätigen. Die biomechanisch ausgeglichene WS lässt sich als geometrischer Körper beschreiben, dessen Symmetrieachse der Frontalebene analog zur Longitudinalachse im Zentrum der WS liegt. Neben auffällig großen morphologischen Formveränderungen tragen insbesondere segmentale Rotationen, wie sie von der Oberflächenrotation beschrieben werden, zu Diskrepanzen der Kraftverteilung bei. Abweichungen dieser Form gehen mit unterschiedlicher Zugbelastung der stabilisierenden Strukturen einher, sodass die Muskelansätze der Querfortsätze nicht mehr symmetrisch im uniformen Abstand liegen, sondern marginal abweichen und so den Zug einseitig verstärken bzw. antagonistisch verringern (Abbildung 63).

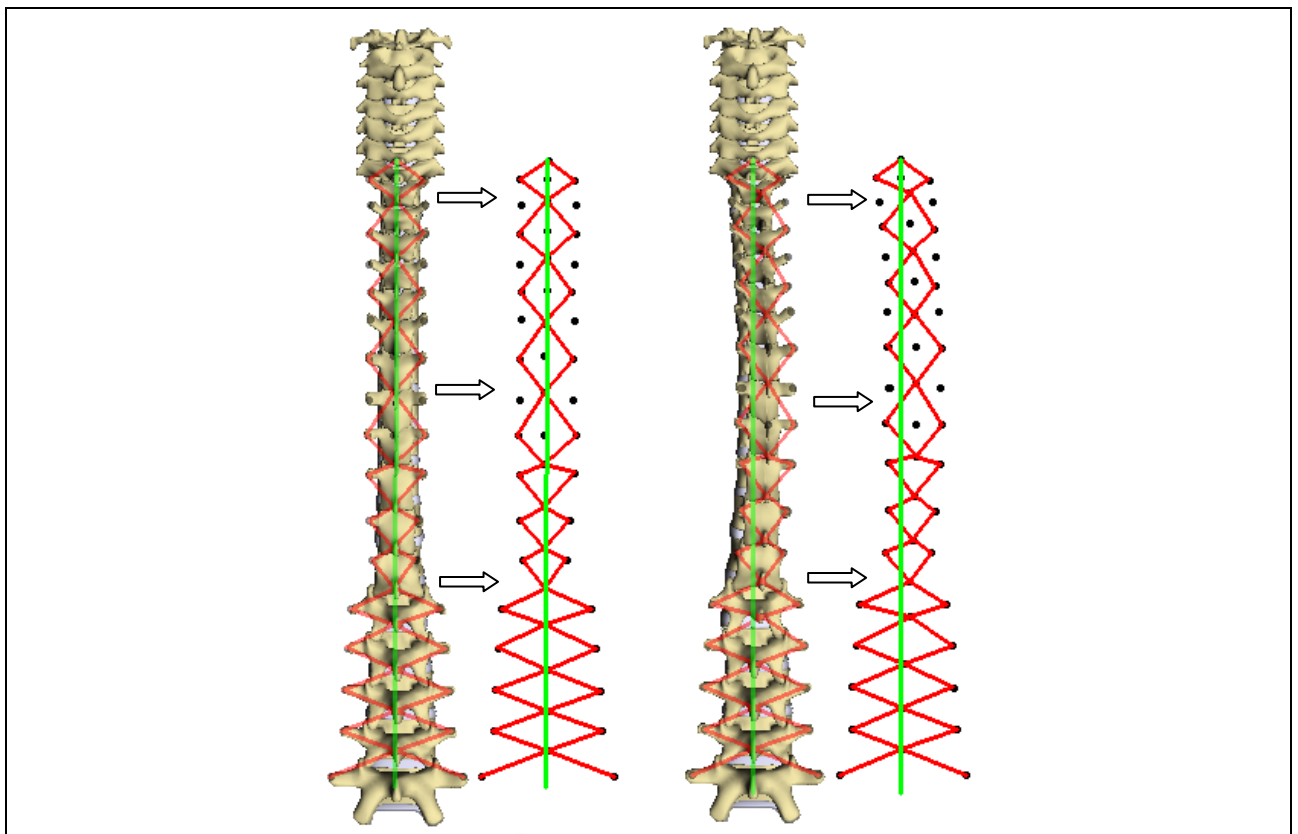


Abbildung 63: Schematische Darstellung der Auswirkung der Ausrichtung von Wirbelkörpern auf ausgewählte stabilisierende Strukturen; hier bei leicht rotierten thorakal-Wirbeln. Das Schwerelot des Körpers (grün) liegt optimaler Weise zur ökonomischen Kraftverteilung auf der Achse der WS.

Schon die geringfügige Rotation eines Wirbels (z. B. T1) kann das Schwerelot der WS drastisch verändern, so dass axiale Kräfte nicht mehr gleichmäßig über die WS verteilt werden, sondern teilweise unilateral auf Höhe der Querfortsätze verlaufen. In Bezug zur Häufigkeit ausgeführter Bewegungsmuster im Volleyballsport – insbe-



sondere des Angriffsschlages – verwundert die Tatsache, dass bei der untersuchten Kohorte keinerlei Seitenpräferenz der Oberflächenrotation vorliegt. Erwartbar war eine verstärkt thorakal wie lumbal rechtsrotierte Ausrichtung der Wirbelkörper, gemäß der Ausholbewegung des Angriffsschlages (bei Rechtshändern, entsprechend der Kohorte). Vielmehr zeichnet sich jedoch unabhängig von Geschlecht oder Spielposition eine unauffällige Verteilung der Abweichungen von der Oberflächennormalen ab.

In welchem Ausmaß die Geschwindigkeit des Volleyballspiels als maßgeblich für die Entstehung von RB angesehen werden kann, sollte in einer weiteren Untersuchung anderer Profisportler alternativer Sportarten des Spitzenniveaus oder aber durch spezifische, dynamische Bewegungsanalysen geklärt werden.

Zusätzlich zur Oberflächenrotation konnten Schröder et al. in ihrer Analyse die Parameter „Lotabweichung, Lordosewinkel und Rumpfneigung als geeignete Variablen zur Unterscheidung von Rückenschmerzpatienten und beschwerdefreien Personen“ herausfiltern (Schröder et al., 2010, S.458). Es ist jedoch anzumerken, dass die Standardabweichungen aufgrund relativ geringer Stichprobengröße verhältnismäßig hoch ausfallen.

Takeda, Kobayashi, Atsuta, Matsuno und Shirado et al. (2009) berichten von einer Abflachung der Lordose sowie einer Zunahme der Kyphose im Lebensverlauf der allgemeinen Bevölkerung. Derartige Veränderungen der Wirbelsäule (im Bereich der BWS) konnten auch in verstärkter Form bei Dalichau und Scheele (2002) im Rahmen volleyballbedingter Anpassungen diagnostiziert werden. Die zudem signifikant geringere Lordose der Erstligaspieler im Vergleich zu Zweitliga Athleten der Kohorte dieser Dissertationsschrift verdichtet die Vermutung, dass volleyballspezifische Aktivität die Abflachung der lumbalen WS forciert.

Neben der relativ zur Norm geringen Ausprägung einer Lordose verzeichnen die untersuchten Sportler aber ebenfalls eine verringerte Kyphose. Dies würde auch mit den erwähnten Theorien einer Versteifung des Rumpfes, insbesondere der Rückenpartien, einhergehen. Eine signifikante Korrelation zwischen der volleyballspezifisch investierten Zeit und der Entlordosierung bzw. Hyperkyphosierung der WS konnte trotz aller bisherigen Hinweise aber nicht identifiziert werden. Kontrovers hierzu stellt sich bei Volleyballspielern heraus, dass nicht die Höhe der Ausprägung des Lordosewinkels, sondern dessen Verortung für die Entstehung von Rückenschmerzen relevant scheint. Dies könnte sich mit der stetigen Vorhalte des Rumpfes erklären lassen, welche bei längerem Rumpf nicht nur zu einem größeren Drehmoment führt, sondern zudem auch den Kraftangriffspunkt verschiebt, wie anfangs bereits erläutert. Dabei ist jedoch nicht auszuschließen, dass es sich bei der Signifikanz des Lordoseapex um eine statistisch rein zufällig relevant scheinende Variable handelt, da insbesondere das Verhältnis zur Rumpflänge hochkorreliert, diese jedoch keinen Zusammenhang zu RB vermuten lässt.

Die Normwerte lassen auf eine durchschnittlich höhere Rumpfneigung der Athleten gegenüber der Normbevölkerung schließen. Abgesehen von der dargelegten hohen Messunsicherheit dieses Parameters, könnte die stetige Vorhalte während

sämtlicher volleyballtypischer Bewegungsmuster eine unbewusste Vorverlagerung des KSP im Stand implizieren. Dies hätte zur Folge, dass (insbesondere in Kombination mit dem durchschnittlich erhöhten Rumpfvolumen) die rückenstreckenden Partien konstant mehr belastet wären. Potvin (2008) stellt dabei fest, dass wiederholende Kraffteinwirkungen (axial) die Wirbelsäulenstrukturen derart schädigen können, dass sie bisherigen Belastungen plötzlich nicht mehr standhalten können (S.892). Die lumbale Kompressionslast wird von ihm demnach im Volleyball als Risikofaktor angesehen, da diese insbesondere nach Sprüngen extrem hoch ausfällt (S.895).

Durch den relativ betrachtet höheren Anteil muskulärer Strukturen von Elite Athleten (Miltner, Tschaepe, Weihe, Heinzinger & Kieffer (2008) bestätigen die enorme muskuläre Kapazität des Rumpfes von Volleyballspielern, wenngleich durchaus muskuläre Dysbalancen existieren) sollte das eingangs zitierte, kritische Aktivierungsniveau von permanent 5%, jedoch nicht allein durch diese Vorhalte überschritten sein. Ergänzend ist davon auszugehen, dass die durchschnittlich höhere Oberkörperlänge für den Ausschlag in der Rumpfeigung (gemessen an C7) verantwortlich zu machen ist, da sich, neben der geringeren Ausprägung des Formverlaufs der WS, die Beckenneigung als schwächer ausgeprägt im Vergleich zur asymptomatischen Norm zeigt. Eine Anteversion des Rumpfes ist also lediglich der Körperlänge oder aber den strukturellen Gegebenheiten der Sprunggelenke zuzuschreiben, nicht jedoch als Ursache VB spezifischer WS Anpassungen anzusehen. So verstärkt sich auch anhand dieser Parameter der Verdacht, dass die WS durch muskuläre Steifigkeit sich den Belastungen des Volleyballspiels widersetzt und nicht durch erhöhter Flexibilität oder Stoßdämpfung.

Bzgl. Änderungen innerhalb der Frontalebene stellt Potvin (2008), wie bereits erwähnt, im Rahmen seiner Literaturrecherche resümierend heraus, dass sämtliche Abweichungen eine Gefährdung des Athleten darstellen. Insbesondere die typisch seitlich geprägten Bewegungen des Volleyballspiels (Meyndt et al. 2010) könnten zunächst als Ursache für einseitige Belastungen und dementsprechend laterale Formanpassungen der WS gelten. Entgegen dieser Erwartungen zeigt sich innerhalb der Kohorte aber eine ausgeglichene Haltung bzgl. der Lotabweichung (Oberflächenrotation und Seitabweichung identisch zur Norm), welche sich bewegungsanalytisch erklären lässt. Demnach stellt die Ausführung volleyballspezifischer Techniken in lateraler Richtung ein ausgeprägtes Bewegungsmuster dar, welches jedoch in den Lehranweisungen überwiegend als Ganzkörperbewegung beschrieben wird. Vorrangiges Ziel ist nach gängiger Lehrmeinung (Meyndt et al., 2010; Papageorgiou & Spitzley, 2006; Anrich et al. 2005) die zur Ballflugkurve frontale Ausrichtung des Körpers, welche optimaler Weise durch eine frühzeitige „Bewegung hinter den Ball“ erreicht wird (Anrich et al. 2005, Meyndt et al., 2010). Laterale Dynamiken richten sich also überwiegend auf die Beinarbeit und minimieren daher den Anteil rumpfbezogener Lateralflexionen, wie Fett (2015) in ihrer Analyse diverser, volleyballspezifischer Bewegungsmuster ebenfalls zeigen kann. Hier erreicht

kein Proband in den gewählten Spielelementen einen relevant schädigenden Ausschlag.

Es ist jedoch anzumerken, dass lediglich einfache, standardgemäße Bewegungsmuster Beachtung finden. Volleyball ist geprägt durch seine hohe Dynamik, lokal begrenzte Aktionsräume und Interaktionsprozesse zweier Teams, aber vor allem von kurzfristigen Richtungswechseln und Reaktionszeiten. Die Handlungsschnelligkeit und/oder Antizipationsfähigkeit der Athleten reicht oftmals nicht aus, eine lehrbuchproklamierte Stellung zum Ball einzunehmen, sondern beinhaltet oftmals maximal schnelle Krafteinsätze – auch in lateraler Richtung –, welche in der Untersuchung Frau Fetts (2015) unberücksichtigt bleiben. Insbesondere derart atypische Bewegungsmuster, die oberhalb der Amplituden der gewohnten Positionsänderungen liegen, können gewebebeschädigend wirken, so dass zukünftig auch Belastungen einfacher bzw. standardisierter Abläufe nicht tolerierbar werden. Die statische WS Form bildet also lediglich den Hinweis auf die Adaptation sportartspezifischer Belastungen niedriger Intensität, aber hohen Umfangs an die Umwelt ab. Da die Ursache struktureller Schädigungen zunächst nicht in der Lehrwesen-adäquaten Durchführung sportartspezifischer Techniken zu suchen ist, sollten zur weiteren Einschätzung der Ursache von Beschwerden insbesondere Extrema in der Bewegung dynamisch erfasst werden. Frau Fetts (2015) Abschlussarbeit bietet hiermit einen ersten Ansatz, welcher in den kommenden Jahren intensiviert und optimiert werden sollte.

Neben den größtenteils normkongruenten Ausprägungen der WS Parameter in der Frontalebene sind also lediglich Abweichungen der Beckenrotationen zu verzeichnen, welche sich jedoch nicht einwandfrei interpretieren lassen, da sie in keinerlei Zusammenhang mit Daten der Pedobarographie zu bringen sind. Zudem scheint die exakte vertikale Verortung der Lumbalgrübchen, über welche der potentielle Beckenhochstand ermittelt wird, für zuverlässige Aussagen zu variabel zu sein, wohingegen die horizontale Distanz eine recht stabile Größe darstellt.

Die Grübchenabstände sind im Referenzdatensatz nicht erfasst, aber bei beiden Geschlechtern im Mittel identisch ausgeprägt. Ein Zusammenhang zur Körperhöhe, der Körpermasse oder anderen WS beschreibenden Parametern ist nicht gegeben. In klinischen Untersuchungen dienen sie lediglich der Orientierung auf Höhe des zweiten Sacralwirbels. Zum besseren Verständnis der Abhängigkeit der Distanz der Lumbalgrübchen von RB müssen diese zunächst anatomisch in ihrem Aufbau und ihrer Funktion genauer spezifiziert werden.

Der derzeitige Stand der Forschung beschreibt das hintere, obere Ende des Beckenkamms (die Spina Iliaca Posterior Superior) inklusive der dort ansetzenden Lig. Sacrotuberale und Lig. Sacroiliacum Posterius als ursächlich für die Entstehung besagter Orientierungspunkte des unteren Rückens (Schünke et al., 2007, S.548). Der Abstand der Grübchen hängt also mit der Stellung des Beckens und dem Zug der Ligamente zusammen. Während das Lig. Sacrotuberale generell der Sicherung des Iliosakralgelenks dient, indem es zahlreiche Ansatzpunkte am gesamten Becken aufweist (Spina Iliaca, Tuber Ischiadicum, aber auch Os Sacrum

und Os Coccygis) und eine Dorsalkippung des Sakrums verhindert, zieht das Lig. Sacroiliacum Posterius von der Tuberositas Iliaca zum Kreuzbein und dient hauptsächlich als Ursprungspunkt der Mm. Mutlifidi (Schünke, 2007). Diese wiederum sorgen primär – wie eingangs beschrieben – für die Stabilisation der Wirbelsäule, insbesondere gegen Rotationen und Lateralflexionen. Laut Schünke et al. (2007) ist „bei normalem weiblichen Becken [ist] der vertikale und horizontale Durchmesser fast gleich groß“ (S.199). Weiterhin beschreiben sie, dass sich anhand der geometrischen Anordnung der Orientierungspunkte „Rückschlüsse auf die Breite des weiblichen Beckens“ ziehen lassen (S.199). Dies lässt sich auch für Herren (im Rahmen des Sakraldreiecks) bestätigen. Die folgende Abbildung 64 soll die Lage des Beckens, der Lumbalgrübchen sowie der umliegenden Ligamente verdeutlichen und so einen Aufschluss über die Ursache und Wirkung der Beckenmorphologie liefern. Demnach hängt der Grübchenabstand von drei Faktoren ab:

- Form der Coxae
- Breite des Sacrums
- Ausrichtung der Coxae in der Frontal- und Transversalebene (u.a. beeinflusst durch umliegende Ligamente und Muskeln).

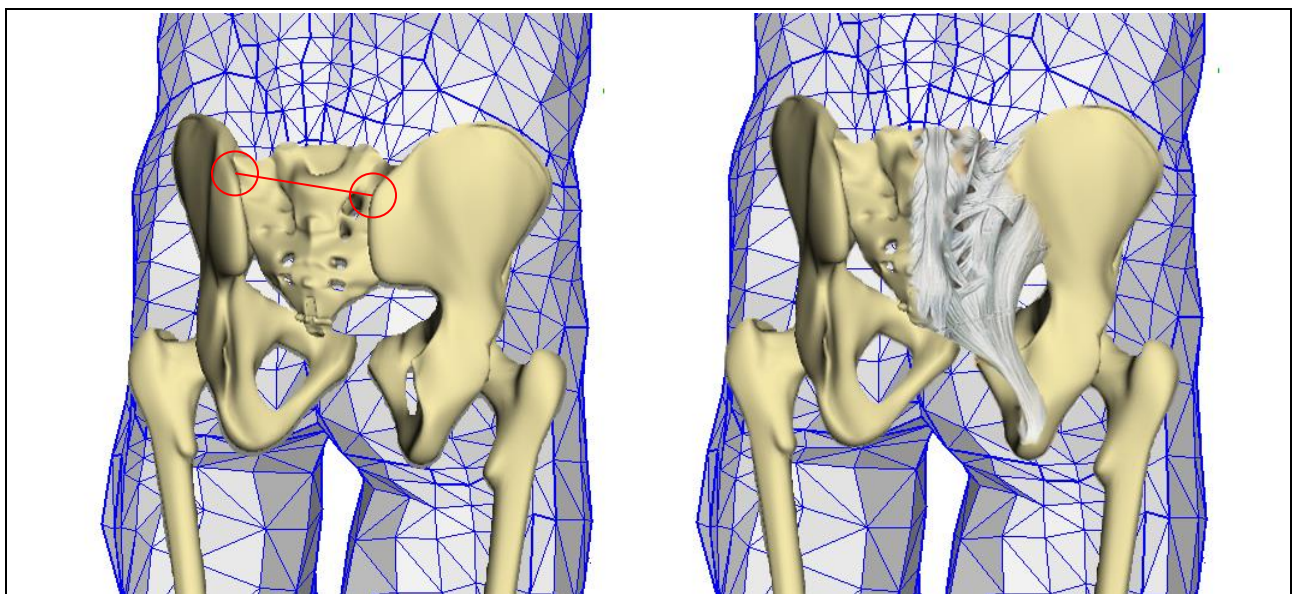


Abbildung 64: Schematische Darstellung des menschlichen Beckens eines Erwachsenen mit (rechts) und ohne (links) unilateralem, ligamentärem Apparat; die Grübchen werden durch die Spina Iliaca Posterior Superior in Kombination mit den anliegenden Ligamenten Sacrotuberale und Iliosacrale Posterior gebildet.

Sowohl die Breite des Os Sacrums als auch die Ausrichtung der Beckenschaufeln beeinflussen über das Iliosakralgelenk die Kraftübertragung der unteren Extremitäten auf die Wirbelsäule, indem sie u.a. für die Richtung des Kraftverlaufs verantwortlich sind (ausgehend vom normalen Stand). Ihr Beitrag lässt sich aufgrund der Vielzahl umgebender Strukturen jedoch bisher noch nicht konkret bemessen. Der Fokus in der Belastungsanalyse der Beckenpartie liegt in aktuellen Ausarbeitungen vielmehr auf dem Gelenk aus Hüftkopf und -pfanne (Brinckmann et al., 2012;

Schünke et al. 2002; Lanz & Wachsmuth, 2004). Untersuchungen der inversen Dynamik könnten hier einen wertvollen Beitrag zur Bedeutung der Stellung der Beckenschaufeln für die Kraftübertragung auf die WS liefern.

Die Vielzahl ligamentärer Stabilisationseinheiten um das art. sacroiliaca besitzen zusätzlich einen hohen Einfluss auf die Kraftübertragung, indem sie durch den unterschiedlich starken Zug die Nutationsbewegung des Sacrums regulieren (Klein & Sommerfeld, 2004, S.152f). Die Bewegung des Iliosacralen Gelenks (ISG) selbst scheint keinen Einfluss auf die Stellung der Grübchen auszuüben, da Sie hauptsächlich in der Sagittalebene stattfindet und bisher mit etwa 2-4° beschrieben wird (Klein & Sommerfeld, 2004, S.166). Es lassen sich zudem keine Unterschiede zwischen symptomatischen und asymptomatischen Gelenken feststellen, wie sie weiterhin resümieren. Die Rotationsachsen des Iliums, in Relation zum Sacrum, lassen sich nahe der spina iliaca posterior superior verorten und sprechen daher für eine noch geringere dynamische Aktivität der Lumbalgrübchen. Lediglich die Druckbelastung des Pubisgelenks am ventralen Ende des Beckenrings nach medial könnte ein Potential zu einer marginalen Veränderung der Grübchendistanz besitzen. Die ligamentäre und muskuläre Ausstattung dieses Bereichs (lig. Pubicum Superius und lig. Arcuatum Pubis, Ansätze des RA, der Obliqui Abdominis Externi und der add. Longi, Klein & Sommerfeld, 2004, S.170) lässt zwar auf eine hohe Zug- und Druckbelastung dieser Region schließen, bestätigt aber ebenfalls die geringe Beweglichkeit. Positionsänderungen innerhalb der Frontalebene, welche zwar nicht die Distanz, aber die Ausrichtung der Lumbalgrübchen modifizieren, führen anhand der Rasterstereographie lediglich zu der Interpretation eines Beckenhochstands. Für derartige Haltungsdysbalancen könnten aber ebenfalls das ISG (im Rahmen einer Blockierung), „Fehlstellungen des Os Ilium oder des lumbosakralen Übergangs“ (Müller-Wohlfahrt, Uebelacker & Hänsel, 2014, S.334) verantwortlich gemacht werden.

Resümierend kann also beim Abstand der Lumbalgrübchen zueinander von einem gut stabilisierten, genetisch prädisponierten, individuell unterschiedlichen und durchaus informativen Merkmal ausgegangen werden. Seine Bedeutung für die Entstehung von Beschwerden ist jedoch anhand der eben dargelegten morphologischen Aspekte weder in der Allgemeinbevölkerung noch im Profisport ausreichend geklärt. Demzufolge wäre eine Untersuchung des angesprochenen Parameters im Rahmen einer hohen Fallzahl innerhalb der Allgemeinbevölkerung wünschenswert, um den Einfluss volleyballspezifischer Bewegungsmuster in Abhängigkeit des Grübchenabstands evaluieren zu können.

Ein Ansatz zur Deutung der Tragweite könnte über biomechanische Kraft- und Hebelverhältnisse erlangt werden. Abbildung 64 (links) zeigt grob schematisch den Übertrag in Richtung der Gewichtskraft wirkender Kräfte von der LWS auf die Beckenschaufeln über das ISG. Dabei ist die Hebellänge in erster Linie von der Breite des Sacrums abhängig. Eine höhere Distanz zwischen den Lumbalgrübchen spricht – wie bereits erwähnt – für ein breiteres Becken, einen längeren Hebel und demzufolge eine erhöhte Kraft medial auf das Sacrum und dessen stabilisierende

Strukturen. Die Beanspruchung der Regionen erhöht sich also mit der Entfernung der Lumbalgrübchen zueinander.

Laut Dalichau und Scheele stellen sich die Spielpositionen L und Z als Normkongruent in ihrer WS Form heraus. Dies ist ihrer Ansicht nach der Symmetrie der praktischen Durchführung von Abwehr und Angriffsaufbau zuzuschreiben (Dalichau & Scheele, 2002, S.14). Anhand eingehender Spielanalysen (u.a. von Bratschke, 2014) ist diese These jedoch nicht zu halten. So zeigte sich, dass insbesondere die Annahmetechniken situativ in ihrer Ausführung variieren. Aber auch das Zuspiel und die Abwehr sind, unabhängig von ihrer idealtypisch symmetrischen Definition, in der Praxis in keiner Weise als stabil und seitengleich zu bezeichnen. Daher ist u.a. eine Asymmetrie der Schulterpartie (aber auch anderer WS Parameter), wie sie bereits bei Kugler et al. (1996) dargestellt wird und sich in der eigenen Untersuchung als Spielpositions-unabhängig bestätigt, als begründet anzusehen.

Weiterhin lassen sich Unterschiede in der Ausprägung der WS Parameter zwischen den Geschlechtern identifizieren. Die Summe aller mittleren Abweichungen von der Norm ist bei den Herren am höchsten auf der MB-Position und am geringsten bei den AA. Dieser Umstand könnte spielstrukturanalytisch zu begründen sein: Der Außenangreifer, welcher variable Anforderungen zu erfüllen hat, durchläuft eine Vielzahl sich gegenseitig potentiell ausgleichender Bewegungsmuster und benötigt so eine hohe motorische Funktionalität in diversen Bereichen (Aktionshöhe im Angriff, Blockhöhe durch Körpergröße, Agilität in Annahme und Abwehr, stark ausgebildete Auge-Hand Koordination). Der Mittelblocker hingegen ist in seiner Spielstruktur vergleichsweise einfach. Seine Hauptaufgabe (die Blockierung des gegnerischen Angriffs) bedingt überwiegend eine gut ausgeprägte Körper- und Reichhöhe. Neben den damit verbundenen überdurchschnittlichen Körperhöhen sind die Belastungsmuster jedoch auch auffällig monoton. Die höchsten Differenzen zur Norm verzeichnen die Mittelblocker bei der Ausprägung der Lordose- wie Kyphosewinkels und der Rumpfneigung (Abbildung 65). Die erhöhte RN ist – wie bereits erwähnt – neben den damit verbundenen Messungenauigkeiten und des durch die Körperlänge höheren Hebels, keineswegs verwunderlich und daher zu vernachlässigen (hohe Schwankungen an C7).

Bei den Damen bietet sich hingegen ein anderes Bild. Hier stellen sich die MB zwar ebenso als auffällig heraus, die AA weichen jedoch am meisten von der Norm ab. Auch die durchgehend geringeren Differenzen des Frauenbereichs könnten durch die erst in den letzten Jahren latent ansteigende Professionalisierung des weiblichen Ligenbetriebs entstanden sein. Anscheinend ist die Spezialisierung noch nicht derart fortgeschritten wie es bei den Herren der Fall ist und führt somit zu einer homogenen Kohorte zwischen Erst- und Zweitligisten. Neben den finanziellen Disparitäten des Herren- und Damenvolleyballs sind hier aber auch organisatorische Aspekte wie die Bereitstellung von Trainingszeiten, Athletiktrainern und Förderstrukturen zu nennen, welche im Herrenbereich bisher noch stärker ausgeprägt sind als bei den Damen.

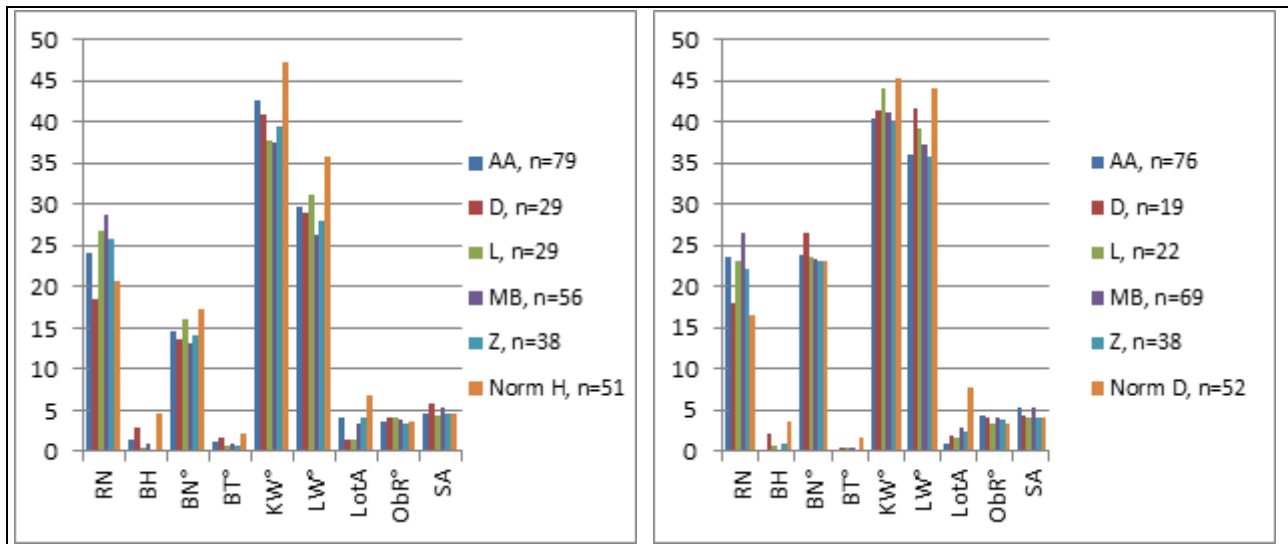


Abbildung 65: WS Parameter der Kohorte (l. Herren, r. Damen) im Vergleich zur Bevölkerungsnorm von Schröder et al. (2011).

Bei beiden Geschlechtern weist der Diagonalangreifer (auch: Hauptangreifer) die geringsten Differenzen zur Norm auf (Tabelle 41). Dies könnte ebenfalls auf das Anforderungsprofil der Spielposition zurückzuführen sein, widerspricht jedoch Da-lichau und Scheeles (2002) Vermutung, dass WS Abnormitäten überwiegend durch die unilateral ausgeführte Schlagbewegung verursacht würden.

Tabelle 41: Mittelwerte relevanter WS beschreibender Parameter der Kohorte, positionsspezifisch sowie geschlechtsdifferenziert.

	Pos	RN	BH	BN	BT	GA	KW	KA	LW	LA	LotA	ObR	SA	n
		AA	D	L	MB	Z	Norm							
H	AA	24,2	-1,4	14,7	1,2	100,6	42,6	-192,9	29,8	-424,1	-4,0	3,6	4,7	79
	D	18,5	-2,9	13,7	1,6	105,9	40,9	-194,0	28,9	-443,3	-1,4	4,1	5,9	29
	L	26,8	-0,5	16,1	0,7	98,7	37,8	-189,0	31,1	-410,2	-1,5	4,0	4,3	29
	MB	28,7	-1,0	13,1	1,0	99,4	37,4	-198,6	26,4	-438,6	-3,4	3,8	5,4	56
	Z	25,8	0,2	14,1	0,6	101,0	39,4	-190,4	27,9	-415,7	-4,1	3,5	4,6	38
	Norm	20,8	4,5	17,3	2,1	-	47,2	-	35,9	-	6,9	3,9	4,5	51
D	AA	23,5	-0,3	23,9	-0,2	100,3	40,4	-172,3	36,0	-383,8	-1,0	4,3	5,3	76
	D	18,1	-2,1	26,5	0,4	108,1	41,3	-162,6	41,7	-380,3	-1,8	4,0	4,3	19
	L	23,1	-0,6	23,7	0,4	97,8	44,2	-165,4	39,3	-362,6	-1,6	3,4	4,1	22
	MB	26,5	0,2	23,4	0,4	102,6	41,1	-178,7	37,3	-390,5	-2,8	4,0	5,4	69
	Z	22,2	1,0	23,1	-0,1	95,1	40,0	-166,6	35,9	-371,4	-2,5	3,9	4,1	38
	Norm	16,6	3,5	23,1	1,6	-	45,4	-	44	-	7,7	3,4	4,2	52

Die positionsspezifisch größte Differenz zur Norm weisen die Diagonalspieler in der Beckenneigung auf. Hier sind Herren deutlich flacher (13,7°), aber Damen wesentlich ausgeprägter (26,5°) in der Sagittalebene.

Schröder et al. reflektieren jedoch selbstkritisch, dass das „Phänomen der großen Variationsbreite physiologischer Wirbelsäulentypologien die potenziell beschwerdeassoziierte Wirbelsäulenformabweichungen überlagern können“ (Schröder et al., 2010, S.458) und ein Hinweis auf die scheinbar fehlende prädiktive Aussagekraft der Parameter der Rasterstereographie bzgl. der Entwicklung einer Schmerzsymptomatik sein kann. Eine reine Betrachtung von RB über die Wirbelsäulen-anatomie scheint sich also erneut als nicht aussagekräftig zu erweisen. Bemerkenswert ist dennoch, dass in dieser Dissertationsschrift relevante Parameter (Rumpflänge, Grübchenabstand, LA, Lotabweichung und Oberflächenrotation) sich in keiner bisherigen Publikation auffällig zeigten oder gar berücksichtigt worden sind. Aufgrund der Stichprobenzahl kann jedoch von volleyballtypischen Charakteristika bzw. Variablen ausgegangen werden.



#### *5.2.4 Der Einfluss additiver, trainingsexterner Rumpfkraftübungen*

Auf den ersten Blick mag die Proportionalität zwischen der Existenz von Rückenbeschwerden und der Häufigkeit externen Rumpfttrainings irritierend scheinen. Dieser Hinweis auf die bereits mehrfach erläuterte negative Auswirkung eines zu steifen Rumpfes auf die Entstehung von Beschwerden bei Volleyballern steht in Kontrast zu der eigentlichen Intention derartig verordneter Interventionen. Es macht den Eindruck, dass die sorgfältige Planung ausreichender Erholung eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Symptomatik spielt. Dabei ist jedoch wiederum die Kausalität der Daten nicht eindeutig geklärt und lässt vielmehr einen anderen Zusammenhang vermuten: Erst nach der Erstdiagnose eines beeinträchtigenden Rückenschmerzes werden Interventionsmaßnahmen ergriffen.

Eine derartige Vermutung ergibt sich ebenfalls bei der Betrachtung der Ausbildungsinhalte sowohl des Bayerischen als auch des Deutschen Volleyballverbands. Präventiven Maßnahmen wird hier kaum, bzw. nur vor dem Hintergrund der Trauma-Prävention, Rechnung getragen. Die Stabilität des Rumpfes ist lediglich im Rahmen diverser Technikausführungen von Bedeutung und relevanter Bestandteil der Lehrinhalte, nicht jedoch in Bezug auf die Therapie oder Prävention von Rückenbeschwerden. Demzufolge findet ebenfalls keine Anweisung zu Athletenbezogenem, individualisiertem Handeln statt und führt so zu den gängigen Mannschaftsübergreifenden Methoden. Trainer sehen sich also der eigenverantwortlichen Sorge um präventiv-Maßnahmen ihrer Athleten allein gegenübergestellt (falls kein Athletikcoach finanzierbar ist).

#### *5.2.5 Beurteilung des Nomogramms*

Die Darstellung der Datensätze über Nomogramme hat den Vorteil, dass eine Auswertung bzw. Einschätzung ohne konkrete Kenntnisse der Methoden oder mathematische Berechnungen stattfinden kann. So eröffnen sie auch dem Laien eine Interpretation von Messergebnissen und illustrieren anschaulich den unterschiedlich hohen Einfluss der Prädiktoren. Diese wurden im Laufe des Verfahrens anhand ihrer Einflüsse auf die Varianz der abhängigen Variablen (zu einem reduzierten Etat) gekürzt, um die Praktikabilität der gewählten Testbatterie zu gewährleisten. So entfallen neben der SEBT Messung nun auch die ausführliche Fragebogenbatterie sowie die Körpervolumenberechnung. Zwar ist der Einfluss, der durch die genannten Methoden erfassten Parameter nicht gänzlich zu negieren, aber für die Einschätzung des Erkrankungsrisikos anhand des Nomogramms sind derartige Erhebungen hinfällig. Die Sprungkraftmessung sowie die Lichtrasterstereographie sind innerhalb kürzester Zeit durchzuführen und reduzieren die Gesamtmessdauer auf ca. 10 Minuten pro Athlet. Hierfür benötigte Gerätschaften (Kraftmessplatte, Lichtrasterstereograph) sind nach aktuellem Wissensstand gängige klinische Diagnostiktools orthopädischer Praxen/Kliniken und überwiegend auch in Stützpunkten des Leistungssports vorhanden.

Es ist anzumerken, dass die beschriebene Reduktion der Testbatterie für das Nomogramm ebenfalls eine Verringerung der Aussagekraft des gewählten Modells be-

inhaltet. Dies begründet sich durch das Auswahlverfahren der Prädiktoren, welches minimal aussagekräftige Parameter exkludiert, um eventuelle Co-Korrelationen auszuschließen. Derartig entstehende Unsicherheiten müssen in weiteren Untersuchungen anhand einer Postvalidierung des Modells erneut evaluiert werden. Die Bedeutsamkeit der identifizierten Prädiktoren scheint jedoch aufgrund der qualitativ hochwertigen Stichprobe gesichert. Eine Nacherhebung zur Komplettierung der fragebogenbezogenen Datensätze könnte die Stichprobe zudem auf das doppelte anheben ( $n \approx 400$ ), da vor allem aufgrund der geringen Rücklaufquote fehlende Werte entstanden, welche im Nachgang aus der Untersuchung ausgeschlossen werden mussten.

### *5.2.6 Integration von Interventionsmaßnahmen in den Volleyball Spitzenbereich*

Nachdem die für die Entwicklung einer Rückenschmerzsymptomatik potentiell verantwortlichen Prädiktoren herausgearbeitet wurden, sollen nun Methoden evaluiert werden, welche die Modifikation des Gesamtrisikos erlauben, indem sie die Modulation der Variablen moderieren. Nach Menke (2014) eignen sich besonders von Autoritätspersonen aufoktroierte Trainingsübungen zur Behandlung sowohl akuter als auch chronischer Beschwerden. Hierfür ist den hochspezialisierten Sportlern aber kein allgemeingültiges Training zu applizieren, wie es – nach eigener Erfahrung – häufig aufgrund mangelnder äußerer Rahmenbedingungen (Know-how, Zeit, Räumlichkeiten, Co-Trainer) praktiziert wird. Sheeran et al. (2013) konnten indes zeigen, dass individuelles Training als effektiver anzusehen ist als allgemein angeleitetes. Anhand einer videogestützten Bewegungsanalyse und einer Magnetresonanztomographie wurde den Probanden sowohl der aktuelle als auch der optimale Zustand ihrer posturalen Kontrolle bzw. Körperhaltung dargelegt. Ergänzend wurden die Resultate der Bildgebung mit den Ergebnissen einer physiotherapeutischen Untersuchung kombiniert und führten so zu einer speziell an den Defiziten des Athleten ausgerichteten Trainingsintervention. Dabei stellte sich heraus, dass für die Optimierung der posturalen Kontrolle diverse unterschiedliche Entwicklungspotentiale auszuschöpfen waren und folglich unterschiedliche Trainingsmethoden Anwendung finden mussten. In einer weiteren, sportartbezogenen Untersuchung konnten Parsons und Alexander (2012) zeigen, dass sich durch direktes und separates Feedback Landemechaniken weiblicher Volleyball Athleten unmittelbar und mittelfristig optimieren lassen. Individuelles Feedback lässt sich also auch im Rehabilitations- und Präventionssektor als essenziell wichtig für den Trainingserfolg der Athleten zusammenfassen. Die Ausprägung der gewählten Variablen erlaubt dabei die Optimierung der Trainingsplanung anhand der Interpretation der über das Nomogramm visualisierten Werte, ähnlich zum Studiendesign von Sharma et al. (2013). Es empfiehlt sich also eine Orientierung an den Modifikationsmöglichkeiten der Prädiktoren gemäß Tabelle 42, welche sich aus den biomechanischen Anfangsüberlegungen sowie Ergänzungen aus sportpraktischer Sicht und Trainingswissenschaft ableiten:

*Tabelle 42: Potentielle Modifikationsmaßnahmen zur Optimierung des Erkrankungsrisikos.*

Prädiktor	Maßnahme	Priorität (Empfehlung)
FT	Sprungkraft/Schnelligkeitstraining	Niedrig, da die Kausalität unklar
COP	Sensomotorisches Training zur neuronalen Adaptation	Hoch, trivial in den Trainingsablauf integrierbar
Grübchen	nicht/kaum modifizierbar	Niedrig, Einfluss einer Reduktion der Spannung der umliegenden Strukturen auf den Grübchenabstand unklar
LA	s. Beckenneigung	s. Beckenneigung
ObRot	Muskelaufbautraining des lateralen Traktes der Rückenstrecker	Hoch, trivial in den Trainingsablauf integrierbar
BeckNeig	Beweglichkeits-, Muskelaufbautraining	Hoch, Modifikation der WS Form
Spielpos	AA -> L, alles andere n. praktisch sinnvoll	Niedrig, nur bei hoher Einschränkung durch Schmerzen
SchlafD	Erhöhung des Schlafpensums	Hoch, einfach handzuhaben
Lotabw	Muskelaufbautraining der kontra-lateralen Seite	Hoch, trivial in den Trainingsablauf integrierbar

Zur Prävention sollten zunächst Maßnahmen ergriffen werden, welche problemlos in den (Trainings-)Alltag der Athleten integriert werden können oder aber synergetische Effekte zur Leistungsentfaltung im Volleyball generieren. Hier eignen sich insbesondere die Erhöhung des durchschnittlichen Schlafpensums oder die Applikation eines individualisierten Beweglichkeitstrainings, welches zur optimalen Ausbildung der Kraftentfaltung notwendig ist (Zawieja, 2008). Zudem halten Petering und Webb (2011) fest, dass für die Rehabilitation bzw. die Rückkehr in den aktiven Sport nach massiven lumbalen Beschwerden die Beweglichkeit eine entscheidende Rolle spielt:

„Athletes can return to play once they have recovered full range of motion and have the strength to prevent further injury“ (Petering & Webb, 2011, S.550).

Die Modifikation der Sprunghöhe wird zunächst nicht als geeignete Maßzahl angenommen, da aktuell weder die Kausalität geklärt ist noch die subjektive Einschätzung der Athleten die Durchführung derartiger Trainingsmethoden suggeriert. Neben der ohnehin planmäßigen, prä-saisonalen Erhöhung der Sprungkraftfähigkeit sollte eine Überprüfung der maximalen Sprunghöhe anhand eines CMJ lediglich zur stetigen Kontrolle erhoben werden. Präventive Effekte sind hieraus zunächst nicht abzuleiten.

Anders hingegen ist die Integration eines gezielten Kraftaufbautrainings zur Beseitigung von WS Formabnormitäten zu beurteilen. Zur Steigerung der Kraftfähigkeit der Muskulatur eignen sich die Mechanismen der Hypertrophie oder der neuronalen Adaptation (Brinckmann, 2012, S.200). Brüggemann (2015) weist in ihrer Untersuchung zur dynamischen Belastung der WS bei der Ausführung diverser Sportarten aber darauf hin, dass eine Krafterhöhung der Muskulatur auch die resultierenden Kräfte auf die Strukturen erhöht. Dies lässt sich laut den Autoren durch drei

Möglichkeiten kompensieren: Die neuromuskuläre Optimierung der Bewegung würde durch die Innervation einer Vielzahl motorischer Einheiten intramuskulär die resultierenden Beanspruchungen auf einzelne Strukturen reduzieren. Weiterhin könnte die Kraft durch die ausgleichende Aktivierung muskulärer Ansätze verteilt werden (Ausgleichstraining). Als letzte Möglichkeit schlägt Brüggemann die Körperstruktur-orientierte Integration ausreichender Pausen vor.

Zwar sieht die im Hallenvolleyball typische phasen-orientierte Periodisierung des Trainings keinerlei Hypertrophie innerhalb der Wettkampfphasen vor (Meyndt et al., 2010), die individualisierte Applikation ausgleichs-gerichteter Einheiten ist jedoch schon aufgrund ihrer verletzungspräventiven Eigenschaft anzuraten. So lassen sich der LA, die Oberflächenrotation, die Beckenneigung aber auch die Lotabweichung der WS über ein Core-Training modifizieren (im Rahmen eines Hypertrophie- oder eines Kraftausdauertrainings) und sollten daher fester integrativer Bestandteil der Trainingsplanung sein. Dabei empfiehlt sich, den additiven Effekt neuronaler Adaptation durch sensomotorisches Training im Rahmen der Kern-Stabilität zu nutzen, da die neuronale Ansteuerung, wie Un (2013) in seiner Untersuchung der Korrelation der Ansteuerungsfähigkeit der US Muskulatur und der Sprunghöhe zeigen kann, einen Teil zur Leistungsentwicklung im Volleyball beiträgt. Weiterhin beschreiben Sekulic et al. den Zusammenhang von Balance und Gewandtheit: "that balance should be considered as a potential predictor of agility in trained adult men" (Sekulic et al. 2013, S.208). Hrysomallis bestätigt diesen Effekt auch bei Freizeitsportlern:

„It has been found that the addition of a balance training component to the activities of recreationally active subjects or physical education students has resulted in improvements in vertical jump, agility, shuttle run and downhill slalom skiing“ (Hrysomallis, 2011, S.228).

Balance-Training sollte aber nicht als isolierte Methode ausgeführt werden, da die ergänzenden Effekte von Kraft- und Widerstandstraining zum sensomotorischen Training nicht zu vernachlässigen sind (Hrysomallis, 2011). Besonders im Spitzensport scheint die gezielte Reizsetzung über additive Gewichtsbelastungen opportun zur optimalen Beanspruchung der Athleten. Wobei stets berücksichtigt werden muss, dass der Ermüdungsgrad der Muskulatur einen entscheidenden Effekt auf die Leistung posturaler Kontrolle und demnach auch auf die Qualität der Übungsausführungen hat (Strobel, 2011). Es empfiehlt sich also die chronologisch frühe Implementierung sensomotorischer Trainingsformen, um die Möglichkeit einer sicheren und optimalen neuronalen Adaptation zu gewährleisten. Da die gewonnenen Ergebnisse in Einklang mit der Forschungsliteratur vermuten lassen, dass ein steifer Rumpf ebenfalls schädlich für die Athleten ist, empfehlen sich zusätzlich entspannende Verfahren wie Wärmeapplikation, manuelle Therapie seitens physiotherapeutischer Expertise oder aber Mobilisationstraining zur Verringerung des Muskeltonus. Auch hier gilt es darauf zu achten, die Leistungserbringung nicht negativ zu beeinflussen und die vorgeschlagenen Methoden ausschließlich im Training oder nach Wettkämpfen einzuleiten.

Innerhalb der Wettkampfphasen, in denen die Ausbildung der Spielfähigkeit im Vordergrund des Trainings steht, sehen sich andere sportliche Inhalte (z. B. posturale Kontrolle, s. Tabelle 43) aber keiner hohen Akzeptanz gegenüber, weshalb hier eine zielgerichtete, ökonomische bzw. intensive Methodik anzuraten ist (beispielsweise mittels instabiler Unterlagen, Wackelbretter, Schaumstoffkissen, Handtüchern). In den Übergangs- sowie Vorbereitungsphasen sollten neben ausgedehnten Core-Trainings Einheiten auch ausgleichende Sportangebote in die Periodisierung implementiert werden (Meyndt et al., 2010). Hier betont Pfusterschmied (2013) vor allem Übungen auf der Slackline mit ihren hohen Anforderungen an die posturale Stabilität v.a. im Knie und Hüftbereich (S.28) sowie deren immensen Anforderungscharakter als Alternative zu instabilen Unterlagen. Dabei muss jedoch das Gesamttrainingsvolumen im Rahmen gehalten werden, da sich die Trainingshäufigkeit – insbesondere im Jugendvolleyball – mit RB assoziieren ließ (Hangai et al., 2010).

Anhand der Jahresplanung lässt sich erkennen, dass Krafttraining überwiegend in den Vorbereitungsphasen bzw. als gezielte Belastungsstöße initiiert wird. Dabei handelt es sich jedoch überwiegend um Hypertrophie-Einheiten, bzw. Training der intramuskulären Koordination. Die bewusste, intensive und individualisierte Auseinandersetzung der Athleten und Trainer mit sensomotorischem Training während der Vorbereitungsphase könnte die stete selbstverantwortliche Durchführung innerhalb der Wettkampfperiode bewirken und so einen essentiellen Beitrag zur Prävention für Rückenbeschwerden darstellen. Klassische Stabilisationsübungen (Core-Stability) werden in vielseitigen Variationen bereits von Trainern in die allgemeinen Aufwärmprogramme integriert und sind zudem Bestandteil der Lehrausbildung. Dabei obliegt die gezielte Betreuung in der Regel den Athletiktrainern oder Physiotherapeuten, welche aber nur in den wenigsten Mannschaften vorhanden sind. Es bedarf also einer neuen Idee, einer Intensivierung innerhalb der Trainerausbildung oder aber einer individualisierten Aufklärung der Athleten über die Bedeutung und die Möglichkeiten von Rückenschmerz-präventiven Trainingsmethoden. Zudem empfiehlt es sich, Ansätze zur Integration in den Trainingsalltag aufzuzeigen, um eine Implementierung in die bestehenden Trainingsabläufe zu vereinfachen.

Tabelle 43: Jahresperiodisierung eines aktiven Vereins der 1. Volleyball Bundesliga Deutschlands. Die Schwerpunkte sind auf einer 10-stufigen Skala anhand ihrer Wichtigkeit für die betreffende Jahreswoche beurteilt und erhalten demnach Anteile der Trainingszeiten. UP=Übergangsperiode, VP=Vorbereitungsperiode, ABS=Athletischer Belastungsstoß, WP=Wettkampfperiode.

TW	KW	Zeitraum		Periode	Gesamt Einheiten	Umfang/Schwerpunkt						Ball			
						Over- all	Koo- rdin.	Akt. Reg.	Bew. eg.	Schn. elligk	Aus- dauer	Kraft Power	Umfang	Inhalt	
1	21	18. Mai	24. Mai	ÜP	9	1	1	3	1	2	1				
2	22	25. Mai	31. Mai		10	1	1	3	1	2	2				
3	23	01. Jun	07. Jun	VP1 allg.	10	1	1	3	1	2	2				
4	24	08. Jun	14. Jun		11	1	1	3	1	2	3				
5	25	15. Jun	21. Jun		12	11	1	1	3	1	1	3	1	Individualtechnik	
6	26	22. Jun	28. Jun		9	8	1	1	1	1	1	3	1	Individualtechnik	
7	27	29. Jun	05. Jul		11	10	2	1	1	1	1	3	1	Individualtechnik	
8	28	06. Jul	12. Jul		11	9	2	1	1	1	1	3	2	Individualtechnik	
9	29	13. Jul	19. Jul		13	9	2	1	1	1		3	5	Individualtechnik	
10	30	20. Jul	26. Jul		13	9	2	1	1	1		3	5	Individualtechnik	
11	31	27. Jul	02. Aug	13	7	2		1	1		3	3	Individualtechnik		
12	32	03. Aug	09. Aug	ABS	13	9	2	1	1	2	4	4	3		
13	33	10. Aug	16. Aug		14	10	2		1	2	2	4	3		
14	34	17. Aug	23. Aug	VP2 speziell	17	8	2		1	2		3	9	Gruppentaktik	
15	35	24. Aug	30. Aug		18	8	2		1	2		3	10	Gruppentaktik	
16	36	31. Aug	06. Sep		15	8	2		1	2		3	7	Gruppentaktik	
17	37	07. Sep	13. Sep		16	8	2		1	2		3	8	Mannschaftstaktik	
18	38	14. Sep	20. Sep		16	7	1		1	2		3	9	Mannschaftstaktik	
19	39	21. Sep	27. Sep		16	7	1		1	2		3	9	Mannschaftstaktik	
20	40	28. Sep	04. Okt		16	7	1		1	2		3	9	Mannschaftstaktik	
21	41	05. Okt	11. Okt		UVP	16	7	1		1	1		3	9	Spielpraxis
22	42	12. Okt	18. Okt	16		7	1		1	1		3	9	Spielpraxis	
23	43	19. Okt	25. Okt	16		7	1		1	1		3	9	Spielpraxis	
24	44	26. Okt	01. Nov				1		1	1		2	9	Spielnah	
25	45	02. Nov	08. Nov	WP		1		1	1		2	9	Spielnah		
26	46	09. Nov	15. Nov				1		1	1		1	9	Spielnah	
27	47	16. Nov	22. Nov				1		1	1		1	9	Spielnah	
28	48	23. Nov	29. Nov				1		1	1		1	9	Spielnah	
29	49	30. Nov	06. Dez				1		1	1		2	9	Spielnah	
30	50	07. Dez	13. Dez				1		1	1		2	9	Spielnah	
31	51	14. Dez	20. Dez				1		1	1		2	9	Spielnah	
32	52	21. Dez	27. Dez		ÜP		9	1	5	1	1		1		ABS
33	53	28. Dez	03. Jan			13	9	1		1	1		4		ABS
34	54	04. Jan	10. Jan			14	10	1		1	1		4		ABS

Zur Therapie bereits bestehender Rückenschmerzen können die europäischen Richtlinien (Airaksinen, 2006) kein Training als besonders empfehlenswert herausarbeiten. Da insbesondere das Klientel der Sportler weder in dieser Zusammenfassung noch in der nationalen Versorgungsleitlinie thematisiert wird, werden neue Ansätze Beachtung finden müssen. Sensomotorisches Training blieb in beiden Zusammenfassungen bisher unberücksichtigt, stellt aber aufgrund der aktuell in der Wissenschaft befindlichen Evidenzen in der Auswahl der Rehabilitationsmaßnahmen dieser Dissertationsschrift einen zentralen Aspekt dar. Hinweise für positive Auswirkungen sensomotorischen Trainings auf die Rehabilitation lassen sich in vieler Hinsicht identifizieren. Wie Boudreau, Farina und Falle (2010) zeigen, besitzt die Optimierung der Neuroplastizität und damit neurophysiologischer Parameter großes Potential für die Therapie muskulo-skelettaler Schmerzen (Boudreau et al.,

2010, S.1). Insbesondere die Herausforderung kortikaler Strukturen durch Training der Bewegungsqualität erweist sich hier als wertvoll. Dies wird durch sensomotorisches Training sichergestellt wie Bae, Hwang und Kim (2014) in ihrer Interventionsstudie anhand der verbesserten Ansteuerungsfähigkeit der Muskulatur über ein Elektroenzephalogramm (EEG) zeigen können:

„sensorimotor training had chronic low back pain patients learn muscle control ability, thereby triggering muscle plasticity, and provided a new adaptation environment for the vertebral cortex, thereby improving muscle functions as well as pain“ (Bae et al., 2014, S.33).

Wenngleich durch Core Training ebenfalls ein positiver, schmerzreduzierender Effekt gezeigt werden konnte (Garg, Warikoo & Karn, 2014), ist dessen neurophysiologische Auswirkung noch nicht hinreichend untersucht.

Bezüglich der optimalen Adaptation herrscht weitestgehend Uneinigkeit über die geeignete Trainingsfrequenz. In einigen Studien hat sich ein zweimaliges, regelmäßiges Training pro Woche etabliert (Sarabon et al., 2011; Tsao, Galea & Hodges, 2010; Filipa, Byrnes, Paterno, Myer & Hewett, 2010; Myer, Brent, Ford & Hewett, 2008; Verhagen et al., 2005), es gibt jedoch auch Hinweise auf maximale Effekte im Rahmen einer erhöhten Häufigkeit (4-5, Hwang, Bae, Kim & Kim, 2013; Garg et al., 2014; Bae et al., 2014). Wiederum andere Forschungsgruppen geben keine Frequenz an, sondern belassen es bei der Angabe der kompletten Interventionsdauer (Wand, O'Connell, Pietro & Bulsara, 2011; Bruhn, Kullmann & Gollhofer, 2004). Auch diese unterliegt, bezogen auf den aktuellen Forschungsstand, noch einem Diskussionsbedarf, so werden bisher divergierende Umfänge (von 2-10 Wochen) durchgeführt. Allen gemein ist jedoch die Notwendigkeit der konsequenten und regelmäßigen Ausführung derartiger Trainingsübungen zur Erzielung einer Adaptation.

Das bereits erwähnte Forschungsnetzwerk des Bundesinstituts für Sportwissenschaft um Prof. Frank Mayer liefert einen geeigneten Trainingsansatz zur Beseitigung und Prävention unspezifischer RB (FKZ: IIA1-080102A/11-14, AZ: AZA18pt4fEA, Abbildung 66) im Rahmen sensomotorischen Trainings, welcher als Kompromiss bisheriger Studien eine große Bandbreite trainingsspezifischer Variablen abdeckt. Demzufolge findet die Trainingsintervention auf instabilen Unterlagen drei Mal pro Woche über einen Zeitraum von mindestens zwölf Wochen Anwendung. Eine Überprüfung der neuromuskulären Veränderungen bzw. Adaptationen erfolgt jeweils nach drei, sechs und zwölf Wochen sowie als Follow-up nach 6 und zwölf Monaten.

In vier Grundübungen, die sich in ihrer motorischen Anforderung über zwölf Level steigern, werden in der allgemeinen Bevölkerung wie im Spitzensport sowohl symptomatische Rückenschmerzpatienten als auch asymptomatische Probanden über einen Zeitraum von 12 Wochen trainiert. Die Übungsauswahl enthält sowohl aktiv dynamische Extensions-/Torsionsbewegungen (Übung 1) und statische Haltekraftübungen (Übung 2) der dorsalen Kette als auch Stabilisationsübungen für die u.E. oder den vorderen Rumpf (u.a. TrA). Bisher ist die Intensität dieser Übungsauswahl noch nicht im Spitzensport evaluiert worden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass

der erhöhte sensomotorische Input einen ausreichend hohen Komplexitätsgrad für Spitzensportler darstellt. Ggfls. müssen die Übungen über Zusatzgewichte intensiviert oder aber mit sportartspezifischen Technikvariationen kombiniert werden, um den optimalen Übertrag in die Sportpraxis zu gewährleisten.





Übung	Dosierung	Level 7 - Ausführung	Hinweise
<b>1.7</b> 4-Füßler-Stand auf Füße + Hände stützen und Rumpfrotation	Unterlage: instabil Dauer: 3 Serien Umfang: 5 Wdh. pro Seite Pause: max. 30 Sek.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Beckenrotation</li> <li>- Hand + Fuß nicht auf Boden absetzen</li> <li>- Kein Rundrücken</li> </ul>
<b>2.7</b> einarmiges Rudern mit Rumpfrotation im hüftbreiten Stand mit Zusatzlast	Unterlage: instabil Dauer: 3 Serien Umfang: 5 Wdh. pro Seite Pause: max. 30 Sek.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wechselseitiges Rudern</li> <li>- Arme/Ellenbogen eng am Körper</li> <li>- Knie leicht beugen</li> <li>- Keine Beckenrotation</li> </ul>
<b>3.7</b> Einbeinballenstand mit Hüftabduktion + Extension des Spielbeines	Unterlage: instabil Dauer: 3 Serien Umfang: 5 Wdh. pro Seite Pause: max. 30 Sek.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufrechter Stand</li> <li>- Rumpf stabil halten</li> <li>- Standbein gebeugt</li> <li>- Spielbein gestreckt</li> </ul>
<b>4.7</b> Seitstütz mit gestreckten bienn und Becken heben/senken	Unterlage: instabil Dauer: 3 Serien Umfang: 10 Wdh. pro Seite Pause: max. 30		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aus der Schulter rausdrücken</li> <li>- Oberkörper aufrecht</li> <li>- Keine Beckenrotation</li> </ul>

Abbildung 66: Sensomotorisches Trainingsprogramm zur Rumpfstabilisierung; Level 7/12; MiSpEx Forschungsgruppe, BISP Projekt, FKZ: IIA1-080102A/11-14, AZ: AZA18pt4fEA.

Neben den hier dargelegten rein physiologisch ausgerichteten Methoden herrschen auch Alternativen für eine psychologische Intervention vor, die den Fokus während der Übungsausführung auf ablenkende Reize setzt. Diese verhaltenstherapeutische Maßnahme ist nach den hier gezeigten Unauffälligkeiten im Rahmen der Angstvermeidung oder des Wohlbefindens jedoch zunächst nicht vorzuziehen, da sie durch einen gesteigerten Zeitaufwand impraktikabel für den Hochleistungssport erscheint. In Einzelfällen (bei hoher Aktivitätseinschränkung) kann eine derartige Behandlung jedoch ebenfalls als hilfreich angesehen werden.

Schlussendlich sei angemerkt, dass im Rahmen einer Projektkette für den Zeitraum ab Sommer 2016 eine Untersuchung beantragt wurde, die sowohl die Implementierung als auch die Effektivität der aus dieser Dissertationsschrift resultierenden Trainingsintervention beurteilt. Dies wäre äußerst opportun, da die Lehrgänge des Dachverbands zur Erlangung der DOSB-A-Trainer Lizenz in ebendiesem Zeitraum stattfinden und Inhalte des kommenden Projekts bzw. die Resultate dieser Dissertation unmittelbar in die Lehrausbildung einfließen könnten.



## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Notarnicola et al. (2012) und andere Autoren (u.a. Bahr & Bahr, 1997, Reeser et al., 2006) konnten zeigen, dass die Kenntnis symptomprädestinierender Variablen einen wesentlichen Beitrag zur Vorsorge darstellt (Notarnicola et al., 2012, S. 397), weshalb das Ziel dieser Forschungsarbeit in der Identifikation volleyballspezifischer Prädiktoren zur Entstehung nichttraumatischer Rückenschmerzen bestand. Zur Klärung der Fragestellungen diente eine umfangreiche Diagnostik basierend auf biomechanischen, psycho-sozialen und medizinischen Parametern, welche im Rahmen eines zweimonatigen Erhebungszeitraums an einem Kollektiv von 422 Volleyball Bundesligaathleten angewendet wurde. Die Anzahl der kompletten und verwendeten Datensätze für das angewandte Verfahren der logistischen Regression reduziert sich aufgrund geringer Rücklaufquote der Fragebögen (nur knapp über 50%) auf 205.

Neben zahlreichen wirbelsäulenbeschreibenden Faktoren ließen sich biomechanische Variablen wie die Sprunghöhe und Einbeinstandstabilität, aber auch spielstrukturelle Parameter (Spielposition) als relevant in der Bedeutung für die Entstehung von Rückenbeschwerden identifizieren. Die endgültige Variablenselektion erfolgte anhand der jeweiligen Beurteilung der Existenz und Höhe eines univariaten Zusammenhangs mit Rückenbeschwerden. So konnten die Prädiktoren mit Hilfe statistischer Methoden reduziert und in ein Nomogramm überführt werden, welches eine unmittelbare Interpretation des Rückenschmerzrisikos (bezogen auf einen Zeitraum von 12 Monaten anhand der Odds Ratios) erlaubt. Im Rahmen dieser Berechnungen konnte der Variablenauswahl durch Anwendung auf den vorliegenden Datensatz eine gute Sensitivität (>80%) bei gleichzeitig mangelnder (~50%) Spezifität zugeschrieben werden. Vor dem Hintergrund geringer therapeutischer Konsequenzen im Falle einer Erkrankung (in dieser Dissertationsschrift wird sensomotorisches Training postuliert) wurde der Fehler 1. Art, eigentlich gesunde Athleten als krank einzustufen, zu Gunsten hoher Sensitivität toleriert. Das Paradigma neuronaler Adaptation zur Therapie unspezifischer Rückenbeschwerden, welches nach aktuellem Forschungsstand vornehmlich über Sensomotorik adressiert wird, wird als leicht transferierbares Konzept für den Hallenvolleyball vorgestellt (in Anlehnung an das aktuell laufende Großprojekt des Bundesinstituts zum Rückenschmerz, Medicine in Spine Exercise, FKZ: IIA1-080102A/11-14, AZ: AZA18pt4fEA).

Resümierend lassen sich auf der Basis der dargestellten Forschungsuntersuchung folgende Erkenntnisse herausstellen:

- RB sind im deutschen Hochleistungsvolleyball sehr präsent (60% akute Prävalenz), wenngleich die Prävalenz von Beschwerden noch unterhalb der Normalbevölkerung liegt.
- Die klinisch standardisierten Methoden zur Evaluation von Beschwerden scheinen im Rahmen des Spitzensports zu unspezifisch. Insbesondere klassische Erhebungstools, welche in der allgemeinen Bevölkerung als validiert

anzusehen sind (VAS, Korff, Mainzer Stadienmodell), scheinen keinen ausreichenden Differenzierungsgrad im Hochleistungssport aufzuweisen.

- RB wirken sich auf Parameter der Leistungsentwicklung im VB aus und sollten daher – entgegen der bisherigen Praxis – bei Trainern und Athleten durchaus Berücksichtigung in der Ausbildung finden.
- Die Distanz der beiden Fixpunkte Spina Iliaca Posterior Superior links- wie rechtsseitig zueinander (Grübchenabstand) ist ein bisher wenig berücksichtigter Faktor, welcher jedoch, besonders in Bezug auf Sprungaktivitäten und dauerhaft hohe axiale Belastung der WS, intensiverer Auseinandersetzung bedarf.
- Die Libero Position ist trotz geringer Sprung- und Angriffsbelastung stark mit RB assoziiert (widerspricht bisherigen Erkenntnissen, siehe u.a. Dalichau & Scheele, 2002). Reaktive und schnelle Bewegungsänderungen scheinen also durchaus auch einen Einfluss auf RB auszuüben, wenngleich keine hohe axiale Belastung dabei zu erwarten ist.
- Die Hinweise verdichten sich, dass ein wesentlicher Faktor für die Entstehung von RB im Volleyball anscheinend in einem zu steifen Rumpf der Athleten zu sehen ist. Die schwächer ausgeprägte WS-Form der Volleyballer scheint so Defizite in der Biegsamkeit aufgrund hoher muskulärer Anspannung aufzuweisen.
- Die Erhebung bereits in der allgemeinen Bevölkerung validierter, psychosozialer Messinstrumente für RB (FABQ, HADS) scheint für Profisportler vor dem Hintergrund der Erwerbssicherung hinfällig. So geben diese kaum eine Beeinflussung von RB ihres Alltags an, wodurch die Interpretation psychophysiologischer Einschränkungen alltäglicher Aktivitäten sowie des Berufslebens (Sport) nur mit Vorsicht zu vollziehen ist.
- Das entwickelte Nomogramm führt zu einer schnellen Einschätzung der Athleten bzgl. des Erkrankungsrisikos von Rückenschmerzen und liefert modifizierbare Faktoren, die eine Optimierung sowie ein spezielles, individualisiertes Präventionstraining erlauben.
- Die reduzierte Testbatterie erlaubt eine einfache Durchführung und Implementierung in jährliche/saisonale präventiv medizinische Untersuchungen der Athleten. Hierfür sind, in Kooperation mit der Berufsgenossenschaft (BG), Vereinbarungen zu regelmäßigen Checkups denkbar, um für die Kontinuität der Maßnahmen zu garantieren und die Athleten bestmöglich zu versorgen. Zusätzlich oder bereits vorbereitend hierfür wäre die Integration einer trivialen Abfrage von RB (im Rahmen übersichtlicher Diagnostiktools) in die Jahresgrunduntersuchung von Kaderathleten opportun.

Weiterführend konnten praxisrelevante Informationen auf Basis der Stichprobenqualität gewonnen werden, welche abseits der ursprünglichen Fragestellungen einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn für den Hallenvolleyball generieren:

- Erstellung einer Kennwerttabelle für die Sprungfähigkeit (CMJ) sowie Stabilitätsfähigkeit (COP) deutscher Volleyballathleten der 1. und 2. Bundesliga.
- Erweiterung/Aktualisierung der Daten zur Veränderung der Wirbelsäulenform von Volleyballern.
- Die Erhebung der Körpervolumina erweitert die Vorstellung der Proportionen von Volleyballern. Offenbar ist der Rumpf in Bezug zur Gesamtmasse voluminös sehr stark ausgeprägt im Vergleich zu den Oberschenkeln, was für Sprungsportler zunächst nicht zu erwarten wäre.
- Neben den zeitlich sehr beschränkten Möglichkeiten der Forschung im Spitzensport besteht eine hohe Akzeptanz strukturierter und geplanter Untersuchungen im Volleyball seitens der Vereinsmanager, Trainer, Athletik-Coaches, Physiotherapeuten und Sportler.

Hieraus lassen sich mannigfaltige Forschungsaufgaben ableiten, welche sich für den weiteren Verlauf von Betrachtungen komplexer Wirkmechanismen für Rückenschmerz im Spitzensport ergeben.

Allen voran empfiehlt sich die erneute Erhebung der reduzierten Testbatterie dieser Untersuchung zur Validierung des Nomogramms sowie der Vervollständigung des Kollektivs. Da die Qualität der Datensätze maßgeblich von der geringen Rücklaufquote beeinflusst wurde (>80% missing data durch fehlenden Fragebogen produziert), gilt die Reduktion der Fragebogenitems auf ein minimales Niveau als vielversprechende Maßnahme für Nacherhebungen. Zudem ermöglichen die ausgewählten Parameter eine simple Einbettung in den Trainingsalltag (z. B. monatlich) als längsschnittliche Erfassung bzw. saisonbegleitende Maßnahme. Hierfür müsste lediglich die Erfassung/Überprüfung der statischen WS-Form organisiert werden, da Kraftmessplatten heutzutage als Standard-Ausrüstung von orthopädischen Kliniken, Olympiastützpunkten oder Trainingszentren gelten. Vorstellbar wäre eine Integration der Inhalte in die Trainerausbildung des DVV, anderer Spitzenverbände oder die Berufsgenossenschaft, um zum einen den erfolgreichen Übertrag in die Praxis und zum anderen die Regelmäßigkeit der Ausführung derartiger Screenings zu gewährleisten.

Weiterhin könnte eine Durchführung der dargelegten Methodik in anderen Sprungsportarten zu erweiterten Kenntnissen der bisher noch ungeklärten Fragen führen. Insbesondere Basketball könnte, in Hinsicht auf die Bedeutsamkeit der Lumbalgrübchen-Distanz bei axialen Sprungbelastungen (resultierend aus den kaudal/medial wirkenden Kräften auf das Sacrum), durch seine Spielstruktur und die stark vertikal ausgerichtete Sprungdynamik einen bedeutsamen Beitrag zur Interpretation liefern. Auch Individualsportarten ohne Sprungbelastung, aber regelmäßiger intensiver axialer Krafteinwirkung (wie z. B. Gewichtheben), könnten das Wissen um die Belastung innerhalb des Ilio-sacralen Übergangs erweitern. Hierbei wäre die Erfassung/Bemessung der wirkenden Kräfte anzuraten, um die Kraftverhältnisse konkret darstellen zu können. Neben den praxis-irrelevanten in vivo Messungen herrschen bereits zahlreiche mathematische Modelle der inversen Dynamik vor, welche eine Abschätzung der WS-inhärenten Kraftverarbeitung liefern könnten.

Eine Evaluation vorhandener Kräfte könnte wiederum dazu genutzt werden, das Optimum stabilisierenden Kraftoutputs zu ermitteln, um so einer Überbelastung oder gar einem ‚zu steifen Rumpf‘ vorzubeugen.

Abschließend stellt sich bei der Durchsicht der nationalen Versorgungsleitlinie Rückenschmerz heraus, dass bisher keinerlei Ratschläge für die Therapie im Sport/Spitzensport existieren. Es wird lediglich zwischen der physischen Aktivität (definiert über alle Bewegungen, die zu einer Pulserhöhung führen) und Sport im Rahmen der Wettkampfteilnahme unterschieden, eine weitere Auseinandersetzung mit Sportlern bleibt jedoch aus. Weiterführende Analysen bzgl. der Epidemiologie, den Wirkmechanismen, ursächlichen Belastungen sowie therapeutischen Ansätzen für Kreuzschmerz im (Spitzen-)Sport herrschen nicht vor und sollten auf Basis der bereits publizierten hohen Prävalenzen dringend näher untersucht werden.

Insbesondere die methodischen Konsequenzen, die sich aus den Besonderheiten des Settings ergeben, sind dabei zu berücksichtigen. Die geringe zeitliche Verfügbarkeit der Athleten bedarf nicht nur einer langfristigen Planung, sondern i.d.R. auch der Anreise zu den Trainingsörtlichkeiten der Sportler sowie einer zeitsparenden Durchführung der Erhebungen. Dabei erfordern die sportartspezifischen Rahmenbedingungen üblicherweise entweder die eigenständige Kostenübernahme oder eine Finanzierung über Drittmittel. Zusätzlich müssen Untersuchungen im Spitzensport nachweislich hohen Handlungsbedarf aufweisen und gegenüber dem gesamten Trainerstab, aber vor allem auch den Athleten, gerechtfertigt werden und bedürfen einstimmiger Akzeptanz. Zukünftige Studien sollten sich also darauf fixieren, an die bisher gelieferten Kenntnisse im Rahmen der Versorgungsleitlinien anzuknüpfen und den Übertrag in den Spitzensport unter Berücksichtigung der methodischen Schwierigkeiten des Settings zu gewährleisten.

So soll diese Dissertationsschrift dazu dienen, die hohe Akzeptanz der Trainer gegenüber rücken-spezifischen Maßnahmen zu verdeutlichen und zu weiteren Forschungsarbeiten im Spitzensport dieser Thematik ermutigen. Auch wenn bereits gezeigt werden konnte, dass gezielte und geplante Bewegung ein probates Mittel zur Behandlung chronischer Rückenbeschwerden darstellt, so bleibt das optimale Ausmaß physischer Aktivität ungewiss, wengleich hierfür – durch die Identifikation der Risikofaktoren im Volleyball Spitzensport – ein Beitrag geliefert werden konnte.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

AA	Außenangreifer
Abb.	Abbildung
ACL	vorderes Kreuzband (engl. Anterior Cruciate Lig.)
AIC	Akaike Informationskriterium
ANOVA	Analysis of variance (Varianzanalyse)
Art.	Articularis
BP	back pain
BWS	Brustwirbelsäule
bzgl.	bezüglich
bzw.	Beziehungsweise
CoP	Center of Pressure
CMJ	Counter-Movement-Jump
CMJA	Counter-Movement-Jump mit Armschwung
CMJoA	Counter-Movement-Jump ohne Armschwung
CS	Composit Score
D	Diagonalspieler
Dif	Differenz der Sprunghöhen
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
et al.	et altera
FAB-Q	Fear Avoidance Beliefs Questionnaire
FAM	Fear Avoidance Model
HAD-S	Hospital Anxiety and Depression Scale
HWS	Halswirbelsäule
ISG	Iliosacral Gelenk
i.d.R.	in der Regel
KSP	Körperschwerpunkt
L	Libero
Lig./ Ligg.	Ligamentum / Ligamenta (Pl.)
LP	Linearer Prädiktor
LWS	Lendenwirbelsäule
M. / Mm.	Musculus / Musculi (Pl.)
MANOVA	Multivariate analysis of variance
Max	Maximum
MB	Mittelblocker
Min	Minimum
MPSS	Mainzer
NV	Normalverteilung
o. E.	obere Extremität
oZ	oberes Zuspiel

Procc.	Processus
PT	Patella Tendinopathie
QL	M. Quadratus Lumborum
RA	M. Rectus Abdominis
RB	Rückenbeschwerden
RTP	Return-to-Play
SD	Standardabweichung (standard deviation)
SGG	Sprunggelenk
sog.	sogennante(s)
Tab.	Tabelle
TE	Trainingseinheit
TrA	M. Transversus Abdominis
TW	Trainingswissenschaft
U	Universalspieler
uZ	unteres Zuspiel
u.a.	unter anderem
u. E.	untere Extremität
u.s.w.	und so weiter
u.v.m.	und vieles mehr
VAS	Visuelle Analogskala
VE	Vital Exhaustion
VB	Volleyball
WS	Wirbelsäule
Z	Zuspieler
z. B.	zum Beispiel

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systematisierung der an posturaler Kontrolle beteiligten Strukturen .....	33
Tabelle 2: Definition der Schwere von Verletzungen nach Miltner.....	41
Tabelle 3: Lokalisation der Verletzungen im Volleyball .....	42
Tabelle 4: Psychische Stressfaktoren am Arbeitsplatz .....	50
Tabelle 5: Darstellung der Methodenentwicklung.....	66
Tabelle 6: Subsets der Untersuchung. ....	66
Tabelle 7: Kollektiv der Untersuchung. ....	71
Tabelle 8: Charakteristika der untersuchten Stichprobe. ....	72
Tabelle 9: Übersicht der potentiellen Prädiktoren.....	73
Tabelle 10: Übersicht der angewandten psycho-sozialen Fragebögen. ....	74
Tabelle 11: Struktur des Fragebogens .....	76
Tabelle 12: Die geometrischen Figuren der Modellvorstellung. ....	78
Tabelle 13: Operationalisierung der Kopf-Maße zur Volumenberechnung. ....	79
Tabelle 14: Operationalisierung der Hals-Maße zur Volumenberechnung. ....	79
Tabelle 15: Operationalisierung der Ober- und Unterarm-Maße zur Volumenberechnung. ....	80
Tabelle 16: Operationalisierung der Hand-Maße zur Volumenberechnung. ....	81
Tabelle 17: Operationalisierung der Bein-Maße (Ober- & Unterschenkel) zur Volumenberechnung. ....	81
Tabelle 18: Operationalisierung der Fuß-Maße zur Volumenberechnung. ....	82
Tabelle 19: Operationalisierung der Rumpf-Maße zur Volumenberechnung. ....	82
Tabelle 20: Messprotokolle der Testung zur Sprungfähigkeit. ....	87
Tabelle 21: Korrelationen der erhobenen Daten zweier unabhängiger Testleiter.....	99
Tabelle 22: Kennzahlen der 20-maligen Retest-Messung eines Probanden mittels der LRS .....	107
Tabelle 23: Prüfung der Variablen "Gewicht" auf Normalverteilung innerhalb der Stichprobe mittels.....	110
Tabelle 24: Prüfung der Variablen "Gewicht" auf Normalverteilung innerhalb der gebildeten Subgruppen .	111
Tabelle 25: Beispiel einer statistischen Scheinkorrelation .....	114
Tabelle 26: Integration der Drittvariable "Anzahl beteiligter Blockspieler".....	115
Tabelle 27: Disability-Score bzgl. der Reproduzierbarkeit der Schmerzen.....	123
Tabelle 28: Mittelwerte der Körperhöhen getrennt nach Berufsstand. ....	129
Tabelle 29: Vergleich der Körpervolumina Volleyball-aktiver Damen und Herren .....	130
Tabelle 30: Das positionsdifferenzierte Verhältnis der Ober- zu Unterkörpervolumina bei den Damen.....	131
Tabelle 31: Positionsspezifische Verteilung von Links-, Rechts- und Beidhändern.....	132
Tabelle 32: Maximale Sprungkraft in Abhängigkeit der Erwerbstätigkeit der Damen und Herren. ....	137
Tabelle 33: Wirbelsäulenkennziffern der DIERS formetric 4D Analyse der Kohorte.....	138
Tabelle 34: Statistische Kennziffern der Athleten mit und ohne Rückenbeschwerden. ....	138
Tabelle 35: Logistische Regressionsmodelle der untersuchten Stichprobe.....	145
Tabelle 36: Gütevergleich der Modelle anhand des Pearson Pseudo R <sup>2</sup> . ....	146
Tabelle 37: R-Output zum logistischen Regressionsmodell Nr. 4.....	148
Tabelle 38: 4-Felder Tafel zur Beurteilung der Sensitivität und Spezifität. ....	149
Tabelle 39: Die Berechnung der Punktwerte des Nomogramms .....	150
Tabelle 40: Auflistung der Gesamtpunktzahlen der Prädiktoren .....	152
Tabelle 41: Mittelwerte relevanter WS beschreibender Parameter der Kohorte.....	172

Tabelle 42: Potentielle Modifikationsmaßnahmen zur Optimierung des Erkrankungsrisikos. ....	175
Tabelle 43: Jahresperiodisierung eines aktiven Vereins der 1. Volleyball Bundesliga .....	179

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Aufbau der menschlichen Wirbelsäule .....	23
Abbildung 2: Illustration der Wirbelsäulenstabilisierung durch die Bauchpresse .....	25
Abbildung 3: Darstellung der globalen, hüftumgreifenden Muskulatur .....	26
Abbildung 4: Winkelverlauf der thorakalen Wirbelsäule beim frontalen unteren Zuspiel .....	28
Abbildung 5: Modell zur Ursachenerklärung von Verletzungen .....	39
Abbildung 6: Low Court Defense.....	52
Abbildung 7: Diving.....	52
Abbildung 8: Back Set .....	52
Abbildung 9: Jump Set .....	53
Abbildung 10: Lateralflexion der gesamten WS beim frontalen Angriffsschlag .....	54
Abbildung 11: Illustration eines Hinterfeld Angriffs und zweier, schnell gespielter Außenangriffe .....	55
Abbildung 12: Ballbezogene Handlungen unterschiedlicher Spielpositionen .....	56
Abbildung 13: Work-Flow Diagramm eines Messtages .....	68
Abbildung 14: G*Power Plot zur Berechnung der mindest-Stichprobenzahl .....	70
Abbildung 15: Struktur der teilweise/vollständig vorhandenen Datensätze .....	71
Abbildung 16: Illustration des 15-Segmente Körpermodells nach Hanavan.....	77
Abbildung 17: Das verwendete Maßband und der digitale Messschieber. ....	77
Abbildung 18: Darstellung der Kräfte unterhalb der Fußsohle und deren resultierende Weglänge .....	84
Abbildung 19: Der Y-Balance Test zur Überprüfung der dynamischen, einbeinigen posturalen Kontrolle .....	85
Abbildung 20: Darstellung der Ausführung des Counter-Movement-Jumps ohne Armschwung.....	87
Abbildung 21: Diers formetric 4D Messaufbau.....	88
Abbildung 22: Messapparatur der DIERS formetric Lichtrasterstereographie (LRS) .....	89
Abbildung 23: Messmethodik der optischen Triangulation.....	89
Abbildung 24: Definition der LRS Messparameter .....	91
Abbildung 25: Oberflächenstruktur einer DIERS Lichtrasterstereographie.....	91
Abbildung 26: Output der DIERS International Pedobarographie bei statischem, beidbeinigem Stand. ....	92
Abbildung 27: Der Aufbau der standardisierten Feedback Reports an die Athleten.....	97
Abbildung 28: Graphische Überprüfung der Prädiktoren auf Normalverteilung.....	110
Abbildung 29: Nomogramm zur Evaluation des Rückenschmerzrisikos jugendlicher Fußballspieler .....	117
Abbildung 30: Lokalisation der Beschwerden aller befragten Volleyballer, kaudal sortiert.....	120
Abbildung 31: Die Häufigkeit multipler Beschwerden inklusive/exklusive RB.....	120
Abbildung 32: Zeitraum kombiniert mit der Lokalisation der Beschwerden innerhalb eines Jahres.....	121
Abbildung 33: Positionsbezogene, prozentuale Häufigkeit von RB .....	121
Abbildung 34: Dauer der Rückenbeschwerden innerhalb der Stichprobe. ....	122
Abbildung 35: Heat-map über die Häufigkeitsverteilung der Lokalisation von Rückenschmerz. ....	123
Abbildung 36: Differenz des subjektiv empfundenen Schmerzes während des Sports und in Ruhe .....	123
Abbildung 37: Subjektive Einschätzung der Athleten bzgl. des Einflusses spezifischen Trainings auf RB...	124
Abbildung 38: Subjektive Beurteilung der Athleten zur Ursache der Entstehung ihrer RB.....	125



Abbildung 39: Häufigkeit von RB in Abhängigkeit der ausgeführten beruflichen Tätigkeit. ....	125
Abbildung 40: FABQ und HADS Subskalen/Gesamtscores der Volleyball-Stichprobe. ....	127
Abbildung 41: Mittelwerte und Standardabweichungen der Körpergröße und Körpermassen .....	128
Abbildung 42: Vergleich der Body Mass Indices aller Spielpositionen in Abhängigkeit des Spielniveaus....	128
Abbildung 43: Größe und Gewicht der Stichprobe je nach Angestelltenverhältnis .....	129
Abbildung 44: Illustration der erfassten Körpervolumina der Herren.....	131
Abbildung 45: Rückenprofile von links- und rechtshändigen Diagonalspielern/-innen.....	132
Abbildung 46: Mittelwerte der CoP Messungen der Stichprobe .....	133
Abbildung 47: Maximale Sprunghöhe aus drei Versuchen jeweils mit und ohne Armschwung.....	134
Abbildung 48: Zusammenhang der Sprunghöhen und der Körpergröße der Damen und Herren. ....	135
Abbildung 49: Boxplots der positionsspezifischen Sprunghöhen der Stichprobe .....	135
Abbildung 50: Scatterplots der Sprunghöhen ohne Armeinsatz.....	136
Abbildung 51: Zusammenhang zwischen RB und der max. Sprunghöhe .....	136
Abbildung 52: Korrelation der beiden Wirbelsäulenkennziffern Lordosewinkel und Beckenneigung. ....	139
Abbildung 53: Korrelation zwischen der Beckenneigung und der Spielzeit im Volleyball.....	140
Abbildung 54: Subjektive Einschätzung der Athleten bzgl. ihres eigenen Gesundheitszustands.....	141
Abbildung 55: Boxplots und Einflussgraphik der Schlafdauer auf die Existenz von RB .....	141
Abbildung 56: Anzahl wöchentlicher Trainingseinheiten .....	142
Abbildung 57: Übersicht der statistisch signifikanten Zusammenhänge mit RB .....	143
Abbildung 58: Korrelationsmatrix der durch die lineare Regression ermittelten Prädiktoren.....	144
Abbildung 59: R-Output der logistischen Regression.....	147
Abbildung 60: Effektplots der modellinhärenten Prädiktoren auf die Entstehung von RB .....	148
Abbildung 61: ‚Receiver-operator characteristics‘ Funktion des ausgewählten Modells.....	149
Abbildung 62: Nomogramm bzgl. der Entstehung von Rückenschmerz im Hallenvolleyball.....	152
Abbildung 63: Schematische Darstellung der Auswirkung der Ausrichtung von Wirbelkörpern .....	165
Abbildung 64: Schematische Darstellung des menschlichen Beckens eines Erwachsenen .....	169
Abbildung 65: WS Parameter der Kohorte im Vergleich zur Bevölkerungsnorm .....	172
Abbildung 66: Sensomotorisches Trainingsprogramm zur Rumpfstabilisierung.....	181

## 10 Literaturverzeichnis

1. Aagaard, H., & Jørgensen, U. (1996). Injuries in elite volleyball. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 6(4), 228–32.
2. Aagaard, H., Scavenius, M., & Jørgensen, U. (1997). An epidemiological analysis of the injury pattern in indoor and in beach volleyball. *International journal of sports medicine*, 18(3), 217–21.
3. Adams, M. A., Mannion, A. F., & Dolan, P. (1999). Personal risk factors for first-time low back pain. *Spine*, 23, 2497-505.
4. Adams, M. A. (2004). Biomechanics of back pain. *Acupuncture in Medicine*, 22(4):178-88.
5. Ahlers, V. S. (2008). *Einführung in die Statistik mit R*. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. Zuletzt aufgerufen am 16.03.2016, unter <http://www.wiwi.uni-bielefeld.de/lehrbereiche/emeriti/jfrohn/Upload/statskript.pdf>.
6. Airaksinen, O., Brox, J. I., Cedraschi, C., Hildebrandt, J., ... Mannion, A. F., (2006). European Guidelines For The Management Of Chronic Nonspecific Low Back Pain. *European Spine Journal*, 15, 192–300.
7. Akarcesme, C., Yildiran, I., Bakir, M. A., & Arslan, Y. (2010). The Relation Among The Setter Position Setter Height And Game Result In Elite Women Volleyball. *Science, Movement and Health*, 2, 433-9.
8. Akuthota, V., & Nadler, S. F. (2004). Core strengthening. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(3), 86-92.
9. Altmaier, E. M., Lehmann, T. R., Russell, D. W., Weinstein, J. N., & Kao, C. F. (1992). The Effectiveness Of Psychological Interventions For The Rehabilitation Of Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial Evaluation. *Pain*, 49(3), 329-35.
10. Alves, H., Voss, M. W., Boot, W. R., Deslandes, A., Cossich, V., Salles, J. I., & Kramer, A. F. (2013). Perceptual-cognitive expertise in elite volleyball players. *Frontiers in psychology*, 4, 1–9.
11. Andersson, H. I., Ejlertsson, G., Leden, I., & Rosenberg, C. (1993). Chronic pain in a geographically defined general population: studies of differences in age, gender, social class, and pain localization. *Clinical Journal of Pain*, 9(3), 174-82.
12. Anrich, C., Krake, C., Zacharias, U., & Lichte, H. (2005). *Supertrainer Volleyball: Training, Technik, Taktik, Spiel*. Reinbek: ro ro ro.
13. Astrand, P.-O., & Ryhming, I. (1954). A Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) From Pulse Rate During Submaximal Work. *Journal of Applied Physiology*, 7(2), 218-21.
14. Aufdermaur, M. (1981). Juvenile kyphosis (Scheuermann's disease): radiography, histology, and pathogenesis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 154, 166-74.
15. Auguste, C., Link, D., Salimi, A., Schimanski, M., & Lames, M. (2005). Entwicklung und Anwendung eines volleyballspezifischen Sprungkrafttests. In K. Zentgraf & K. Langolf (Hrsg.), *Volleyball 2004 – Jubiläum* (S.43-56). Hamburg: Czwalina.
16. Augustsson, S. R., Augustsson, J., Thomeé, R., & Svantesson, U. (2006). Injuries and preventive actions in elite Swedish volleyball. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(6), 433–40.
17. Bae, S.-H., Hwang, J.-A., & Kim, K.-Y. (2014). The Effects of Sensorimotor Training Applied to Chronic Low Back Pain Patients on Their Pain and Change in Excitability of Cerebral Cortex Neurons. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, 6(4), 33-44.
18. Bahr, R., & Bahr, I. a. (1997). Incidence of acute volleyball injuries: a prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 7(3), 166–71.
19. Bahr, R., Bahr, I. A., & Lian, O. (1996). A two-fold reduction in the incidence of ankle sprains in volleyball after introduction of a prevention programme. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 28(5), 29.
20. Bahr, R., & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries – a methodological approach. *British journal of sports medicine*, 37, 384–392.
21. Bahr, R. (2009). No injuries, but plenty of pain? On the methodology for recording overuse symptoms in sports. *British Journal of Sports Medicine*, 43(13), 966-72.

22. Bahr, R., & Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 324-9.
23. Bahr, R., & Reeser, J. C. (2003). Injuries Among World-Class Professional Beach Volleyball Players. *The American journal of sports medicine*, 31(1), 119-25.
24. Ballreich, R., & Kuhlow, A. (1975). Trainingswissenschaft – Darstellung und Begründung einer Forschungs- und Lehrkonzeption. *Leistungssport*, 5(2), 95-103.
25. Barnes, J. L., Schilling, B. K., Falvo, M. J., Weiss, L. W., Creasy, A. K., & Fry, A. C. (2007). Relationship Of Jumping And Agility Performance In Female Volleyball Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1192-6.
26. Batterham, A. M., & Atkinson, G. (2005). How Big Does My Sample Need To Be? A Primer On The Murky World Of Sample Size Estimation. *Physical Therapy in Sport*, 6(3), 153-63.
27. Beneka, A., Malliou, P., Gioftsidou, A., Tsigganos, G., Zetou, H., & Godolias, G. (2009). Injury incidence rate, severity and diagnosis in male volleyball players. *Sport Sciences for Health*, 5(3), 93-9.
28. Bhairo, N. H., Nijsten, M. W., Van Dalen, K. C., & Ten Duis, H. J. (1992). Hand injuries in volleyball. *International journal of sports medicine*, 13(4), 351-4.
29. Biering-Sorensen, F. (1982). A prospective study of low back pain in a general population. III. Medical service-work consequence. *Scandinavian Journal of Rehabilitative Medicine*, 15(2), 89-96.
30. Blobel, V., & Lohrmann, E. (1988). *Statistische und numerische Methoden der Datenanalyse*. Stuttgart: Teubner Studienbücher.
31. Boldt, M., Gregory, D., Jaffe, D., Dodge, T. M., & Jones, M. T. (2011). Relationship Between Body Composition And Performance Measures In NCAA Division III Women's Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 79-80.
32. Bono, C. M., (2004). Current concepts review: low back pain in athletes. *American Journal of Bone and Joint Surgery*, 86(2), 392-6.
33. Borrás, X., Balias, X., Drobnic, F., & Galilea, P. (2011). Vertical Jump Assessment On Volleyball: A Follow-Up Of Three Seasons Of A High-Level Volleyball Team. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1686-94.
34. Boudreau, S. A., Farina, D., & Falla, D. (2010). The role of motor learning and neuroplasticity in designing rehabilitation approaches for musculoskeletal pain disorders. *Manual Therapy*, 15, 410-4.
35. Bouillon, L. E., & Baker, J. L. (2011). Dynamic Balance Differences As Measured By The Star Excursion Balance Test Between Adult-Aged And Middle-Aged Women. *Sports Health*, 3(5), 466-9.
36. Bouras, T., & Korovessis, P. (2015). Management of spondylolysis and low-grade spondylolisthesis in fine athletes. A comprehensive review. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*, Suppl 1, 167-75.
37. Brack, R. (1983). *Trainingswissenschaftliche Leistungsdiagnostik im Volleyball. Konditionelle, technomotorische und anthropometrische Einflussgrößen*. Ahrensburg: Czwalina.
38. Bratschke, D. (2014). *Häufigkeitsanalyse der Annahmetechniken im oberen nationalen Bereich Deutschlands*. Köln: Deutscher Volleyball Verband.
39. Brinckmann, P., Frobin, W., Leivseth, G., & Drerup, B. (2012). *Orthopädische Biomechanik (2.Aufl.)*. Münster: Universitäts- und Landesbibliothek Münster.
40. Briner, W. W. (1996). Injuries in elite college volleyball players: comparison of sand vs. hard court injury rates. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 105.
41. Briner, W. W., & Kacmar, L. (1997). Common injuries in volleyball. Mechanisms of injury, prevention and rehabilitation. *Sports Medicine*, 24(1), 65-71.
42. Briner, W. W., & Lawrence, K. (1997). Common Injuries in Volleyball. *Sports Medicine*, 24(1), 65-71.
43. Brown, M. F., Hukkanen, M. V., McCarthy, I. D., Redfern D. R., Batten J. J., ... Crock, H.V. (1997). Sensory and sympathetic innervation of the vertebral endplate in patients with degenerative disc disease. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 79(1), 147-53.

44. Brudermanns, B. (2013a). Gutes Sprungvermögen ist ein Risikofaktor. *Sportverletzung Sportschaden*, 27, 114–5.
45. Brudermanns, B. (2013b). Schwächere Muskelkontrolle In Der Lumbopelvinen Region. *Sportverletzung Sportschaden*, 27.
46. Bruhn, S., Kullmann, N., & Gollhofer, A. (2004). The Effects of a Sensorimotor Training and a Strength Training on Postural Stabilisation, Maximum Isometric Contraction and Jump Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 56-60.
47. Brumagne, S., Cordo, P., & Verschueren, S. (2004). Proprioceptive weighting changes in persons with low back pain and elderly persons during upright standing. *Neuroscience Letters*, 366(1), 63-6.
48. Brüggemann, G. P. (2015). *Die Belastung der Wirbelsäule – Berechnung mittels Inverser Dynamik*. Vortrag auf dem BISP-geförderten MiSpEx-Symposium in Mespelbrunn.
49. Bühner, M., & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson Studium.
50. Bundesärztekammer, Kassenärztliche Bundesvereinigung, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften. *Nationale Versorgungs Leitlinie Kreuzschmerz – Langfassung*. Version 1.X.2010. Zuletzt aufgerufen am 16.03.2016 unter <http://www.versorgungsleitlinien.de/themen/kreuzschmerz>.
51. Capener, N. (1931). Spondylolisthesis. *British Journal of Surgery*, 19, 374.
52. Carpenter, M. G., Frank, J. S., Winter, D. A., & Peysar, G. W. (2001). Sampling duration effects on centre of pressure summary measures. *Gait & Posture*, 13(1), 35-40.
53. Carvajal, W., Betancourt, H., León, S., Deternel, Y., Martínez, M., Echevarría, I., Castillo, M. E., et al. (2012). Kinanthropometric profile of Cuban women Olympic volleyball champions. *MEDICC review*, 14(2), 16–22.
54. Chan, C. W., Eng, J. J., Tator, C. H., & Krassioukov, A. (2016). Epidemiology of sport-related spinal cord injuries: A systematic review. *Journal of Spinal Cord Medicine*, 39(3), 255-64.
55. Chen, Z.-R., Wang, Y.-H., Peng, H.-T., Yu, C.-F., & Wang, M.-H. (2013). The Acute Effect Of Drop Jump Protocols With Different Volumes And Recovery Time On Countermovement Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 154-8.
56. Chung, C. S., Shin, I. S., & Choi, K. J. (1990). Three-dimensional kinematics of the striking arm during volleyball spike. *Korean Journal of Sport Science*, 2, 124-51.
57. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
58. Cools, A. M., Johansson, F. R., Borms, D., & Maenhout, A. (2015). Prevention of shoulder injuries in overhead athletes: a science-based approach. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 19(5), 331-9.
59. Coppes, M. H., Marani, E., Thomeer, R. T., & Groen, G. J. (1997). Innervation of „painful“ lumbar discs. *Spine*, 22(30), 2342-50.
60. Cramer, H. (1999). *Mathematical Methods of Statistics*. Bombay: Asia Publishing House.
61. Crawford, J., R., Henry, J., D., Crombie, C., & Taylor, E., P. (2001). Normative data for the HADS from a large non-clinical sample. *British Journal of Clinical Psychology*, 40, 429-34.
62. Dalichau, S. (2001). *Der Einfluss sportmechanischer Belastungsprofile auf die thoracolumbale Wirbelsäulenform*. Butzbach: Afra Verlag.
63. De Groot, R., Malliaras, P., Muneanu, S., Payne, C., Morrissey, D., & Maffulli, N. (2012). Foot posture and patellar tendon pain among adult volleyball players. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 22(2), 157-9.
64. De Leva, P. (1996). Adjustments To Zatsiorsky-Seluyanov's Segment Inertia Parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-30.
65. Della-Giustina, D. (2013). Acute Low Back Pain: Recognizing the „Red Flags“ in the Workup. *Consultant*, 53(6), 436-40.
66. Dersh, J., Polatin, P. B., & Gatchel, R. J. (2002). Chronic Pain and Psychopathology: Research Findings and Theoretical Considerations. *Psychosomatic Medicine*, 64, 773-86.

67. Descarreaux, M., Blouin, J.-S., & Teasdale, N. (2004). Force production parameters in patients with low back pain and healthy control study participants. *Spine*, 29(3), 311–7.
68. Descarreaux, M., Blouin, J.-S., & Teasdale, N. (2005a). Isometric Force Production Parameters During Normal And Experimental Low Back Pain Conditions. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 6, 6.
69. Descarreaux, M., Blouin, J.-S., & Teasdale, N. (2005b). Repositioning Accuracy And Movement Parameters In Low Back Pain Subjects And Healthy Control Subjects. *European Spine Journal*, 14(2), 185-91.
70. D'Hemecourt, P. A., Zurakowski, D., D'Hemecourt, C. A., Curtis, C., Ugrinow, V., Deriu, L., & Micheli, L. J. (2012). Validation Of A New Instrument For Evaluating Low Back Pain In The Young Athlete. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(3), 244-8.
71. Dimitrov, D. M. (2012). *Statistical Methods for Validation of Assesment Scale Data in Couseling and Related Fields*. Wiley: Alexandria.
72. Dionne, C. E., Dunne, K. M., Croft, P. R. et al. (2008). A consensus approach toward the standardization of back pain definitions for use in prevalence studies. *Spine*, 33(1), 95-103.
73. DiStefano, L. J., Marshall, S. W., Padua, D. A., Peck, K. Y., Beutler, A. I., de la Motte, S. J., ... Cameron, K. L. (2016). The Effects of an Injury Prevention Program on Landing Biomechanics Over Time. *American Journal of Sports Medicine*, 44(3), 767-76.
74. Drake, R. L., Vogl, A. W., & Mitchell, A. W. M., (2015). *Gray's Anatomy for Students* (3., neu bearbeitete Aufl.). Philadelphia: Churchill Livingstone Elsevier.
75. Drerup, B. & Hierholzer, E. (1994). Back shape measurement using video rasterstereography and three-dimensional reconstruction of spinal shape. *Clinical Biomechanics*, 9, 28-36.
76. Drerup, B., Ellger, B., Meyer zu Bentrup, F., & Hierholzer, E., (2001). Rasterstereographische Funktionsaufnahmen – Eine neue Methode zur biomechanischen Analyse der Skelettgeometrie. *Orthopädie*, 30, 242-50.
77. Drew, M. K., Cook, J., & Finch, C. F. (2016). Sports-related workload and injury risk: simply knowing the risks will not prevent injuries. *British Journal of Sports Medicine*, Jan. 2016, epub, doi: 10.1136/bjsports-2015-095871.
78. Drew, M. K., & Finch, C. F. (2016). The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Medicine*, Jan. 2016, epub, zuletzt aufgerufen am 20.05.2016 unter <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40279-015-0459-8>.
79. Dübotzky, V., & Leistner, M. (1992). Volleyball. In: Ballreich, A. & Ballreich, R.: *Biomechanik der Sportarten, Teil II: Mannschaftsspiele* (Band 3). München, 72-119.
80. Dunlap, W. P., Xin, X., & Myers, L. (2004). Computing aspects of power for multiple regression. *Behavior Research Methods, Instruments & Computer*, 36, 695-701.
81. Eccleston, C., Malleson, P. N., Clinch, J., Connell, H., & Sourbut, C. (2003). Chronic pain in adolescents: evaluation of a programme of interdisciplinary cognitive behaviour therapy. *Archives of Disease in Childhood*, 88, 881-5.
82. Eggert, S., & Holzgraefe, M. (1993). Compression neuropathy of the suprascapular nerve in high performance volleyball players. *Sportverletzung Sportschaden*, 7(3), 136-42.
83. Eid, M., Gollwitzer, M., & Schmitt, M. (2013). *Statistik und Forschungsmethoden: Lehrbuch* (3. Auflage). Basel: Beltz.
84. Elders, L. A. M., & Burdorf, A. (2004). Prevalence, incidence, and recurrence of low back pain in scaffolders during a 3-year follow up study. *Spine*, 29(6), 101-6.
85. Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (2009). Shoulder Muscle Recruitment Patterns and Related Biomechanics during Upper Extremity Sports. *Sports Medicine*, 39(7), 569-90.
86. Essendrop, M., Maul, I., Läubli, T., Riihimäki, H., & Schibye, B. (2003). Measures Of Low Back Function: A Review Of Reproducibility Studies. *Physical Therapy in Sport*, 4(3), 137-51.
87. Faries, M. D., & Greenwood, M. (2007). Core training: stabilising the confusion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 10-25.

88. Fekih, O., Triki, H., Triki, S., Neffati, F., Chouchane, S., Guediche, M. N., & Najjar, M. F. (2016). Osteoprotegerin as a marker of cardiovascular risk in children and adolescents with type 1 diabetes. *Pediatric Diabetes*. Abgerufen von <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pedi.12379/pdf>.
89. Fett, D. (2015). *Quantitative Analyse der mechanischen Belastungen der Wirbelsäule des Rückens und des Rumpfes im Volleyball*. Bochum: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Sportmedizin und Sporternährung (unveröffentlicht).
90. Filipa, A., Byrnes, P. T. R., Paterno, P. T. M. V., Myer, P. T. G. D., & Hewett, M. S.T. E. (2010). Neuro-muscular Training Improves Performance on the Star Excursion Balance Test in Young Female Athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(9), 551-8.
91. Fisseni, H.-J. (2004). *Lehrbuch der psychologischen Diagnostik* (3. Auflage). Göttingen: Hogrefe.
92. Fong, D. T.-P., Hong, Y., Chan, L.-K., Yung, P. S.-H., & Chan, K.-M. (2007). A Systematic Review on Ankle Injury and Ankle Sprain in Sports. *Sports Medicine*, 37(1), 73-94.
93. Fongemie, A. E., Buss, D. D., & Rolnick, S. J. (1998). Management of shoulder impingement syndrome and rotator cuff tears. *American Family Physician*, 57(4), 667-82.
94. Freedman, D., Pisani, R., & Purves, R. (2007). *Statistics* (4.Ed.). New York: W. W. Norton & Company.
95. Frick, U., Schmidtbleicher, D., & Wörn, C. (1991). Vergleich biomechanischer Meßverfahren zur Bestimmung der Sprunghöhe bei Vertikalsprüngen. *Leistungssport*, 21(2), 48-53.
96. Fröhlich, M., & Pieter, A. (2009). Cohen ' s Effektstärken Als Mass Der Bewertung Von Praktischer Relevanz – Implikationen Für Die Praxis. *Schweizerische Zeitschrift Für Sportmedizin Und Sporttraumatologie*, 57(4), 139–142.
97. Fröhner, G., & Wagner, K. (2012). Entwicklung biologischer Bedingungen im Sportlichen Leistungsaufbau. *Sonderheft 2/2012 der Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*. Aachen: Meyer & Meyer.
98. Fry, R. W., Alamin, T. F., Voronov, L. I., Fielding, L. C., Ghanayem, A. J., Parikh, A., ... Patwardhan, A. G. (2014). Compressive Preload Reduces Segmental Flexion Instability After Progressive Destabilization Of The Lumbar Spine. *Spine*, 39(2), 74-81.
99. Galambos, S. A., Terry, P. C., Moyle, G. M., & Locke, S. A. (2005). Psychological predictors of injury among elite athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 351-4.
100. Gardner-Morse, M. G., & Stokes, I. A. (1998). The Effects Of Abdominal Muscle Coactivation On Lumbar Spine Stability. *Spine*, 23(1), 86-91.
101. Garg, K., Warikoo D., & Karn, S. (2014). Efficacy of Sensory Motor Training on Pain, Disability and Function in Patients with Chronic Non-Specific Low Back Pain – An Experimental Study. *European Academic Research*, 2(7), 9111-21.
102. Garrick, J. G., & Requa, R. K. (1973). Role of external support in the prevention of ankle sprains. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 5(3), 200-3.
103. Gatchel, R., Polatin, P. B., & Mayer, T. G. (1995). The Dominant Role of Psychosocial Risk Factors in the Development of Chronic Low Back Pain Disability. *Spine*, 20(24), 2702-9.
104. George, S. Z., Childs, J. D., Teyhen, D. S., Wu, S. S., Wright, A. C., Dugan, J. L., & Robinson, M. E. (2007). Rationale, Design, And Protocol For The Prevention Of Low Back Pain In The Military (POLM) Trial (NCT00373009). *BMC Musculoskeletal Disorders*, 11, 1-11.
105. Gerbershagen, H. U., Nagel, B., Korb, J., & Nilges, P. (2001). Das Mainzer Stadienmodell. Stellungnahme zu den Originalarbeiten in *Der Schmerz* (2000) 14,10-17 und *Der Schmerz* (2001) 15,179-85. *Der Schmerz*, 15(6), 512-4.
106. Gil, A., Moreno, M. P., Moreno, A., Garcia-Gonzalez, L., Claver, F., & Del Villar, F. (2013). Analysis of the relationship between the amount of training and cognitive expertise. A study of young volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 698-702.
107. Goh, S., Price, R. I., Leedman, P. J., & Singer, K. P., (1999). Rasterstereographic analysis of the thoracic sagittal curvature: a reliability study. *Journal of Musculoskeletal Research*, 3(2), 137-42.
108. Gollhofer, A., & Bruhn, S. (2003). The biomechanics of jumping. In Reeser, J. C. & Bahr, R. (Hrsg.), *Handbook of Sports Medicine and Science, Volleyball* (S.18-27). Massachusetts: Blackwell Science Ltd.

109. Gollhofer, A., Granacher, U., Tauber, W., Melnyk, M., & Gruber, M. (2006). Bewegungskontrolle und Verletzungsprophylaxe. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57(11), 266-70.
110. Gonzalez-Rave, J. M., Arija, A., & Clemente-Suarez, V. (2011). Seasonal Changes In Jump Performance And Body Composition In Women Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1492-501.
111. Gray, B. L., Buchowski, J. M., Bumpass, D. B., Lehman, R. A., Mall, N. A., & Matava, M. J. (2013). Disc Herniations In The National Football League. *Spine*, 38(38), 1934-8.
112. Greil, H. (2001). Körpermaße 2000: aktuelle Perzentilwerte der deutschen Bevölkerung im jungen Erwachsenenalter. *Brandenburgische Umwelt Berichte*, 10, 23-53.
113. Gribble, P. A., & Hertel, J., (2003). Considerations for normalizing measures of the Star Excursion Balance Test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 7(2), 89-100.
114. Gribble, P. A., Hertel, J., & Plisky, P., (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, 47(3), 339-57.
115. Haag, T.-B., Schneider, C., Mayer, H. M., Schneider, A., & Rumpf, M. (publication accepted, Aug 2015). Risk assessment in young soccer players. *Research in Medicine*, 2.
116. Haber, P. (2009). *Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung – Rehabilitation bis Leistungssport* (3. Auflage). Wien: Springer.
117. Hackenberg, L. (2003). *Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia Legendia für das Fach Orthopädie*. Münster.
118. Hagemann, N., Tietjens, M., & Strauß, B. (2007). *Psychologie der sportlichen Höchstleistung*. Göttingen: Hogrefe.
119. Hägglund, M., Walden, M., & Ekstrand, J. (2006). Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 767-72.
120. Haller, K. (2015). *Programmierte Anleitung zum Erstellen von Nomogrammen*. Zuletzt aufgerufen am 16.03.2016, unter [www.karl-haller.de/Arbeitshilfsmittel/Nomogramm-Anleitung-T1.pdf](http://www.karl-haller.de/Arbeitshilfsmittel/Nomogramm-Anleitung-T1.pdf).
121. Halski, T., Dymarek, R., Ptaszkowski, K., Slupska, L., Rajfur, K., Rajfur, J., ... Taradaj, J. (2015). Kinesiology Taping does not Modify Electromyographic Activity or Muscle Flexibility of Quadriceps Femoris Muscle: A Randomized, Placebo-Controlled Pilot Study in Healthy Volleyball Players. *Medical Science Monitor*, 21, 2232-9.
122. Hamill, J., & Knutzen, K. M. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement* (3rd Ed). Lippincott Williams & Wilkins: Baltimore.
123. Hammill, R. R., Beazell, J. R., & Hart, J. M. (2008). Neuromuscular consequences of low back pain and core dysfunction. *Clinics in Sports Medicine*, 27(3), 449-62.
124. Hanavan, E. P. (1964). *A mathematical model of the human body*. Dayton: Wright Patterson AFB.
125. Hangai, M., Kaneoka, K., Okubo, Y., Miyakawa, S., Hinotsu, S., Mukai, N., ... Ochiai, N. (2010). Relationship between low back pain and competitive sports activities during youth. *The American journal of sports medicine*, 38(4), 791-6.
126. Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the area under the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143, 29-36.
127. Harre, D. (1971). *Trainingslehre*. Berlin: Sportverlag.
128. Hayes, M. H. S., & Patterson, D. G. (1921). Experimental development of the graphic rating method. *Psychological Bulletin*, 18, 98-9.
129. Häyrinen, M., Mikkola, T., Honkanen, P., Lahtinen, P., Paananen, A., & Blomqvist, M. (2011). Biomechanical analysis of the jump serve in men's volleyball. *British Journal of Sports Medicine*, 45, 543.
130. Hegedus, E. J., McDonough, S. M., Bleakley, C., Baxter, D., & Cook, C.E. (2015). Clinician-friendly lower extremity physical performance tests in athletes: a systematic review of measurement properties

and correlation with injury. Part 2 – the tests for the hip, thigh, foot and ankle including the star excursion balance test. *British Journal of Sports Medicine*, 49, 649-56.

131. Heinzer, H., & Pummer, K. (2008). Nomogramme: Pro und Kontra. *Journal für Urologie und Urogynäkologie*, 15(3), 4-5.
132. Hell, H., & Schönle, C. (1985). Ursachen und Prophylaxe typischer Volleyballverletzungen. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 123(1), 72-5.
133. Helland, C., Bojysen-Moller, J., Raastad, T., Seynnes, O. R., Moltubakk, M. M., Jakobsen, V., ... Bahr, R. (2013). Mechanical properties of the patellar tendon in elite volleyball players with and without patellar tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 47(13), 862-8.
134. Henssge, C. (1988). Death time estimation in case work. The rectal temperature time of death nomogram. *Forensic Science International*, 38(3), 209-36.
135. Hestbaek, L., Leboeuf-Yde, C., & Manniche, C. (2003). Low back pain: what is the long-term course? A review of studies of general patient populations. *European Spine Journal*, 12(2), 149-65.
136. Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A., & Spears, I. (2008). Optimizing Performance by Improving Core Stability and Core Strength. *Sports Medicine*, 38(12), 995-1008.
137. Hilbe, J. M. (2015). *Practical Guide to Logistic Regression*. Boca Raton: Taylor & Francis.
138. Himmelreich, L. (2016). *Thorakolumbale Wirbelsäulenform der ersten und zweiten Bundesliga Volleyball der Damen und Herren*. München: Technische Universität München.
139. Hodges, P., van den Hoorn, W., Dawson, A., & Cholewicki, J. (2009). Changes in the mechanical properties of the trunk in low back pain may be associated with recurrence. *Journal of Biomechanics*, 42(1), 61-6.
140. Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (5. Aufl.). Wiesbaden: Limpert.
141. Hollmann, W., & Hettinger, T. (1976). *Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen*. Stuttgart: Schattauer.
142. Hollmann, W., & Tittel, K. (2008). *Geschichte der deutschen Sportmedizin*. Gera: Druckhaus Gera GmbH.
143. Horn, T., (2010). *Optische Wirbelsäulenvermessung – Informationen zur Auswertung*. DIERS Manual. Schlangenbad: DIERS International.
144. Hoy, D., Brooks, P., Blyth, F., & Buchbinder, R. (2010). The Epidemiology of low back pain. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 24, 769-81.
145. Hrysomallis, C. (2007). Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports medicine*, 37(6), 547–56.
146. Hrysomallis, C. (2011). Balance ability and athletic performance. *Sports medicine*, 41(3), 221–32.
147. Hsieh, F. Y. (1989). Sample size tables for logistic regression. *Statistics in medicine*, 8, 795-802.
148. Hughes, L. Y., & Stetts, D. M. (1983). A comparison of ankle taping and a semirigid support. *Physician Sports Medicine*, 11(4), 99-103.
149. Hübner, J., & Hübner, S. (2010). *Gebrauchsanweisung DIERS FAMUS*. 9.Auflage, 32-6.
150. Hüter-Becker, A., & Dölken, M. (2005). *Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre* (1. Auflage). Stuttgart: Thieme Verlag.
151. Hwang, J. A., Bae, S. H., Kim, G. D., & Kim, K. Y., (2013). The Effects of Sensorimotor Training on Anticipatory Postural Adjustment of the Trunk in Chronic Low Back Pain Patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 25, 1189-92.
152. Ito, M., Nakamura, T., Ikeda, S., Tahara, Y., Hashmi, R., Tsurusaki, K., Uetani, M., et al. (2001). Effects of lifetime volleyball exercise on bone mineral densities in lumbar spine, calcaneus and tibia for pre-, peri- and postmenopausal women. *Osteoporosis International*, 12, 104-11.
153. Iwoilow, A. W. (1984). *Volleyball – Biomechanik und Methodik*. Berlin: Sportverlag.



154. Janssen, I., Steele, J. R., Munro, B. J., & Brown, N. A. (2015). Previously identified patellar tendinopathy risk factors differ between elite and sub-elite volleyball players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(3), 308-14.
155. Jerry, B. (2000). Long-Term Exercise Adherence After Intensive Rehabilitation For Chronic Low Back Pain. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 1–9.
156. Kähler, W.-M. (2011). *Statistische Datenanalyse – Verfahren verstehen und mit SPSS gekonnt einsetzen* (7.Auflage). Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag.
157. Kamke, W. (2010). *Der Umgang mit experimentellen Daten, insbesondere Fehleranalyse im Physikalischen Anfänger-Praktikum*. Kirchzarten: Wolfgang Kamke.
158. Kaneoka, K. (2013). Low back disorders among athletes and its prevention. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 2(2), 185-90.
159. Kannel, W. B., Dawber, T. R., Kagan, A., Revotskie, N., & Stokes, J., (1961). Risk Factors in the Development of Coronary Heart Disease. Six Year Follow-up Experience – The Framingham Study. *Annals of Internal Medicine*, 54(5), 1032-5.
160. Kassat, G. (1993). *Biomechanik für Nicht-Biomechaniker: Alltägliche Biomechanik der Sportspraxis*. Rödinghausen: Fitness Contur.
161. Kattan, M. W., Eastham, J. A., Stapleton, A. M. F., Wheeler, T. M., & Scardino, P. T. (1998). A Pre-operative Nomogram for Disease Recurrence Following Radical Prostatectomy for Prostate Cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 90(10), 766-71.
162. Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*, 36(3), 189-98.
163. Kim, Y. (2001). *The curse of the missing data* [Online]. Zuletzt aufgerufen am 16.03.2016, unter <http://www.seconddmoment.org/articles/missingdata.php>.
164. Klasen, B. W., Hallner, D., Schaub, C., Willburger, R., & Hasenbring, M. (2004). Validität und Reliabilität der deutschen Version des "Chronic Pain Grade Questionnaire" bei Rückenschmerzpatienten aus der primärärztlichen Versorgung. *Psycho-Social-Medicine*, 1, 1–12.
165. Klein, P., & Sommerfeld, P., (2007). *Biomechanik der Wirbelsäule – Grundlagen, Erkenntnisse und Fragestellungen* (1. ed., pp. 1-165). München: Urban & Fischer Verlag.
166. Ko, F., Boland, M. V., Gupta, P., Gadkaree, S. K., Vitale, S., Guallar, E., ... Friedman, D. S., (2016). Diabetes, Triglyceride Levels, and Other Risk Factors for Glaucoma in the National Health and Nutrition Examination Survey 2005-2008. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 57(4), 2152-7.
167. Kolt, G. S., (2013). The risky side of sports participation. *Sports Medicine Australia*, 16(2), 87–8.
168. Kongsted, A., Vach, W., Axø, M., Bech, R. N., & Hestbaek, L. (2014). Expectation Of Recovery From Low Back Pain. *Spine*, 39(1), 81–90.
169. Kotler, D. H., Babu, A. N., & Robidoux, G. (2016). Prevention, Evaluation, and Rehabilitation of Cycling-Related Injury. *Current Sports Medicine Reports*, 15(3), 199-206.
170. Krämer, J., Wilcke, A., & Krämer, R., (2005). *Wirbelsäule und Sport – Empfehlungen von Sportarten aus orthopädischer und sportwissenschaftlicher Sicht*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
171. Kugler, A, Krüger-Franke, M., Reiningger, S., Trouillier, H. H., & Rosemeyer, B. (1996). Muscular imbalance and shoulder pain in volleyball attackers. *British journal of sports medicine*, 30(3), 256–9.
172. Kuhlmann, C. H., (2010). *Identifizierung leistungsrelevanter Parameter für die biomechanische Leistungsdiagnostik am Beispiel des Angriffsschlages im Volleyball*. Technische Universität Chemnitz.
173. Kulig, K., Landel, R., Chang, Y.-J., Hannanvash, N., Reischl, S. F., Song, P., & Bashford, G. R. (2013). Patellar tendon morphology in volleyball athletes with and without patellar tendinopathy. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(2), 81–8.
174. Künkler, A. (2009). *Erfassung Leistungsbestimmender Merkmale Des Sportspiels Beachvolleyball*. Essen: Universität Duisburg.

175. Lames, M., & Hohmann, A. (1997). Zur Leistungsrelevanz von Spielhandlungen im Volleyball. In B. Hoffmann & P. Koch (Hrsg.), *Integrative Aspekte in Theorie und Praxis der Rückschlagspiele* (S. 121-128). Hamburg: Czwalina.
176. Lames, M. (1996). Die komplexe sportliche Leistung - Ein nicht-lineares dynamisches System? In J.-P. Janssen, K. Carl, W. Schlicht & A. Wilhelm (Hrsg.), *Synergetik und Systeme im Sport* (S. 179-189). Schorndorf: Hofmann.
177. Langlotz, A. (2005). *Prävalenz Von Beschwerden Der Wirbelsäule Und Der Hüfte Bei Adoleszenten - Ergebnisse Einer Querschnittsuntersuchung*. Retrieved von [http:// www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-7521](http://www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-7521).
178. Lanz, T., Wachsmuth, W., & Lang, J. (1982). *Praktische Anatomie – Rücken*. Heidelberg: Springer.
179. Lasko, T. A., Bhagwat, J. G., Zou, K. H., & Ohne-Machado, L. (2005). The use of receiver operating characteristic curves in biomedical informatics. *Journal of Biomedical Informatics*, 38(5), 404-15.
180. Le Clair, K., & Riach, C. (1996). Postural stability measures: What to measure and for how long. *Clinical Biomechanics*, 11, 176-8.
181. Leonhart, R. (2009). *Lehrbuch Statistik. Einstieg und Vertiefung* (2. Auflage). Bern: Verlag Hans Huber.
182. Lian, Ø., Engebretsen, L., Ovrebo, R. V., & Bahr, R. (1996). Characteristics of leg extensors in male volleyball players with jumper's knee. *American Journal of Sports Medicine*, 24, 380-5.
183. Lian, Ø., Refsnes, P., & Engebretsen, L. (2003). Performance Characteristics of Volleyball Players with Patellar Tendinopathy. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(3), 408-13.
184. Liang, H., Hou, W., & Chang, K. (2013). Application Of The Modified Lower Extremity Functional Scale In Low Back Pain. *Spine*, 38(23), 2043-8.
185. Lidor, R., & Ziv, G. (2010). Physical And Physiological Attributes Of Female Volleyball Players - A Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1963-73.
186. Limaye, S., & Anap, D. (2012). Abdominal Muscle Activation In Low Back Pain Patients: A Surface EMG Study. *Indian Journal of Basic & Applied Medical Research*, 3, 221-5.
187. Linton, S., J. & Halldén, K. (1998). Can we screen for problematic back pain? A screening questionnaire for predicting outcome in acute and subacute back pain. *Clinical Journal of Pain*, 14(3), 209-15.
188. Loftus, G. R., & Loftus, E. F. (1988). *Essence of Statistics (2nd Edition)*. New York: McGraw Hill.
189. Loose, J. (2004). *Methoden der empirischen Sozialforschung III – Regressionsmodelle*. Kursunterlagen.
190. Loram, I. D., Maganaris, C. N., & Lakie, M. (2004). Paradoxical muscle movement in human standing. *Journal of Physiology*, 556(3), 683-9.
191. Ludwig, O. (2012). *Ganganalyse in der Praxis* (1. Auflage). Geislingen/Steige: C. Maurer.
192. Malliaras, P., Cook, J. L., & Kent, P. (2006). Reduced ankle dorsiflexion range may increase the risk of patellar tendon injury among volleyball players. *Sports Medicine Australia*, 9(4), 304–9.
193. Marques, M. C., Van den Tillaar, R., Gabbet, T. J., Reis, V. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2009). Physical Fitness Qualities Of Professional Volleyball Players: Determination Of Positional Differences. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1106-11.
194. Maxwell, T. A., (1981). A cinematographic analysis of the volleyball spike of selected top-caliber female athletes. *Volleyball Technical Journal*, 7(1), 43-54.
195. McCracken, L., & Turk, D. C. (2002). Behavioral and Cognitive-Behavioral Treatment for Chronic Pain: Outcome, Predictors of Outcome, and Treatment Process. *Spine*, 27(22), 2564-73.
196. McGall, A., Dupont, G., & Ekstrand, J. (2016). Injury prevention strategies, coach compliance and player adherence of 33 of the UEFA Elite Club Injury Study teams: a survey of teams' head medical officers. *British Journal of Sports Medicine*, Jan. 2016, epub, doi: 10.1136/bjsports-2015-095259.
197. Mehdizadeh, R., Rajabi, & M., Abbasi, S. (2013). Prevalence of low back pain among elite athletes. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 4(2), 329-31.

198. Melzack, R., Wall, P. D. (1965). Pain mechanisms: a new theory. *Science*, 19(150), 971-9.
199. Menke, J. M. (2014). Do manual therapies help low back pain? A comparative effectiveness meta-analysis. *Spine*, 1-32.
200. Merskey, H. (Ed.), Bond, M. R., Bonica, J. J., Boyd, D. B., Carmon, A., Deathe, A. B., ... Sunderland, S. (1994). *Classification of Chronic Pain* (2nd Ed.). Seattle: IASP Press.
201. Meyerding, H. W. (1932). Spondylolisthesis. *Surgery, Gynecology & Obstetrics*, 54, 371-7.
202. Meyndt, P., Peters, H., & Schulz, A. (2010). *Der Volleyballtrainer*. Unterschleißheim: Vsd Volleyball Service.
203. Miltner, O., Tschaepe, R., Weihe, W., Heinzinger, A., & Kieffer, O. (2008). Rumpfmuskelkraft bei Profivolleyballspielern. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 24(4), 243-8.
204. Miltner, O., Weihe, W., Heinzinger, A., & Kieffer, O. (2012). Verletzungen Bei Männlichen Profivolleyballspielern – 4 – Jahres-Ergebnisse. *Sport Orthopädie, Sport Traumatologie*, 28, 163-9.
205. Modi, H., Srinivasalu, S., Smehta, S., Yang, J.-H., Song, H.-R., & Suh, S. W. (2008). Muscle imbalance in volleyball players initiates scoliosis in immature spines: a screening analysis. *Asian Spine Journal*, 2(1), 38-43.
206. Monajati, A., Larumbe, Zabala, E., Goss-Sampson, M., & Naclerio, F. (2016). The Effectiveness of Injury Prevention Programs to Modify Risk Factors for Non-Contact Anterior Cruciate Ligament and Hamstring Injuries in Uninjured Team Sports Athletes: A Systematic Review. *Public Library of Science One*, 11(5), epub, doi: 10.1371/journal/pone.0155272.
207. Mortazavi, J., Zebardast, J., & Mirzashahi, B. (2015). *Asian Journal of Sports Medicine*, 6(2), 1-8. Abgerufen von <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4592766/pdf/asjasm-06-24718.pdf>.
208. Müller-Wohlfahrt, H.-W., Uebelacker, P., & Hänsel, L. (2014). *Muskelverletzungen im Sport*. Stuttgart: Thieme.
209. Myer, G. D., Brent, J. L., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2008). A pilot study to determine the effect of trunk and hip focused neuromuscular training on hip and knee isokinetic strength. *British Journal of Sports Medicine*, 42(7), 614-9.
210. Moellering Jr., R. C., Krogstad, D. J., & Greenblatt, D. J. (1981). Vancomycin Therapy in Patients with Impaired Renal Function: A Nomogram for Dosage. *Annals of Internal Medicine*, 94(3), 343-6.
211. Nadler, S. F., Wu, K. D., Galski, T., & Feinberg, J. H. (1998). Low back pain in college athletes. A prospective study correlating lower extremity overuse or aquired ligamentous laxity with low back pain. *Spine*, 23, 828-33.
212. Nadler, S. F., Malanga, G., Deprince, M., Stitik, T. P., & Feinberg, J. (2000). The Relationship Between Lower Extremity Injury, Low Back Pain, and Hip Muscle Strength in Male and Female Collegiate Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(2), 89-97.
213. Nelson-wong, E., & Callaghan, J. P. (2010). Is Muscle Co-Activation a Predisposing Factor for Low Back Pain Development During Standing? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(2), 256–63.
214. Neuhauser, H., Ellert, U., & Ziese, T. (2005). Chronische Rückenschmerzen in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland 2002/2003: Prävalenz und besonders betroffene Bevölkerungsgruppen. *Gesundheitswesen*, 67(10), 685-93.
215. Newman, P. H., & Stone, K. H. (1963). The etiology of spondylolisthesis. *The Bone & Joint Journal*, 1, 39-59.
216. Nicholas, M. K., Wilson, P. H., & Goyen, J. (1992). Comparison of cognitive-behavioral group treatment and an alternative non-psychological treatment for chronic low back pain. *Pain*, 48(3), 339-47.
217. Norris, C.M. (1999). Functional load abdominal training:part 1. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 3(3),150-8.
218. Notarnicola, A., Fischetti, F., Gallone, D., Moretti, L., Pignataro, P., Tafuri, S., & Moretti, B. (2012). Overload and neovascularization of shoulder tendons in volleyball players. *BMC research notes*, 5(1), 397.

219. Ostelo, R. W. J. G., Deyo, R. A., Stratford, P., Waddell, G., Croft, P., Von Korff, M., Bouter, L. M., & de Vet, H. C. (2008). Interpreting Change Scores for Pain and Functional Status in Low Back Pain. *Spine*, 33(1), 90-4.
220. Owen, A. L., Wong, P., Dellal, A., Paul, D. J., Orhant, E., & Collie, S. (2013). Effect of an injury prevention program on muscle injuries in elite professional soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12), 3275-85.
221. Paajanen, H., Ristolainen, L., Turunen, H., & Kujala, U. M. (2011). Prevalence and etiological factors of sport-related groin injuries in top-level soccer compared to non-contact sports. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 131(2), 261-6.
222. Padua, D. A., DiStefano, L. J., Beutler, A. I., de la Motte, S. J., DiStefano, M. J., & Marshall, S. W. (2015). The Landing Error Scoring System as a Screening Tool for Anterior Cruciate Ligament Injury - Prevention Program in Elite-Youth Soccer Athletes. *Journal of Athletic Training*, 50(6), 589-95.
223. Panjabi, M. M. (1992). The stabilizing system of the spine. *Journal of Spinal Disorders*, 5(4), 383-96.
224. Papageorgiou, A., & Spitzley, W. (2006). *Handbuch für Leistungsvolleyball* (4. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer.
225. Papageorgiou, A., & Timmer, M. (1990). Sprung- und Laufhandlungen im Volleyball. In: Dannemann, F. (Red.): *Volleyball analysieren* (S.190-214). Ahrensburg: Czwalina.
226. Parkkari, J., Kujala, U. M., & Kannus, P. (2001). Is It possible to prevent sport injuries? Review of controlled clinical trials and recommendations for future work. *Sports Medicine*, 31(14), 985-95.
227. Parreira, R. B., Boer, M. C., Rabello, L., Costa Vde, S., de Oliveira, E. Jr., & da Silva, R. A. Jr. (2013). Age-related differences in center of pressure measures during one-leg stance are time dependent. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(3), 312-6.
228. Parsons, J. L., & Alexander, M. J. L. (2012). Modifying Spike Jump Landing Biomechanics In Female Adolescent Volleyball Athletes Using Video And Verbal Feedback. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 1076-84.
229. Pastor, M. F., Ezechieli, M., Classen, L., Kieffer, O., & Miltner, O. (2015). *Technology and Health Care*, 23(5), 627-43.
230. Penning, L. (1978). Normal Movements of the Cervical Spine. *American Journal of Roentgenology*, 130(2), 317-26.
231. Petering, R. C., & Webb, C. (2011). Treatment Options for Low Back Pain in Athletes. *Sports Health*, 3(6), 550-5.
232. Petersen, W., Braun, C., Bock, W., Schmidt, K., Weimann, A., Drescher, W., ... Zantop, T. (2005). A controlled prospective case control study of prevention training program in female team handball players: the German experience. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 125, 614-21.
233. Pflingsten, M., Baller, M., Stubre, J., Hildebrandt, J., & Schöps, P. (2003). Gütekriterien der qualitativen Bewertung von Schmerzzeichnungen (Ransford-Methode) bei Patienten mit Rückenschmerzen. *Schmerz*, 17, 332-40.
234. Pflingsten, M., Nagel, B., Emrich, O., Seemann, H., & Lindena, G. (2007). Deutscher Schmerz-Fragebogen. *Handbuch der Deutschen Gesellschaft zum Studium des Schmerzes E. V.* (pp. 1–43).
235. Pfusterschmied, J., Lindinger, S., Buchecker, M., Stöggel, T., Wagner, H., & Müller, E. (2013). Effect of instability training equipment on lower limb kinematics and muscle activity. *Sportverletzung Sportschaden*, 27(1), 28–33.
236. Plisky, P. J., Rauh, M. J., Kaminski, T. W., et al. (2006). Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 36, 911-19.
237. Potvin, J. R. (2008). Occupational spine biomechanics: A Journey to the Spinal Frontier. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 891-9.
238. Raspe, H. (2012). *Rückenschmerzen – Gesundheitsberichterstattung des Bundes*. Robert-Koch Institut. Berlin.

239. Raysmith, B. P., & Drew, M. K. (2016). Performance success or failure is influenced by weeks lost to injury and illness in elite Australian track and field athletes: A 5-year prospective study. *Journal of Science and Medicine in Sports*. doi: 10.1016/j.jsams.2015.12.515. Abgerufen über [www.jsams.org/article/S1440-2440\(15\)00764-1](http://www.jsams.org/article/S1440-2440(15)00764-1).
240. Reeser, J. C., Verhagen, E., Briner, W. W., Askeland, T. I., & Bahr, R. (2006). Strategies for the prevention of volleyball related injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 40(7), 594–600.
241. Reeser, J. C., Fleisig, G. S., Bolt, B., & Ruan, M. (2010). Upper limb biomechanics during the volleyball serve and spike. *Sports Health*, 2(5), 368–74.
242. Reeves, P. N., Narendra, K. S., & Cholewicki, J. (2007). Spine stability: The six blind men and the elephant. *Clinical Biomechanics*, 22(3), 266-74.
243. Ristolainen, L., Heinonen, A., Turunen, H., Mannström, H., Waller, B., Kettunen, J. A., & Kujala, U. M. (2010). Type of sport is related to injury profile: A study on cross country skiers, swimmers, long-distance runners and soccer players. A retrospective 12-month study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 384-93.
244. Rost, J. (2004). *Testtheorie – Testkonstruktion*. Bern: Hans-Huber.
245. Russell, R. (1997). Back pain, pregnancy, and childbirth. *British Medical Journal*, 314, 1062-3.
246. Saefken, B., Kneib, T., van Waveren, C. S., & Greven, S. (2014). A unifying approach to the estimation of the conditional Akaike information in generalized linear mixed models. *Electronic Journal of Statistics*, 8, 201-25.
247. Sakai, T., Goda, Y., Tezuka, F., Abe, M., Yamashita, K., ... , & Sairyo, K. (2016). Clinical features of patients with pars defects identified in adulthood. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*, 26(3), 259-62.
248. Salaj, S. S., Milanovic, D., & Jukic, I. (2007). The Effects of Proprioceptive Training on Jumping and Agility Performance. *Kinesiology*, 39(2), 131-41.
249. Salimi, A. A. (2008). *Längsschnittliche und Multivariate Analyse im Spitzenvolleyball*. Inaugural-Dissertation der Philosophisch-Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität Augsburg.
250. Sarabon, N., Palma, P., Vengust, R., & Strojnik, V. (2011). Effects of Trunk Functional Stability Training in Subjects Suffering from Chronic Low Back Pain: A Pilot Study. *Kinesiological Slovenica*, 17(2), 25-37.
251. Sattler, T., Hadzic, V., Dervisevic, E., & Markovic, G. (2015). Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and competition level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1486-93.
252. Sattler, T., Sekulic, D., Hadzic, V., Uljevic, O., & Dervisevic, E. (2012). Vertical Jumping Tests In Volleyball: Reliability, Validity, And Playing-Position Specifics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1532-8.
253. Schafle, M. D., Requa, R. K., Patton, W. L., & Garrick, J. G. (1992). Injuries in the 1987 National Amateur Volleyball Tournament. *American Journal of Sports Medicine*, 18(6), 624-31.
254. Scheipers, U., Perrey, C., Siebers, S., Hansen, C., & Ermert, H (2005). A tutorial on the use of ROC analysis for computer-aided diagnostic systems. *Ultrasound Imaging*, 27(3), 181-98.
255. Schiøtz-Christensen, B., Nilesen, G. L., Kjaer Hansen, V., & Schoedt, T. (1999). Long term prognosis of acute low back pain in patients seen in general practice: a 1-year prospective follow-up study. *Family Practice*, 16, 223-32.
256. Schröder, J., Reer, R., & Braumann, K. M., (2015). Video raster stereography back shape reconstruction: a reliability study for sagittal, frontal, and transversal plane parameters. *European Spine Journal*, 24, 262-9.
257. Schröder, J., Stiller, T., & Mattes, K. (2011). Referenzdaten in der Wirbelsäulenformanalyse. *Manuelle Medizin*, 49, 161-6.
258. Schröder, J., Strübing, K., & Mattes, K. (2010). Rückenbeschwerden und Wirbelsäulenform. *Manuelle Medizin*, 48, 454-9.

259. Schubert, P., Kirchner, M., Schmidtbleicher, D., & Haa, C. T. (2012). About the structure of posturography: Sampling duration, parametrization, focus of attention (part I). *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 5, 496-507.
260. Schulz, K. F., Altman, D. G., & Moher, D. (2010). CONSORT 2010 Statement: Updated Guidelines for Reporting Parallel Group Randomized Trials. *Annals of Internal Medicine*, 152(1), 1-7.
261. Schulz, S. S., Lenz, K., & Büttner-Janz, K. (2015). Severe back pain in elite athletes: a cross-sectional study on 929 top athletes of Germany. *European Spine Journal*, Sept. 2015, epub, doi: 10.1007/s00586-015-4210-9.
262. Schülein, S. (2010). *Evaluierung der Inter- und Intratester-Reliabilität der Rasterstereographie formetric III 4D hinsichtlich Rumpflänge, Rumpfeigung, Lotabweichung, Kyphose- und Lordosewinkel bei postoperativen idiopathischen adoleszenten Skoliosepatienten*. Abschlussarbeit zur Erlangung des Grades eines Master of Science in Physiotherapy. Fulda.
263. Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., & Wesker, K. (2002). *Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem (2. Aufl.)*. Stuttgart: Thieme.
264. Schwender, U. (2008). Der Militäarchirurg Joseph Clément Tissot – ein früher Verfechter der Krankengymnastik und Bewegungstherapie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59(2), 43-5.
265. Sekulic, D., Spasic, M., Mirkov, D., Cavar, M., & Sattler, T. (2013). Gender-Specific Influences Of Balance, Speed, And Power On Agility Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 802-11.
266. Sharma, A., Lancaster, S., Bagade, S., & Hildebolt, C. (2014). Early Pattern of Degenerative Changes in Individual Components of Intervertebral Discs in Stressed and Nonstressed Segments of Lumbar Spine: An In Vivo Magnetic Resonance Imaging Study. *Spine*, 39(13), 1084-90.
267. Sheeran, L., van Deursen, R., Caterson, B., & Sparkes, V. (2013). Classification-guided versus generalized postural intervention in subgroups of nonspecific chronic low back pain: a pragmatic randomized controlled study. *Spine*, 38(19), 1613-25.
268. Sheppard, J. M., & Newton, R. U. (2012). Long-Term Training Adaptations In Elite Male Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2180-4.
269. Sheppard, J. M., Chapman, D. W., Gough, C., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2009a). Twelve-Month Training-Induced Changes In Elite International Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 2096-101.
270. Sheppard, J. M., Cronin, J. B., Gabbett, T. J., McGuigan, M. R., Etxebarria, N., & Newton, R. U. (2008). Relative Importance Of Strength, Power, And Anthropometric Measures To Jump Performance Of Elite Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 758-65.
271. Sheppard, J. M., Gabbett, T. J., & Stanganelli, L.-C. R. (2009b). An Analysis of Playing Positions in Elite Men's Volleyball: Considerations for Competition Demands and Physiologic Characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1858-66.
272. Shirado, O., Doi, T., Akai, M., Hoshino, Y., Fujino, K., Hayashi, K., ... Iwaya, T. (2010). Multicenter Randomized Controlled Trial To Evaluate The Effect Of Home-Based Exercise On Patients With Chronic Low Back Pain. *Spine*, 35(17), 811-9.
273. Siemonsma, P. C., Stuive, I., Roorda, L. D., Vollebregt, J. A., Walker, M. F., Lankhorst, G. J., & Lettinga, A. T. (2013). *Physical Therapy*, 93, 435-48.
274. Silvers-Granelli, H., Mandelbaum, B., Adeniji, O., Insler, S., Bizzini, M., Pohlig, R., ... Dvorak, J. (2015). Efficacy of the FIFA 11+ Injury Prevention Program in the Collegiate Male Soccer Player. *American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2628-37.
275. Sjolie, A. N. (2004). Associations between activities and low back pain in adolescents. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(6), 352-9.
276. Smith, D. J., Roberts, D., & Watson, B. (1992). Physical, physiological and performance differences between canadian national team and universiade volleyball players. *Journal of Sports Sciences*, 10(2), 131-8.

277. Staerke, R., Mannion, A. F., Elfering, A., Junge, A., Semmer, N. K., Jacobshagen, N., Grob, D., Dvorak, J., & Boos, N. (2004). Longitudinal validation of the fear-avoidance beliefs questionnaire (FABQ) in a Swiss-German sample of low back pain patients. *European Spine Journal*, 13, 332-40.
278. Standaert, C. J., & Herring, S. A. (2000). Spondylolysis: a critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 34(6), 415-22.
279. Stanton, T. R., Latimer, J., Maher, C. G., & Hancock, M. (2009). Definitions of Recurrence of an Episode of Low Back Pain A Systematic Review. *Spine*, 34(9), 316-22.
280. Stephenson, A. J., Scardino, P. T., Eastham, J. A., Bianco Jr., F. J., Dotan, Z., et al. (2005). Postoperative Nomogram Predicting the 10-Year Probability of Prostate Cancer Recurrence After Radical Prostatectomy. *Journal of Clinical Oncology*, 23(28), 7005-12.
281. Stinson, J. T., (1993). Spondylosis and spondylolisthesis in the athlete. *Clinical Sports Medicine*, 12, 517-28.
282. Strobel, J., Spengler, C., Stefanski, M., Friemert, B., Forschungsgruppe, U., & Ulm, B. (2011). Einfluss von Konstitution und Belastung auf die posturale Stabilität Influence of Bodily Constitution and Physical Activity on Postural Stability. *Sportverletzung Sportschaden*, 25, 159–66.
283. Takeda, N., Kobayashi, T., Atsuta, Y., Matsuno, T., Shirado, O., & Minami, A. (2009). Changes in the sagittal spinal alignment of the elderly without vertebral fractures: a minimum 10-year longitudinal study. *Journal of Orthopaedic Science*, 14(6), 748-53.
284. Tall, R. L., & De Vault, W., (1993). Spinal injury in sport: epidemiologic considerations. *Clinics in Sports Medicine*, 12(3), 441-8.
285. Tesarz, J., Schuster, A. K., Hartmann, M., Gerhardt, A., & Eich, W. (2012). Pain perception in athletes compared to normally active controls. A systematic review with meta-analysis. *Pain*, 153(6), 1253-62.
286. Thacker, S. B., Stroup, D. F., Branche, C. M., Gilchrist, J., Goodman, R. A., & Kelling, E. P. (2003). Prevention of knee injuries in sports – A systematic review of literature. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 165-79.
287. Thode, H.C. (2002). *Testing for Normality*. New York: Marcel Dekker.
288. Tiggelen, D. V., Wickes, S., Stevens, V., Roosen, P., & Witvrouw, E. (2008). Effective prevention of sports injuries: a model integrating efficacy, efficiency, compliance and risk-taking behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 648-52.
289. Tittel, K. (2003). *Beschreibende und Funktionelle Anatomie des Menschen* (14. Aufl.). München: Urban & Fischer.
290. Tsao, H., & Hodges, P. W. (2008). Persistence of improvements in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 559-67.
291. Tsao, H., Galea, M. P., & Hodges, P. W. (2010). Driving plasticity in the motor cortex in recurrent low back pain [Elektronische Version]. *European Journal of Pain*. Philadelphia: Elsevier.
292. Uden, A., Astrom, M., & Bergenudd, H. (1988). Pain drawings in chronic back pain. *Spine*, 13(4), 389-92.
293. Un, C.-P., Lin, K.-H., Shiang, T.-Y., Chang, E.-C., Su, S.-C., & Wang, H.-K. (2013). Comparative and reliability studies of neuromechanical leg muscle performances of volleyball athletes in different divisions. *European journal of applied physiology*, 113(2), 457–66.
294. Urban, D. (1993). *Logit-Analyse: statistische Verfahren zur Analyse von Modellen mit qualitativen Response-Variablen*. Stuttgart: G. Fischer.
295. Van der Kooij, H., Campbell, A. D., & Carpenter, M. G. (2011). Sampling duration effects on centre of pressure descriptive measures. *Gait & Posture*, 34, 19-24.
296. Van Mechelen, W., Hlobil, H., & Kemper, H. C. G. (1992). Incidence, Severity, Aetiology and Prevention of Sports Injuries – A Review of Concepts. *Sports Medicine*, 14(2), 82-99.

297. Van Zee, K. J., Manasseh, D.-M. E., Bevilacqua, J. L. B., Boolbol, S. K., Fey, et al. (2003). A Nomogram for Predicting the Likelihood of Additional Nodal Metastases in Breast Cancer Patients With a Positive Sentinel Node Biopsy. *Surgical Oncology*, 10(10), 1140-51.
298. Verhagen, E. a L. M., Van der Beek, a J., Bouter, L. M., Bahr, R. M., & Van Mechelen, W. (2004). A one season prospective cohort study of volleyball injuries. *British journal of sports medicine*, 38(4), 477-81.
299. Verhagen, E., Bobbert, M., Inklaar, M., van Kalkven, M., Van der Beek, A., Bouter, L., & van Mechelen, W. (2005). The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance. *Clinical Biomechanics*, 20, 1094-100.
300. Vieira, T. M., Oliveira, L. F., & Nadal, J. (2009). Estimation procedures affect the center of pressure frequency analysis. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 42(7), 665-73.
301. Visnes, H., & Bahr, R. (2012). Training volume and body composition as risk factors for developing jumper' s knee among young elite volleyball players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(3), 1-7.
302. Von Korff, M., Ormel, J., Keefe, F. J., & Dworkin, S. F. (1992). Clinical Section - Grading the severity of chronic pain. *Pain*, 50, 133-49.
303. Waddell, G., Newton, M., Henderson, I., Somerville, D., & Main, C. J. (1993). A Fear-Avoidance Beliefs Questionnaire (FABQ) and the role of fear-avoidance beliefs in chronic low back pain and disability. *Pain*, 52(2), 157-68.
304. Walker, B. F. (2000). The prevalence of low back pain: a systematic review of the literature from 1966 to 1998. *Journal of Spinal Disorders*, 13(3), 205-17.
305. Wand, B. M., O'Connell, N. E., Di Pietro, F., & Bulsara, M., (2011). Managing Chronic Nonspecific Low Back Pain With a Sensorimotor Retraining Approach: Exploratory Multiple-Baseline Study of 3 Participants. *Physical Therapy*, 91(4), 535-46.
306. Wang, H. K., & Cochrane, T. (2001). A descriptive epidemiological study of shoulder injury in top level English male volleyball players. *International journal of sports medicine*, 22(2), 159-63.
307. Waters, R. L., Adkins, R. H., Yakura, J. S., & Sie, I. (1993). Motor and sensory recovery following complete tetraplegia. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 74(3), 242-7.
308. Watts, P. B., Joubert, L. M., Lish, A. K., Mast, J. D., & Wilkins, B. (2003). Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 420-4.
309. Weiber, R., & Mühlhaus, D. (2014). *Strukturgleichungsmodellierung – Eine anwendungsorientierte Einführung in die Kausalanalyse mit Hilfe von AMOS, SmartPLS und SPSS*. 2. Auflage, 175-85.
310. Weigel, N. (2011). Datenqualitätsmanagement – Steigerung der Datenqualität mit Methode. In Hildebrand, K., Gebauer, M., Hinrichs, H. & Mielke, M. (Hrsg.), *Daten- und Informationsqualität*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
311. Wein, E. (2002). Datenqualität und Datenprüfungen [Elektronische Version]. *Wirtschaft und Statistik*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
312. Weineck, J. (2009). *Optimales Training* (16. Aufl.). Balingen: Spitta.
313. Weiß, M. (2013). Wirbelsäulen-MRT bei Kunstturnern – Kreuzschmerzen lumbaler Bandscheiben-Degeneration. *Sportverletzung Sportschaden*, 27(2), 59.
314. Weiss, K., & Whatman, C. (2015). Biomechanics Associated with Patellofemoral Pain and ACL Injuries in Sports. *Sports Medicine*, 45(9), 1325-37.
315. Whittemore, A. S. (1981). Sample size for logistic regression with small response probabilities. *Journal of the American Statistical Association*, 76, 27-32.
316. Wilke, J. (2013). Qualität grundlegender Bewegungsmuster bei Patienten mit chronischen lumbalen Rückenschmerzen Eine quasi-experimentelle Querschnittsstudie. *Sportverl Sportschaden*, 27, 219–25.
317. Willigenburg, N. W., Kingma, I., Hoozemans, M. J. M., & van Dieën, J. H. (2013). Precision control of trunk movement in low back pain patients. *Human Movement Science*, 32(1), 229-39.



318. Winter, D. A., Patla, A. E., & Frank, J. S. (1990). Assessment of balance control in humans. *Medical Progress through Technology*, 16, 31-51.
319. Wurmthaler, C., Gerbershagen, H. U., Dietz, G., Korb, J., Nilges, P., & Schillig, S. (1996). Chronifizierung und psychologische Merkmale – Die Beziehung zwischen Chronifizierungsstadien bei Schmerz und psychophysischem Befinden, Behinderung und familiären Merkmalen. *Zeitschrift für Gesundheitspsychologie IV*, 113-36.
320. Yang, D. (2013). *Build Prognostic Nomograms for Risk Assessment Using SAS®*. SAS Global Forum 2013, Poster and Video Presentation. Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, OH.
321. Zaccagni, L., Onisto, N., & Gualdi-Russo, E. (2009). Biological characteristics and ageing in former elite volleyball players. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 12(6), 667–72.
322. Zak, J. (1997). Besteht ein Zusammenhang zwischen Sportverletzungen an der Schulter und funktionellen Störungen der Wirbelsäule? *Manuelle Medizin*, 35, 149-51.
323. Zatsiorsky, V., & Seluyanov, V. (1983). The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body. In: *Biomechanics VIII-B*. Eds: Matsui, H & Kobayashi, K., Champaign, IL: *Human Kinetics*, 1152-9.
324. Zatsiorsky, V. (2002). *Kinetics of Human Motion*. Illinois: Human Kinetics Publishers.
325. Zawieja, M. (2008). *Leistungsreserve Hanteltraining: Handbuch des Gewichthebens für alle Sportarten*. Philippka Sportverlag: Münster.
326. Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(7), 1123–30.
327. Zigmond, A. S., & Snaith, R. P. (1983). The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 67(6), 361-70.
328. Zong-Rong, C., Yu-Han, W., Hsien-Te, P., Ching-Fang, Y., & Min-Hsien, W. (2013). The Acute Effect of Drop Jump Protocols With Different Volumes and Recovery Time on Countermovement Jump Performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 154-8.
329. Zwirner, M. (2011). Datenbereinigung zielgerichtet eingesetzt zur permanenten Datenqualitätssteigerung. In Hildebrand, K., Gebauer, M., Hinrichs, H. & Mielke, M. (Hrsg.), *Daten- und Informationsqualität*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

## Danksagung

Mein erster Dank gilt all jenen, welche mich bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützten, indem Sie mich in meinem beruflichen Alltag entlasteten. Allen voran wäre dort Dr. Christian Schneider zu nennen, der mich durch sein Vertrauen in meine Tätigkeiten sowie durch zahlreiche Ratschläge über die gesamte Zeit unterstützte.

Ebenfalls möchte ich Martin Handel und Christina Beckmann meinen Dank aussprechen, die gerade in der Endphase eine sehr große Arbeitslast auf sich nahmen, um mir die Zeit zur Fertigstellung zu ermöglichen und mich zudem gewissenhaft an die regelmäßige Nahrungsaufnahme erinnerten.

Ich möchte einen großen Dank an meinen Doktorvater Prof. Martin Lames richten, der mich seit der Ankunft des Lehrstuhls für Trainingswissenschaft und Sportinformatik an der TU München in seinen Mitarbeiterkreis aufnahm und tatkräftig in meiner Ausbildung und wissenschaftlichen Tätigkeit bekräftigte sowie unterstützte. Ohne Ihn hätte ich den ersten Schritt zu dieser Arbeit vermutlich nicht getan.

Ein ebensolcher Dank gilt Prof. Dr. H. Michael Mayer, der sich ohne Zögern und mit großem Enthusiasmus zur Zweitkorrektur bereit erklärte und mir auch sonst in meinen Tätigkeiten an der Klinik stets eine helfende Hand bot.

Ein großes Dankeschön gilt Daniel Sattler. Durch seine Kooperationsbereitschaft und freundliche Kommunikation seitens der Deutschen Volleyball Liga war es mir möglich, alle Vereine mit meinem Anliegen zu erreichen und die Stichprobenzahlen zu generieren, auf die sich diese Arbeit stützt. In diesem Zusammenhang sei auch allen Managern, Trainern und vor allem den Vereinen gedankt, ohne deren sofortige Zusage ich keinesfalls die besagte Stichprobengröße erreicht hätte.

Zusätzlich möchte ich Michael Stöckl für seine Lektionen in der Verwendung von MATLAB danken, welche mir später insbesondere in der Datenverarbeitung und Entwicklung von Routinen zur Auswertung wertvolle Dienste erwiesen.

Des Weiteren gebührt ein großer Dank Herrn Diers sowie seinen Mitarbeitern, welche mir den Lichtrasterstereographen für die Datenerhebung kostenfrei zur Verfügung stellten und auch bei dem spontanen Ausfall der Hubsäule unmittelbar Zeit und Mühe für meine Belange opferten.

Ein ganz spezieller, besonderer Dank gilt Uljana Miller, die tragischer Weise im Alter von 25 Jahren Ihrem Krebs erlag. Sie ist mir weit mehr als nur eine Athletin oder ein strahlendes Vorbild für Kampfeswillen, Leidenschaft und Durchhaltevermögen gewesen. Meine Gedanken sind stets bei Ihr und Ihrer Familie.

Natürlich möchte ich auch meiner Familie danken. Zunächst meiner Mutter, Dr. Simone Haag, die mir nicht nur durch ihre akribische Korrektur half, den angemessenen Ton zu finden, sondern auch mittels steter mütterlicher Fürsorge alle sonstigen Sorgen fernhielt. Auch möchte ich meinem Vater Rudolf Haag danken, der mir

schon vor Anbeginn meines Studiums durch gemeinsames Training den Weg ebnete und - ebenso wie meine Mutter - stets als glänzendes Vorbild, weit über sportliche Belange hinaus, fungierte.

Meinem ältesten Bruder Dr. Nils-Holger Haag und meinem Zwilling Lars-Ole Haag sei Dank, dass ich auch in den schweren Zeiten das Ziel vor Augen nicht verloren habe und mich nach langen beschwerlichen Tagen erholsam in weit entfernte Galaxien und Abenteuer stürzen durfte. Stets ohne Angst, verhauen zu werden.

Abschließend gilt der liebevollste Dank Marina Frank, der Frau die mich seit geraumer Zeit in all meinen Macken, Fassaden und Launen vielmehr trägt als nur erträgt. Ihre positive Ausstrahlung, ihr nie endender Optimismus und ihre Herzengüte halfen mir, nicht den Mut zu verlieren und stets mit froher Erwartung in die Zukunft zu blicken.

# Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die bei der promotionsführenden Einrichtung bzw. Fakultät

.....

der TUM zur Promotionsprüfung vorgelegte Arbeit mit dem Titel:

.....

.....

in.....

.....

(Lehrstuhl bzw. Fachgebiet oder Klinik)

unter der Anleitung und Betreuung durch

.....

ohne sonstige Hilfe erstellt und bei der Abfassung nur die gemäß § 6 Abs. 6 und 7 Satz 2 angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

- Ich habe keine Organisation eingeschaltet, die gegen Entgelt Betreuerinnen und Betreuer für die Anfertigung von Dissertationen sucht, oder die mir obliegenden Pflichten hinsichtlich der Prüfungsleistungen für mich ganz oder teilweise erledigt.
- Ich habe die Dissertation in dieser oder ähnlicher Form in keinem anderen Prüfungsverfahren als Prüfungsleistung vorgelegt.
- Die vollständige Dissertation wurde in ..... veröffentlicht. Die promotionsführende Einrichtung..... hat der Vorveröffentlichung zugestimmt.
- Ich habe den angestrebten Doktorgrad **noch nicht** erworben und bin **nicht** in einem früheren Promotionsverfahren für den angestrebten Doktorgrad endgültig gescheitert.
- Ich habe bereits am ..... bei der Fakultät für ..... der Hochschule ..... unter Vorlage einer Dissertation mit dem Thema ..... die Zulassung zur Promotion beantragt mit dem Ergebnis:

.....

Die öffentlich zugängliche Promotionsordnung der TUM ist mir bekannt, insbesondere habe ich die Bedeutung von § 28 (Nichtigkeit der Promotion) und § 29 (Entzug des Doktorgrades) zur Kenntnis genommen. Ich bin mir der Konsequenzen einer falschen Eidesstattlichen Erklärung bewusst.

Mit der Aufnahme meiner personenbezogenen Daten in die Alumni-Datei bei der TUM bin ich

- einverstanden
- nicht einverstanden

München, den .....

.....

Unterschrift

## Anhang

Anlage A: Tabellen 44-46

Anlage B: Übersichtskarte aller aufgesuchten Vereine

Anlage C: QR-Codes der webbasierten Fragebögen (zweisprachig)

Anlage D: Ethik Votum der Bayerischen Landesärztekammer

Anlage E: Probanden Einverständniserklärung

Anlage F: Operationalisierung der Prädiktoren

Extern auf CD:

Anlage G: Ethikantrag an die Bayerische Landesärztekammer

Anlage H: Deutsche Version des Fragebogens

Anlage I: Englische Version des Fragebogens

Anlage J: Case Report Form (Dateneingabeblatt)

Anlage K: Dummy Report der Athleten

Anlage L: Analysierter, bereinigter Datensatz

---

Anlage A: Tabellen 45-47 zur Mittelwertvergleichen innerhalb der positionsdifferenzierten Betrachtung der Stichprobe

*Tabelle 44: Mittelwerte der nach Modell 1 signifikanten Prädiktoren für die positionsdifferenzierte Stichprobe der Herren*

Pos	Sprunghöhe[m]	COP[mm]	$V^{ob}/V^{un}$	Rumpflänge[mm]	Grübchen[mm]	LApex[mm]	Freq <sup>RB</sup>	N <sup>FB</sup>
AA	0,417	583,2	1,55	497,4	100,7	-424,6	10	26
D	0,407	593,8	1,51	521,1	105,7	-451,6	3	7
L	0,404	595,8	1,61	488,9	100,5	-411,8	9	14
MB	0,392	662,7	1,57	527,0	100,0	-443,7	8	23
Z	0,396	578,	1,56	495,1	102,0	-419,5	6	11

*Tabelle 45: Mittelwerte der nach Modell 1 signifikanten Prädiktoren für die positionsdifferenzierte Stichprobe der Damen*

Pos	Sprunghöhe[m]	COP[mm]	$V^{ob}/V^{un}$	Rumpflänge[mm]	Grübchen[mm]	LApex[mm]	Freq <sup>RB</sup>	N <sup>FB</sup>
AA	0,282	528,7	1,36	466,3	101,3	-383,5	18	35
D	0,289	555,0	1,36	463,1	108,1	-379,2	4	9
L	0,287	519,5	1,40	439,1	98,4	-361,4	6	11
MB	0,285	509,9	1,32	474,7	102,2	-388,6	26	32
Z	0,276	544,0	1,40	471,8	98,7	-390,7	9	17

Tabelle 46: Mittelwerte der WS beschreibenden Parameter im Vergleich (Kohorte + Norm), differenziert nach den Geschlechtern

WS Parameter	Herren		Damen	
	VB, n=223	Norm, n=51	VB, n=227	Norm, n=52
Rumpfneigung [mm]	25,2±20,7	20,8±15,2	23,3±18,7	16,6±15,1
Beckenhochstand [mm]	-1,2±5,9	4,5±3,6	0,2±4,7	3,5±3,0
Beckenneigung [°]	16,9±5,9	17,3±5,2	22,5±5,1	23,1±4,3
Beckentorsion [°]	1,0±3,0	2,1±1,3	0,1±2,9	1,6±1,3
Grübchenabstand [mm]	101,2±13,8	-	100,6±12,0	-
Kyphosewinkel [°]	42,8±8,7	47,2±7,3	43,2±8,8	45,4±9,4
Kyphoseapex [mm]	-193,5±25,0	-	-171,6±29,8	-
Lordosewinkel [°]	28,7±7,7	35,9±8,2	37,2±8,3	44,0±9,4
Lordoseapex [mm]	-426,6±41,2	-	-380,9±33,2	-
Lotabweichung [mm]	-3,1±8,5	6,9±4,6	-1,9±9,2	7,7±4,6
Oberflächenrotation [°]	3,7±1,6	3,6±1,4	4,1±2,2	3,4±1,7
Seitabweichung [mm]	4,9±2,5	4,5±2,1	4,9±2,7	4,2±2,0

Anlage B: Übersichtskarte aller aufgesuchten Vereine Deutschlands

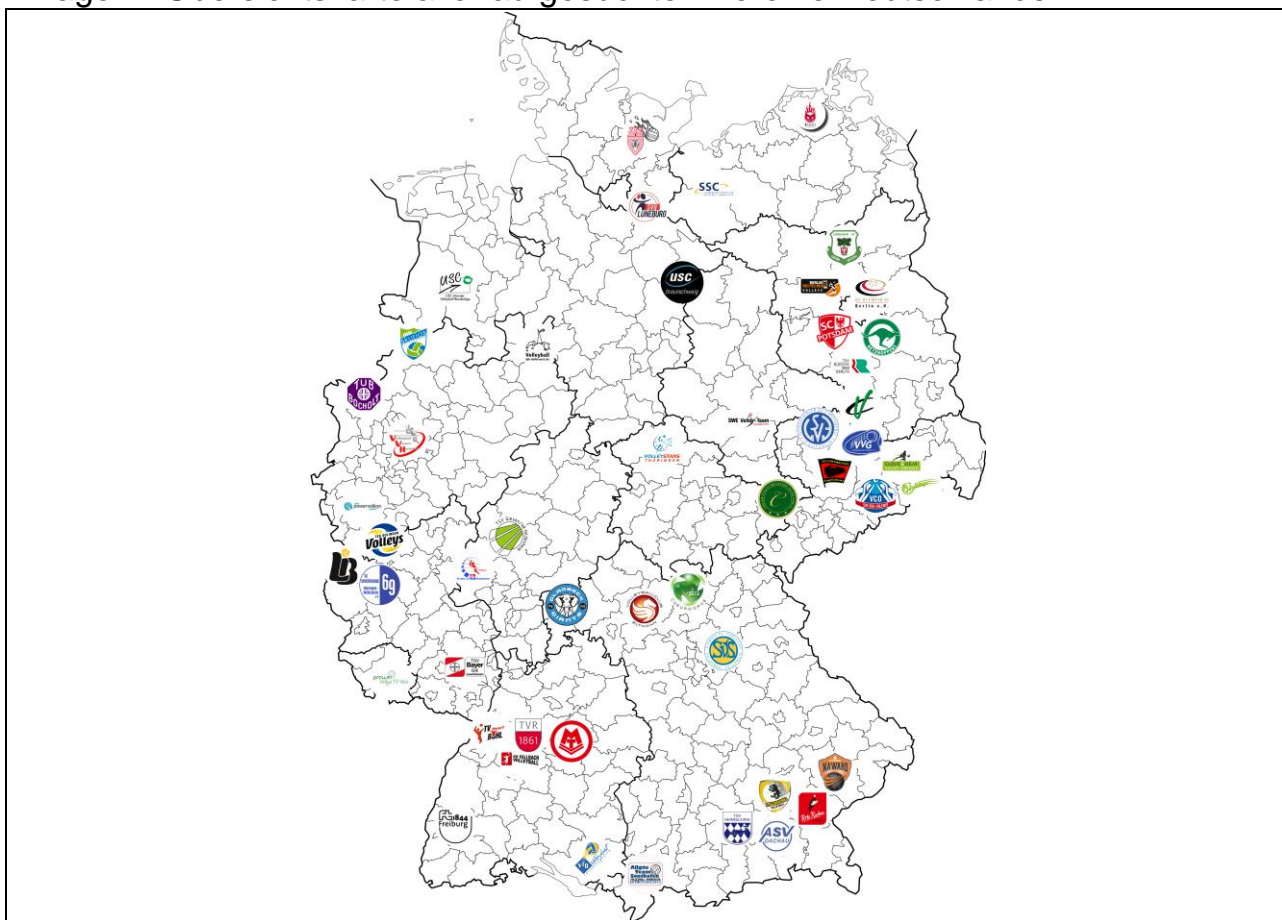


Abbildung 67: Teilnehmende Vereine inklusive der Verortung der aufgesuchten Trainingsstätten

## Anlage C: QR-Codes zur direkten Verlinkung auf die Online-vorliegenden Fragebögen (Teil der Athleten-Reports)



Abbildung 68: QR-Codes zum direkten Zugriff auf die Fragebogenuntersuchung

## Anlage D: Ethikvotum der Bayerischen Landesärztekammer

 Ethik-Kommission  
der Bayerischen Landesärztekammer

Ethik-Kommission der BLÄK · Mühlbauerstraße 16 · 81677 München

Schön Klinik München Harlaching  
Rückeninstitut  
Herrn Thore Haag  
[REDACTED]

Telefon: 089 4147-089 4147-283  
Fax: 089 4147-089 4147-334  
E-Mail: ethikkommission@blaek.de

Unser Zeichen: 2014-048 fm/h  
Ihre Zeichen:  
Ihr Schreiben vom: 15.05.2014  
20.05.2014

**Untersuchung von Risiko-Faktoren für Rückenschmerz im Hallenvolleyball**

Sehr geehrter Herr Haag,

mit Schreiben vom 15.05.2014 baten Sie um eine Beratung durch die hiesige Ethik-Kommission zu o.g. Vorhaben.

Hiermit kann ich Ihnen bestätigen, dass das Vorhaben nicht unter § 15 der Berufsordnung für die Ärzte Bayerns fällt und somit nicht beratungspflichtig ist.

Mit freundlichen Grüßen

  
[REDACTED]

in der Geschäftsführung der Ethik-Kommission

## Anlage E: Probanden Einwilligungserklärung

### Probanden Information und Einverständniserklärung

Untersuchungsvorhaben: Die Identifikation von Risikofaktoren im Hallenvolleyball

**Name:** \_\_\_\_\_ **Geb.Datum:** \_\_\_\_\_

Ziel dieser Untersuchung ist die Identifikation unterschiedlicher relevanter Prädiktoren für die Entstehung von Rückenschmerz. Hierfür wurden sämtliche Mannschaften der 1. und 2. Volleyball Bundesliga angeschrieben und über das Vorhaben informiert. Über biomechanische Messungen sowie einen ausführlichen Fragebogen werden diverse Parameter auf Ihren Einfluss auf chronische Rückenbeschwerden hin überprüft.

Die Studie integriert sämtliche Spitzensportler der 1. & 2. Volleyball Bundesligen Deutschlands. Die Teilnahme ist freiwillig und erfolgt *nur* nach dem schriftlichen Einverständnis. Dieses kann vor der Datenverarbeitung ohne Angabe von Gründen jederzeit widerrufen werden. Jüngere Probanden bedürfen des Einverständnisses der Erziehungsberechtigten.

Der zeitliche Aufwand der Messungen beträgt pro Proband in etwa eine halbe Stunde. Die Messungen beinhalten folgende Methoden:

- Zunächst werden die Probanden anthropometrisch vermessen und eine medizinische Anamnese durchgeführt. Mittels eines Maßbandes und eines Messschiebers werden die Körperproportionen vermessen; diese Abmessungen beinhalten Maße des gesamten Körpers (Kopflänge, -breite, -höhe; Armlänge etc.). Sollten zum Zeitpunkt der Untersuchung Unterlagen bildgebender Verfahren der Probanden zur Verfügung stehen, werden diese in das medizinische Vorgespräch mit einbezogen. Anschließend erfolgt ein statischer Einbeinstandtest zur Überprüfung der posturalen Kontrolle sowie eine Sprungkraftdiagnostik, die sowohl Sprünge mit als auch ohne Armeinsatz, sowie einen Sprungkraftausdauererprobtest auf einer Kraftmessplatte beinhaltet. Als weiterer Schritt erfolgt die Durchführung eines strahlungsfreien, lichtbasiertes Bildgebungsverfahrens sowie einer Fußdruckanalyse. Es folgt ein dynamischer Stabilisationstest, welcher die Beweglichkeit sowie abermals die posturale Kontrolle überprüfen soll. Zuletzt werden über einen Fragebogen psychosoziale Einflussfaktoren und die Auswirkung möglicher Schmerzen, sowie das Trainingsverhalten identifiziert. Weitere Informationen über die Verletzungshistorie sollen einen Eindruck über die Zusammenhänge von Beschwerden liefern.
- 

Es bestehen nach menschlichem Ermessen keine bzw. nur sehr geringe Risiken für die Probanden bei der Testdurchführung. Grundsätzlich ist es dennoch möglich, dass sich diese während den Tests am Sehnen-, Bandapparat oder der Muskulatur verletzen könnten. Eine Verletzung gesunder Strukturen durch diese Übungen ist jedoch auf keinen Fall zu erwarten. Eine Eignung für die Untersuchungen wird daher im medizinischen Gespräch abgeklärt. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass kein gesonderter Versicherungsschutz über diese Studie besteht.

Hiermit bestätige ich, dass ich über das Vorgehen, Ziele und Bedeutung der Untersuchung aufgeklärt wurde. Diese Information habe ich gelesen und verstanden; weiterhin hatte ich die Möglichkeit Fragen zu stellen. Ich bin mit der Teilnahme an der Studie einverstanden und weiß, dass ich diese Einwilligung jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen kann.

Meine im Zusammenhang mit dieser Studie erhobenen persönlichen Daten dürfen in anonymisierter Form zur wissenschaftlichen Weiterqualifikation des Messpersonals ausgewertet und anschließend entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen archiviert und publiziert werden.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Probanden

\_\_\_\_\_  
Untersuchungsleiter



## Anlage F: Übersicht über alle potentiellen Prädiktoren

Tabelle F: Literaturgeleitete Operationalisierung potentieller Risikofaktoren

Potentieller Risikofaktor		Messsystem	Operationalisierung
<b>Abhängige Variable (AV)</b>			
Rückenbeschwerden		Fragebogen	Entscheidung über KORFF-Fragebogen, Mainzer-Stadienmodell; endgültige Einteilung bivariat: 1=ja, 0=nein
<b>Unabhängige Variable (UV)</b>			
Spielniveau		Fragebogen	1. Bundesliga, 2. Bundesliga
Geschlecht		Fragebogen	0=weiblich; 1=männlich
Gewicht		Kraftmessplatte	in [kg]
Körpervolumen		Caliper + Maßband	15 Segmente Modell nach Hanavan, aufgeteilt in geometrische Figuren; Ellipsoid = Kopf, Hände; Zylinder = Hals; stumpfer Kegel = Oberarme, Unterarme, Oberschenkel, Unterschenkel, Füße, Rumpf; in [l]
Spielposition		Fragebogen	Sportartspezifisch: AA=Außenangreifer, D=Diagonalspieler, Z=Zuspieler, MB=Mittelblocker, L=Libero
Dominanz		Fragebogen, Sprungtest	Händigkeit über Fragebogen: l=linkshändig, r=rechtshändig, b=beidhändig
Größe		Maßband	in [cm]
Beruf		Fragebogen	Angestellt, Profi, Student, Schüler
Sprungkraftausdauer		Kraftmessplatte	Erfasst über den Ermüdungsindex gebildet aus der mittleren Sprunghöhe der letzten 5 Sprünge, dividiert durch die mittlere Sprunghöhe der ersten 5 Sprünge; $0 < x < 1$
Posturale Stabilität	statisch	Kraftmessplatte	Die Weglänge des Kraftangriffspunktes auf die Kraftmessplatte über einen 15s einbeinigen Stand; in [mm]
	dynamisch	Y-Balance-Kit	Composit-Score gebildet aus dem Mittelwert aller drei Bewegungsrichtungen der einbeinigen dynamischen Standreichweite dividiert durch das dreifache der Beinlänge;
Maximale Sprunkraft	mit Armschwung	Kraftmessplatte	Max. Sprunghöhe aus 3 CMJs mit Armschwung, Flugzeit; in [cm]
	ohne Armschwung	Kraftmessplatte	Max. Sprunghöhe aus 3 CMJs ohne Armschwung, Flugzeit; in [cm]
WS Form		DIERS Lichtrasterstereographie	Rumpflänge: von C7 – S2; in [mm]

		DIERS LRS	Grübchenabstand: Abstand der lumbalgrübchen in Höhe S2; in [mm]
		DIERS LRS	Rumpfneigung: Neigung der Geraden zwischen C7 und S2 zum Lot der Standfläche; in [°]
		DIERS LRS	Lotabweichung: Abweichung in der Frontalebene zur Geraden zwischen C7 und S2; in [mm]
		DIERS LRS	Beckenhochstand: Differenz der Grübchenhöhen links- bzw. rechtsseitig zur Standfläche; in [mm]
		DIERS LRS	Beckentorsion: Versatz der Grübchen in der Transversalebene; in [°]
		DIERS LRS	Beckenneigung: Neigungswinkel der Oberflächennormalen der Dimple zur Frontalebene gebildet aus C7 und S2; in [°]
		DIERS LRS	Kyphoseapex: Höhe des maximalen Kyphosewinkels, ausgehend von C7; in [mm]
		DIERS LRS	Kyphosewinkel: Winkel der Brustkyphose zwischen C7 und Wendepunkt der WS; in [°]
		DIERS LRS	Lordoseapex: Höhe des maximalen Lordosewinkels, ausgehend von C7; in [mm]
		DIERS LRS	Lordosewinkel: Winkel der Lendenlordose zwischen Wendepunkt des thorakal-lumbal Überganges und S2; in [°]
		DIERS LRS	Oberflächenrotation
		DIERS LRS	Seitabweichung
		DIERS LRS	Skoliosewinkel: seitliche Krümmung der WS
Schuh		Fragebogen	Markenname + Modell
Training	externes Rücken-training	Fragebogen	0 = kein eigenständiges Rückentraining, 1 = eigenständiges Rückentraining
	internes Rückentraining	Fragebogen	0 = kein Trainingsinternes Rückentraining; 1 = Trainingsinternes Rückentraining
	Sensomotorisches Training	Fragebogen	0 = kein Trainingsinternes Rückentraining; 1 = Trainingsinternes Rückentraining
Arbeitszeit	Fragebogen	in h/Woche	Arbeitszeit
VB Erfahrung	Fragebogen	Trainingseinheiten pro Woche * aktiver Einsatzjahre in der BL	VB Erfahrung
Schmerz	Intensität Ruhe	Fragebogen	Durchschnittliche Schmerzintensität in Ruhe; gemessen anhand ei-

			ner 10-stufigen Skala (VAS)
	Intensität Sport	Fragebogen	Durchschnittliche Schmerzintensität beim Sport; Gemessen anhand einer 10-stufigen Skala (VAS)
	Subj Grund	Fragebogen	Nominal
	Reproduzierbarkeit	Fragebogen	0 = nein, 1 = ja; Erfassung der Bewegungsrichtung
	Beeinträchtigung Sozial	Fragebogen	Gemessen anhand einer 10-stufigen Skala, 0 = keine Beeinträchtigung, 10 = vollkommene Einschränkung
	Beeinträchtigung Beruf	Fragebogen	Gemessen anhand einer 10-stufigen Skala, 0 = keine Beeinträchtigung, 10 = vollkommene Einschränkung
Medizinische Faktoren		Anamnesegespräch	Klassische medizinische Anamnese, inklusive Verletzungshistorie und klinisch-orthopädischer Untersuchung
Subjektives Empfinden	Gesundheit	Fragebogen	gemessen anhand einer 10-stufigen Skala (VAS)
	Schlaf	Fragebogen	gemessen anhand einer 10-stufigen Skala (VAS); Dauer des Schlafs einer durchschnittlichen Nacht; in [h]
Psychophysis	Angstvermeidung von Bewegung	Fragebogen	Fear-Avoidance-Beliefs-Questionnaire (FABQ)
	Angst und Depression	Fragebogen	Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS)