

Robert Hecht

**Auswirkungen der Passform alpiner Skischuhe auf
skispezifische motorische Bewegungssituationen**

Dissertation

zur Erlangung des Akademischen Grades
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ**

Chemnitz, 2013

Datum des Promotionskolloquiums:	26.02.2013
Vorsitzender der Promotionskommission:	Prof. Dr. Udo Rudolph
Erstgutachter:	Prof. Dr. Thomas L. Milani
Zweitgutachter:	Prof. Dr. Veit Senner

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-106735>

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
2 Theoretische Grundlagen.....	4
2.1 Komponenten sportlicher Leistungsfähigkeit.....	4
2.1.1 Sportmotorisches Anforderungsprofil.....	4
2.1.2 Konditionelle Anforderungen.....	6
2.1.3 Koordinative Anforderungen.....	19
2.2 Epidemiologie der Verletzungen beim alpinen Skilauf.....	29
2.3 Skischuh.....	37
2.3.1 Geschichtliche Entwicklung.....	37
2.3.2 Wissenschaftliche Studien.....	41
2.3.3 Normen und Konstruktionsmerkmale.....	51
2.4 Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen.....	56
3 Fragestellungen der Arbeit.....	58
4 Darstellung der Einzelstudien.....	60
4.1 Abhängigkeit der Gleichgewichtsfähigkeit vom Skischuhmodell.....	60
4.1.1 Theoretische Grundlagen.....	60
4.1.1.1 Theoretische Grundlagen der Gleichgewichtsfähigkeit.....	60
4.1.1.2 Theoretische Grundlagen der Passformbewertung.....	70
4.1.2 Untersuchungsstichprobe.....	75
4.1.3 Methodisches Vorgehen.....	76
4.1.4 Studiendesign.....	79
4.1.5 Statistik.....	80
4.1.6 Ergebnisse und Diskussion der Reliabilitätsstudie.....	82

4.1.7 Ergebnisse der Untersuchungen	87
4.1.7.1 Ergebnisse der Gleichgewichtsmessung	87
4.1.7.2 Ergebnisse der Passformbewertung	91
4.1.8. Interpretation und Diskussion der Ergebnisse.....	96
4.1.8.1 Interpretation Ergebnisse der Gleichgewichtsfähigkeit	96
4.1.8.2 Interpretation der Ergebnisse der Passformbewertung.....	99
4.2 Fußsensibilität beim Tragen alpiner Skischuhe.....	102
4.2.1 Theoretische Grundlagen.....	102
4.2.2 Untersuchungsstichprobe.....	107
4.2.3 Methodisches Vorgehen	108
4.2.4 Studiendesign.....	109
4.2.5 Statistik	110
4.2.6 Ergebnisse der Untersuchung	110
4.2.7 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	113
4.3 Fußmorphologieveränderung beim Tragen alpiner Skischuhe.....	115
4.3.1 Theoretische Grundlagen.....	115
4.3.2 Untersuchungsstichprobe.....	119
4.3.3 Methodisches Vorgehen	120
4.3.4 Studiendesign.....	121
4.3.5 Statistik	122
4.3.6 Ergebnisse der Untersuchung	122
4.3.7 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	125
5. Ergebnisinterpretation im Zusammenhang.....	128
6. Schlussfolgerungen und Ausblick.....	133
Literaturverzeichnis	135
Anhang.....	155
Eigenständigkeitserklärung	162
Lebenslauf.....	163

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vereinfachtes Model der Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit (Weineck, 2010, S. 25)	5
Abbildung 2: Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit im alpinen Skirennlauf (verändert nach Pernitzsch & Staudacher, 1998, S. 6)	6
Abbildung 3: Beziehungen zwischen den konditionellen Fähigkeiten; außen: gültige Oberbegriffe für kombinierte Fähigkeiten; innen: differenzierte Bezeichnungen nach der dominanten Fähigkeit (Schnabel, Harre & Krug, 1986, S. 124)	7
Abbildung 4: Herzfrequenzen bei verschiedenen Pistenbedingungen und Geschwindigkeiten bei 2 Messzeitpunkten (Scheiber et al., 2009, p. 554)	11
Abbildung 5: Messsohlen Parotec der Firma Paromed® Germany mit Datenlogger (Spitzenpfeil & Hartmann, 2004, S. 344)	14
Abbildung 6: Bodenreaktionskräfte (Balken), Herzfrequenz (helle Linie), u. Blutlaktatkonzentration (schwarze Linie) bei unterschiedlichen Fahrertypen (Brüggemann et al., 1992, S. 45)	15
Abbildung 7: Schwungradradius R_s als Funktion der Geschwindigkeit v bei verschiedenen Maximalbelastungen F_{max} (angenommene Masse des Skiläufers 80 kg) (Tutz 2004, S. 8)	16
Abbildung 8: Auftretende Belastungen bei Vergleich herkömmlicher Skitechnik (oben) und Carvingtechnik (unten) (Mathelitsch & Thaler, 2006, S. 43)	17
Abbildung 9: Model der Hauptelemente alpiner Skitechnik (Loland, 2009, p. 53)	21
Abbildung 10: Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes während des Schwungverlaufs (Haugen et al., 2007, p. 1)	23
Abbildung 11: Vergleich des S3-Sensomotorikindex bei links/rechts Messungen zwischen Skirennläufern und der männlichen Normalgruppe (Raschner et al., 2008, S. 103)	24
Abbildung 12: Verletzte im alpinen Skisport in % pro 1000 Skifahrer (Schulz, 2011, S. 3)	30
Abbildung 13: Mechanismen zur Verletzung des vorderen Kreuzbandes (Natri et al., 1999, p.37)	32
Abbildung 14: Verletzungshäufigkeit je Körperregion laut ARAG Sportversicherungen (Schulz, 2011, S. 8)	35
Abbildung 15: Lederskischuh um 1960 (links), Heckeinsteiger um 1980 (mitte), Überlappmehrschnallenskischuh (rechts) 2011 (eigene Aufnahmen)	39
Abbildung 16: Rückwärtsfall-Situation mit (links) u. ohne nachgebenden Heckspoiler (Hauser, 1997, S. 204)	43

Abbildung 17: Designstudie des Skischuhs mit Stance Geometry System (Corazza & Cobelli, 2005, S. 236).....	46
Abbildung 18: Verstärkungsplatte am Skischuh zur Erhöhung der Skischuhsteifigkeit (Petrone et al. 2010, p. 2600)	47
Abbildung 19: Maße des Anschlussbereichs beim Skischuh Typ A (DIN ISO 5355, S. 6).....	52
Abbildung 20: Winkelangaben der IAS 150 Richtlinie (Walkhoff & Bauman, 1987, S. 128).....	53
Abbildung 21: Darstellung unterschiedlicher Leistenbreiten (in Anlehnung an Dalbello®, 2012).....	54
Abbildung 22: Modell der posturalen Kontrolle nach Shumway-Cook & Woollacoot (2007, p. 157)	62
Abbildung 23: Bezeichnungen der Körperpunkte Center of gravity und Center of pressure (Witte & Recknagel, 1997, S. 281)	67
Abbildung 24: Mehrkomponenten-Messplattform mit Datenaufnahmerichtung (Kistler®, 2012)	69
Abbildung 25: Differenzierungsfelder für die Graduierung von funktionellen Sportschuhparametern (Kleindienst et al., 2006, S. 20).....	72
Abbildung 26: Modell von Komfort und Diskomfort (Zhang et al., 1996, p. 388).....	73
Abbildung 27: Messplatz mit Testperson (links), seitliche Ansicht (rechts) (eigene Aufnahmen).....	77
Abbildung 28: konvexe Hülle einer Messung aller CoP-Punkte, Screenshot Auswertungssoftware MATLAB® (eigene Aufnahme).....	78
Abbildung 29: Bland & Altman Diagramm für CoP-Weg-Messung ohne Schuh	83
Abbildung 30: Bland & Altman Diagramm für CoP-Weg-Messung mit K-Schuh.....	84
Abbildung 31: Bland & Altman Diagramm für CoP-Weg-Messung mit R-Schuh.....	85
Abbildung 32: CoP-Weg Gruppenvergleich Anfänger und Fortgeschrittene (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS)	88
Abbildung 33: CoP-Weg-Mittelwertvergleich bei Testung unterschiedlicher Schuhbedingungen (ohne Schuh = os, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS).....	88
Abbildung 34: CoP-Geschwindigkeit Mittelwertvergleich bei Testung unterschiedlicher Schuhbedingung (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS).....	89
Abbildung 35: CoP-Fläche Mittelwertvergleich bei Testung unterschiedlicher Schuhbedingung (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS).....	90

Abbildung 36: Deskriptive Darstellung der Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften (dunkel – fortgeschrittener Skifahrer, hell – Anfänger)	92
Abbildung 37: Passformbewertung unterschiedlicher Skischuhe (dunkel R-Schuh, hell K-Schuh).....	93
Abbildung 38: Komfortbewertung unterschiedlicher Skischuhe (dunkel R-Schuh, hell K-Schuh	94
Abbildung 39: Korrelation der Passform in der Schuhbreite im Vergleich zur gemessenen Fußbreite.....	95
Abbildung 40: Lage der Mechanorezeptoren in der Haut (Rutgers, 2012)	103
Abbildung 41: Häufigkeitsverteilung der Pacini-Korpuskeln (li.) und Meissner-Korpuskel (re.) (Schneider, 2006, S. 47 und 34).....	104
Abbildung 42: Messplatz der Fußsensibilitätsmessung, li. Messplatz gesamt, re. Vibrationserzeuger TV 51075 der Firma TIRA® (eigene Aufnahmen)	108
Abbildung 43: Vibrationsschwellen im Mittelwertvergleich bei Testung mit unterschiedlichen Schuhbedingungen (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS).....	111
Abbildung 44: Vibrationsschwelle im Mittelwert bei Testung mit unterschiedlichen Schuhbedingungen (rennsportlicher Schuh= RS, geöffneter R-Schuh = Rso, komfortabler Schuh = KS, geöffneter K-Schuh = Kso).....	111
Abbildung 45: Passformbewertung unterschiedlicher Skischuhe (dunkel R-Schuh, hell K-Schuh).....	112
Abbildung 46: INFOOT USB Scanner (li) mit Abbildung der Scannereinheit (re) (I-Ware Laboratory's, 2005).....	120
Abbildung 47: Berechnete Fußmaße, Screenshot der Software Centiped® (eigene Aufnahme).....	121
Abbildung 48: Passformbewertung der Fußhöhe im Vergleich zur Fußhöhenänderung bei 65 %	124
Abbildung 49: Passformbewertung der Ballenbreite im Vergleich zur Ballenbreitenänderung	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Daten der Probanden Passformbewertung.....	75
Tabelle 2:	Daten der Probanden der Test-Retest-Studie.....	76
Tabelle 3:	Auflistung verwendeter Skischuhe bei der Gleichgewichtsmessung	80
Tabelle 4:	Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse	82
Tabelle 5:	Ergebnisse der Mittelwerte bei unterschiedlichen Testbedingungen.....	88
Tabelle 6:	Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften des Skischuhs.....	91
Tabelle 7:	Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften mit MW u.SD im Vergleich Skifahrertyp	92
Tabelle 8:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse der Passform- u. Komfortbewertung in den jeweiligen Fußbereichen für K- und R-Schuh	94
Tabelle 9:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Fußmaßen und Passform- bewertung in den jeweiligen Fußbereichen für die Schuhgröße 27,5 (R-Schuh).....	95
Tabelle 10:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Fußmaßen und Komfort- bewertung in den jeweiligen Fußbereichen für die Schuhgröße 27,5 (K-Schuh)	95
Tabelle 11:	Physiologische Klassifikation, Lage und Reizqualität der Mechano- rezeptoren (in Anlehnung an Schneider, 2006, S. 15)	103
Tabelle 12:	Daten der Probanden der Fußsensibilitätsmessung	107
Tabelle 13:	Liste verwendeter Skischuhe (komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher schuh = RS)	109
Tabelle 14:	Korrelationsanalyse zwischen Passformbewertung und Vibrations- Schwelle.....	112
Tabelle 15:	Daten der Probanden der Fußmorphologiemessung	119
Tabelle 16:	Vergleich der Fußdimensionen, Mittelwerte prä/post	123

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ARAG	Allgemeine Rechtsschutz Versicherungs AG
ASU	Auswertungsstelle für Skiunfälle der ARAG Sportversicherung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsmedizin
bzw.	beziehungsweise
CoG	Center of gravity
CoM	Center of mass
CoP	Center of pressure
DIN	Deutsche Industrie Norm
DSV	Deutscher Skiverband
DH	Downhill
FA	Fußfläche
FB	Fußbreite
FL	Fußlänge
IAS	Internationaler Arbeitskreis für Sicherheit im Skisport
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
ISO	International Organisation for Standardisation
KS	komfortorientierter Skischuh
KSo	komfortorientierter Schuh offen
KSP	Körperschwerpunkt
LEER	lower extremity equipty equipment related
MW	Mittelwert, arithmetisches Mittel
os	ohne Schuh
PK	Pacini Korpuskel
®	eingetragene Marke
RH	Risthöhe
RS	Riesenslalom
RS	rennsportlich orientierter Skischuh
RSo	rennsportlich orientierter Schuh offen
RSME	Root Mean Square Error, Messfehler
RSME _{norm}	auf die interindividuelle Standardabweichung normierte RSME
SD	Standardabweichung
SG	Supergiantslalom
SL	Slalom
SPSS	Statistiksoftware
Tab.	Tabelle
VAS	visuelle Analog Skala
vgl.	vergleiche
VO _{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme
WMS	Within Subjekt Mean Square

1 Einleitung

Als 1888 Fridtjof Nansen als erster Grönland über das Inlandeis auf Skiern durchquerte und durch seine Expeditionsberichte Begeisterung für das Skilaufen in Mitteleuropa auslöste, erinnerte noch nicht viel seiner damaligen Ausrüstung an die Hightechprodukte, welche im heutigen alpinen Skisport genutzt werden. Auch Sondre Norheim, norwegischer Skipionier aus Morgedal in der Region Telemark und Erfinder des modernen Skilaufs, verwendete lediglich adaptierte Bergschuhe zum Ausüben der Sportart, sprang damit immerhin auf einer Art Skisprunganlage schon 30,5 m weit.

Spezielle Schuhe für den alpinen Skisport, welche anfänglich aus Leder, später aus Kunststoff gefertigt wurden, entwickelten sich erst Mitte des 20. Jahrhunderts, wobei besonders der alpine Rennsport und dessen erhöhte Anforderungen an das Material weitreichende Verbesserungen und Spezialisierungen der Schuhe hervorbrachte. Vor allem die optimale Kraftübertragung stand dabei im Fokus der Entwicklungsarbeit, die als logische Konsequenz mit einer Veränderung der verwendeten Materialien einherging. Aber auch der Breitensportler erkannte die Vorteile spezieller Skischuhe, womit sich die Entwicklung zum heute als individuell anpassbaren Hightech-Serienmodell vollzog. Mit 3,9 Millionen Paar verkaufter Skischuhe weltweit (Huber, 2011) werden sogar mehr Schuhe pro Jahr verkauft als Ski. Der Handel bietet dabei eine Vielzahl von Marken und Modellen mit unterschiedlichsten Eigenschaften, wodurch sich jener für den Großteil der Endverbraucher als zunehmend unüberschaubar darstellt. Der Skischuh entsteht dabei heutzutage in kostenintensiver Entwicklungsarbeit und besteht aus bis zu 120 Einzelteilen (Ebert, 2009), welche in aufwendiger Handarbeit zum eigentlichen Produkt zusammengesetzt werden.

Auslöser zahlreicher Weiterentwicklungen waren in den vergangenen Jahren aber auch die gestiegenen sicherheitstechnischen Anforderungen. So konnte beispielsweise durch die Einführung steiferer und höherer Skischuhe Anfang der 70er Jahre eine Reduzierung der Unterschenkelverletzungen um 92 % konstatiert werden (Johnson et al., 1989). Ebenso ist die immer größer werdende Zahl der auf dem Markt angebotenen Modelle für die Forcierung weiterer Entwicklungsschritte verantwortlich, um potentielle Käufer vom jeweiligen Produkt überzeugen zu können. Dass die Schuhe nicht immer ohne weiteres den Anforderungen der Sportart genügen und sich somit nicht dauerhaft am Markt platzieren können, wird an dem Beispiel der von verschiedenen Herstellern angebotenen und unter der Bezeichnung „Softboot“ bekannten Schuhkategorie deutlich. Auf Grund seiner Konstruktionsmerkmale zeichnete sich dieser zwar durch eine hohe Bequemlichkeit aus, konnte aber weiteren vor allem fahrtechnischen Anforderungen nur bedingt genügen.

Als zentrales Element beziehungsweise Sportgerät in der Verbindung von Mensch und Ski werden an den Skischuh so einerseits funktionelle Anforderungen gestellt, andererseits sollte er aber auch einen gewissen Komfort bieten, um den Bedürfnissen des Nutzers gerecht werden zu können. Immerhin bevorzugt der überwiegende Teil der Skifahrer einen möglichst bequemen Schuh (Wilke et al., 2004). Forscher gehen allerdings davon aus, dass ein ungenügend passender Skischuh negative Auswirkungen auf die Fahrperformance hat, was im Endergebnis mit einer verringerten Sicherheit und damit erhöhten Unfallgefahr in Verbindung gebracht werden kann.

Die Wissenschaftler kommen hinlänglich zu der Schlussfolgerung, dass die Passform eines Skischuhs auf Grund der unterschiedlichen Form des Fußes stark differiert und nicht immer an die individuellen biomechanischen Voraussetzungen angepasst ist (Pinter et al., 2010), können jedoch deren Auswirkung auf die Sicherheit nur vermuten. Lediglich vereinzelt werden derartige Zusammenhänge durch Publikationen nachgewiesen. Dass dieser Ansatzpunkt durchaus als notwendig erachtet werden muss, wird durch die von der Allgemeinen Rechtsschutz Versicherungs-AG (ARAG) jährlich durchgeführten Unfallanalyse deutlich. Laut deren Auswertungsstelle für Skiunfälle und der in Kooperation mit der Stiftung Sicherheit im Skisport durchgeführten Analyse ereigneten sich in der Skisaison 2010/2011 hochgerechnet 40.000 bis 43.000 Skiunfälle. Immerhin verletzten sich 6400 deutsche Skifahrer so sehr, dass sie sich in stationäre Behandlung begeben mussten. Ein Interesse am Erkenntnisgewinn diesbezüglicher Sicherheitskonzepte dürfte somit gegeben sein.

Skischuhtests, wie sie beispielsweise von der Stiftung Warentest (Stiftung Warentest, 2009) durchgeführt werden, liefern jedoch nur ungenügend wissenschaftliche Zusammenhänge und Ergebnisse, da sie stark von der subjektiven Beurteilung der jeweiligen Testperson abhängig sind. Im Vergleich zur speziellen Sportschuhforschung, die durch umfangreiche Publikationen gekennzeichnet ist, bestehen somit im Forschungsgebiet alpiner Skischuhe nach wie vor Unklarheiten und ein grundlegender Wissensbedarf. Der Focus sollte dabei auf die nutzerspezifischen Anforderungen gelegt werden, um durch Anpassung an individuelle biomechanische Voraussetzungen eine Funktionalitätsverbesserung erzielen zu können, deren Abhängigkeit beispielsweise im Zusammenhang zur Reduzierung eines möglichen Verletzungsrisikos untersucht werden sollte.

Unterscheiden kann man die verschiedenen Modelle der einzelnen Hersteller hauptsächlich in der Leistenbreite oder in der Schaft/Schalenhärte des Schuhs, so dass sich die zentrale Frage stellt, inwieweit sich die vom Nutzer häufig geforderte Bequemlichkeit (Wilke et al., 2004) auf die Übertragung der Steuerimpulse auswirkt, d. h. funktionell ist und die Fahrperformance beeinflusst. Das allgemeine Ziel der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit liegt somit in der Bearbeitung der Fragestellung, wie sich die charakteristisch unterschiedlichen Skischuhe bei skispezifischen Bewegungssituationen auswirken.

Die Annahme, dass eine unzureichende oder eventuelle zu große Passform die Qualität der Übertragung von Steuerimpulsen negativ beeinflusst, steht dabei im Zentrum des Interesses. Im theoretischen Teil der Arbeit wird daher zum Überblick auf die einzelnen Faktoren, welche die Leistung in der Sportart Ski-alpin bestimmen, näher eingegangen, um die Wichtigkeit der im weiteren Verlauf der Arbeit untersuchten Fähigkeiten deutlich machen zu können. Im Mittelpunkt der Literaturbesprechung steht folglich die Gleichgewichtsfähigkeit als dominierende koordinative Fähigkeit der Sportart. Um ein umfassendes Verständnis über die bestehenden Anforderungen und entstehenden Belastungen aufzeigen zu können, werden zudem die konditionellen Fähigkeiten betrachtet. Die weiteren Darstellungen beziehen sich auf Verletzungen beim alpinen Skisport sowie Ausführungen zu bisherigen Forschungsarbeiten bezüglich des Skischuhs. Dabei sollen insbesondere die Veränderungen der Charakteristik sich ereignender Schäden deutlich gemacht und deren zur Vermeidung unternommene Forschungsansätze dargestellt werden.

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse ergeben so die zentralen Fragestellungen, welche im Kapitel 3 formuliert werden. Im Anschluss kommen jeweils die drei Einzelstudien in ihrer Methodik zur Darstellung sowie deren Ergebnisse. Um den theoretischen Hintergrund der Teilstudien abbilden zu können, wird außerdem der aktuelle Stand der Wissenschaft sowie relevante Grundlagen zur jeweiligen Studie vermittelt bzw. die aus der Studiendurchführung sich ergebende Problematik deutlich gemacht. Das letzte Kapitel fasst alle Ergebnisse durchgeführter wissenschaftlicher Studien zusammen. Es erfolgt deren Diskussion bezüglich der übergeordneten Fragestellung, inwieweit durch einen geeigneten Skischuh die Fahrperformance beeinflusst werden kann.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Komponenten sportlicher Leistungsfähigkeit

Mit ca. 200 Millionen Skifahrern weltweit (Hunter, 1999) und 4,2 Millionen Skifahrern in Deutschland (Allgemeine Versicherungs-AG, 2011), ist der alpine Skisport eine der beliebtesten Wintersportarten. Entsprechend der verschiedenen Intuitionen der ausübenden Personen, ergeben sich auf Grund deren verschiedener konditionellen und konstitutionellen Voraussetzungen unterschiedliche Anforderungen bei der Durchführung der Sportart. Das folgende Kapitel soll deshalb einen Überblick schaffen, welche Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit der alpine Skisport im Breiten- oder Leistungssport an die betreffenden Personen stellt. Ausgehend vom Gesamtüberblick in Abbildung 2 werden in den weiteren Kapiteln Anforderungen und auftretende Belastungen im konditionellen Bereich aufgezeigt bzw. wird die Gleichgewichtsfähigkeit als wichtigste koordinative Fähigkeit genauer beschrieben. Ebenso wird das Material als Komponente der sportlichen Leistungsfähigkeit betrachtet, wobei im Kapitel 2.3 nur der Skischuh beleuchtet wird. Weitere Faktoren der sportlichen Leistungsfähigkeit wie Skitechnik, konstitutionelle Voraussetzungen oder soziale Aspekte spielen im Rahmen dieser Arbeit eine untergeordnete Rolle und werden daher nicht fokussiert.

2.1.1 Sportmotorisches Anforderungsprofil

Das Zustandekommen der sportlichen Leistungsfähigkeit ist im Wesentlichen vom Ausprägungsgrad individueller Eigenschaften des Sportlers abhängig (Weineck 2010) und wird durch eine Vielzahl spezifischer Faktoren bestimmt, die nach Weineck (2010) vereinfacht in konditionelle und koordinative Fähigkeiten unterteilt werden können. In ähnlicher Weise verwenden Schnabel, Harre und Krug (2008) diese Unterteilung, wobei selbige als personale Leistungsvoraussetzungen verstanden werden. Sie stellen somit die unmittelbaren Einflussgrößen der Leistungsfähigkeit dar, bestimmen so die Höhe und Güte einer motorischen Leistung (Schnabel et al., 2008) und werden demnach als Leistungsfaktoren determiniert. Abbildung 1 zeigt ein allgemeines Modell der Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit nach Weineck (2010). Darüber hinaus sieht der Autor die konditionellen Fähigkeiten in vielen Sportarten ebenfalls als Voraussetzungen, um sportartspezifische, technische, taktische und physische Leistungen erbringen zu können, was besonders für viele Spielsportarten zutreffend ist. Allgemeiner formulieren dies die Autoren um Schnabel (2008), da sie die konditionellen Fähigkeiten als Voraussetzung für das Erlernen und Ausführen sportlicher Bewegungen und Handlungen angeben.

Diese werden jedoch nicht weiter spezifiziert. Die Sportwissenschaftler sind sich jedoch einig, dass das Erreichen individueller Höchstleistungen nur möglich ist, wenn eine Entwicklung aller leistungsbestimmenden Faktoren stattfindet, welche komplex trainiert werden sollten (Weineck, 2010) und in Wechselwirkung zueinander stehen (Schnabel et al., 2008).

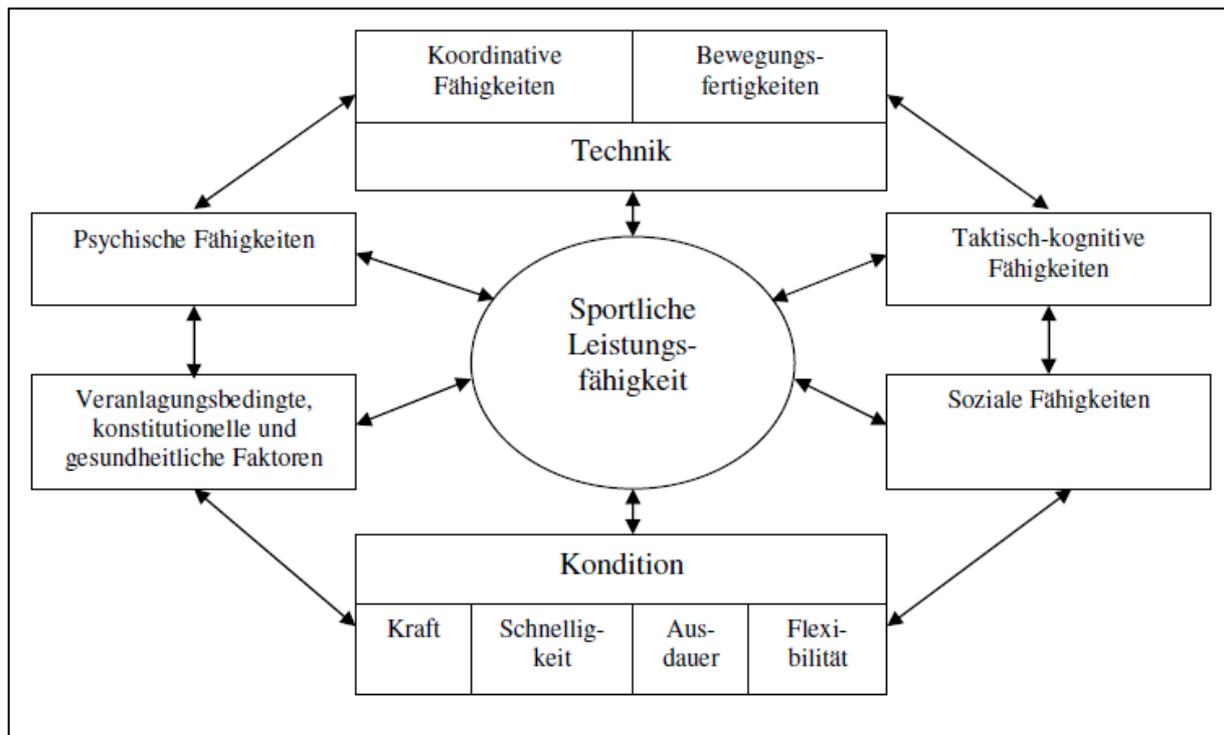


Abb. 1: Vereinfachtes Modell der Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit (Weineck, 2010, S. 25)

Die Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit in der Sportart Ski-alpin lassen sich somit wie in Abbildung 2 gezeigt darstellen. Nach Pernitsch und Staudacher (1998) setzt sich die sportliche Leistungsfähigkeit im alpinen Skirennsport aus mehreren Komponenten zusammen, die zudem in Wechselwirkung zueinander stehen. Die sportliche Leistung, gemessen an Platzierung oder Zeiten im unmittelbaren Vergleich zum jeweiligen Konkurrenten, ist dabei im Wettkampfsport wesentlich von der Skitechnik und deren Beherrschungsgrad abhängig. Die Sportart Ski-alpin kann demnach auch als technomotorische Sportart bezeichnet und hat im Vergleich zu vielen anderen Sportarten ein sehr komplexes Anforderungsprofil. Auch Andersen (1988) bezeichnet den alpinen Skisport als einen sehr vielschichtigen Sport, der durch ein hohes Niveau technischer Fertigkeiten und physischer Leistungsfähigkeit gekennzeichnet ist. Da die Betrachtung der Skitechnik den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird auf eine nähere Darstellung bewusst verzichtet. Im folgenden Abschnitt wird daher lediglich auf Auswirkungen im konditionellen und koordinativen Bereich durch deren Veränderungen eingegangen. Neben Faktoren wie

Material, Trainingsbedingungen oder dem sozialen Umfeld, welche als apersonelle Faktoren zusammengefasst werden können, beeinflussen vor allem die personellen Faktoren die Leistung maßgeblich. Besonders konditionelle und koordinative Fähigkeiten spielen eine wichtige Rolle im Konstrukt der personellen Faktoren und haben einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Leistungsniveau, wobei sie in diesem Zusammenhang als Zubringerfähigkeiten bezeichnet werden (Rieder, 1998). Die Verwendung dieser Begrifflichkeit begründet sich auf Grund dessen, dass die sportliche Leistung vordergründig vom Niveau der Skitechnik abhängig ist. Im Breitensport findet eine Reduzierung in Anzahl und Einflussnahme angeführter leistungsbestimmender Faktoren statt, wobei konditionelle und koordinative Fähigkeiten ebenso als Leistungsvoraussetzungen angesehen werden können und die Skitechnik beeinflussen.

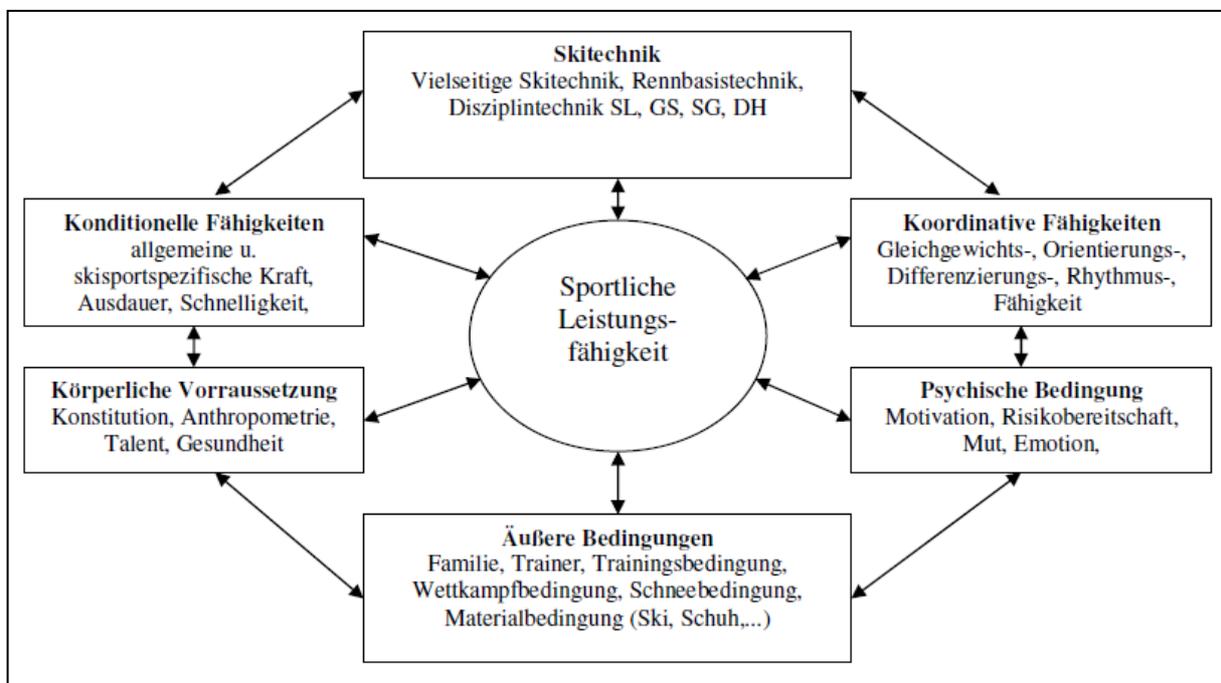


Abb. 2: Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit im alpinen Skirennlauf (verändert nach Pernitzsch & Staudacher, 1998, S. 6)

2.1.2 Konditionelle Anforderungen

Konditionelle Fähigkeiten werden als die energetischen Faktoren der Leistungsfähigkeit determiniert und lassen sich in Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer und Beweglichkeit unterteilen. Entsprechend des Ausprägungsgrades dieser Fähigkeiten wird der körperliche Zustand allgemein unter dem Begriff der Kondition bezeichnet, welchem einige Autoren außerdem die Flexibilität/Beweglichkeit zuordnen (Martin et al., 1991; Grosser, Starischka & Zimmermann, 2001). Die Kondition ist dabei ein Teil der motorischen Hauptbeanspruchungsform (Weineck, 2010) und bestimmt den muskulären Antrieb. Konditionelle Fähigkeiten werden auch als

Voraussetzungen für sportliche Bewegungen gesehen (Schnabel et al., 2008). Wie in Abbildung 3 dargestellt, wirken die einzelnen Fähigkeiten jedoch nicht isoliert, sondern in Verbindung mit allen anderen Fähigkeiten, wodurch sich differenzierte Bezeichnungen ergeben (Schnabel, et al., 2008). Die sportartspezifischen Fähigkeiten werden demnach von den im Wettkampf und Training entstehenden Beziehungen verursacht, die sich wiederum aus den Fähigkeitskomplexen und spezifischen, für die Sportart typischen Bewegungshandlungen, ergeben.

Weineck (2010) betont außerdem, dass diese von individuell unterschiedlichen, anatomischen und physiologischen Voraussetzungen abhängig sind. Laut ihm treten die konditionellen Fähigkeiten somit in den wenigsten Fällen in Reinform auf. Vielmehr sind sie nach Stiehler, Konzag und Döbler (1988) in den meisten Sportarten, vor allem aber in Spilsportarten, Vorbedingungen für technische, taktische und psychische Leistungen im Wettkampf und besitzen einen so genannten Voraussetzungscharakter. Die konditionellen Fähigkeiten bestimmen demnach den Ausprägungsgrad der Technik mit, was auch für den alpinen Skisport zutreffend ist und in den folgenden Kapiteln näher erläutert wird.

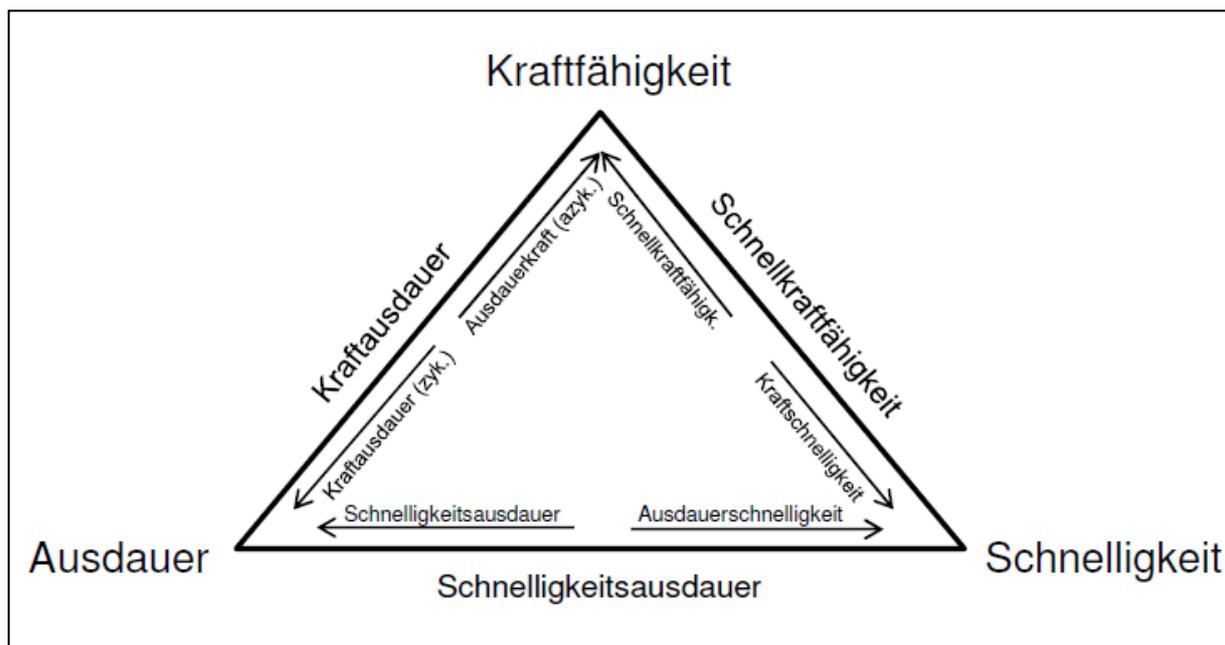


Abb. 3: Beziehungen zwischen den konditionellen Fähigkeiten; außen: gültige Oberbegriffe für kombinierte Fähigkeiten; innen: differenzierte Bezeichnungen nach der dominanten Fähigkeit (Schnabel, Harre & Krug, 2008, S. 156)

Betrachtet man Messergebnisse sportwissenschaftlicher Untersuchungen im alpinen Skisport, so lässt sich logischerweise feststellen, dass zwischen auftretenden Belastungen im Leistungssport und Breitensport erhebliche Unterschiede bestehen. Daraus folgend ergeben sich entsprechende Abweichungen im sportmotorischen Anforderungsprofil bezüglich der konditionellen Fähigkeiten. Des Weiteren ist die Ausprägung der Faktoren im

alpinen Rennsport disziplinspezifisch abhängig (Impellizzeri et al., 2009), beziehungsweise wird deren Beanspruchung im Breitensport von der Intensität des Skifahrens verursacht, was durch Ergebnisse zahlreicher Studien belegt werden kann.

Der traditionelle Skirennsport ist durch vier verschiedene Disziplinen gekennzeichnet, deren Unterteilung in Slalom (SL), Riesenslalom (RS), Superriesenslalom (SG) und Abfahrt (DH) erfolgt. Dementsprechend entsteht eine Belastungsdauer von ca. 90 Sekunden im Riesenslalom und Slalom oder bis zu 2 Minuten in der Abfahrt (Ferguson, 2010), demzufolge unterschiedliche physiologische Anforderungen an den Athleten gestellt werden. Uneinig sind sich die Autoren in der Vergangenheit allerdings darüber gewesen, welche der konditionellen Fähigkeiten dabei leistungsbestimmend sind. Karlsson (1978) beispielsweise wies die aerobe Ausdauer als wichtigsten konditionellen Faktor aus, worauf auch Neumayr und Kollegen (2003) in neueren Untersuchungen verweisen. Bei der Untersuchung von 28 männlichen und 20 weiblichen Athleten des österreichischen Nationalteams über den Zeitraum von 1997 bis 2000 konnte er einen Zusammenhang zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) und dem Rang in der FIS Worldcupliste in den Disziplinen Abfahrt und Super-G nachweisen. Dieser bestand allerdings nur bei männlichen Athleten (Neumayr et al., 2003) und konnte nicht bei den Disziplinen Slalom oder Riesenslalom gezeigt werden. Da auch durch andere Studien (Haymes & Dickinson, 1980; Brown & Wilkinson, 1983; White & Johnson, 1991) kein signifikanter Unterschied in der aeroben Leistungsfähigkeit bei Probanden verschiedener Leistungslevel festzustellen ist, kann in der Schlussfolgerung kein ausreichender Beweis für die außerordentliche Wichtigkeit der Ausdauer im unmittelbaren Zusammenhang mit erreichten Platzierungen bei Rennen gegeben werden. Die individuelle Leistungsfähigkeit ist demnach davon nicht abhängig, was auch Impellizzeri und seine Kollegen (2009) protokollierten. Dennoch gibt Neumayr et al. (2003) in seinen Ausführungen die Bedeutung der aeroben Ausdauer unter weiteren Aspekten als sehr wichtig an. So wird folglich die Regenerationsfähigkeit durch eine gute aerobe Ausdauerfähigkeit verbessert, die vor allem zwischen den einzelnen Trainingsfahrten von Bedeutung ist, aber auch die Leistungsfähigkeit während einer Saison erhöht. Besonders durch ein intensives Training in den Sommermonaten werden durch Trainingsumfänge von 6 bis 7 Stunden pro Woche im Grundlagenausdauerbereich Ausdauerwerte von 4,3 W/kg ($VO_{2max} = 56$ ml/kg/min) von weiblichen beziehungsweise 4,7 W/kg ($VO_{2max} = 60$ ml/kg/min) von männlichen Athleten erreicht (Neumayr et al., 2003).

In der Diskussion über leistungsbestimmende konditionelle Faktoren kommen unter anderem Brown und Wilkinson (1983), Tesch (1995) oder Maffiulletti et al. (2006) zu konträren Ergebnissen. Laut den Autoren ist nicht die aerobe sondern die anaerobe Ausdauerfähigkeit in Verbindung mit einem hohen Niveau an isometrischer und isokinetischer Muskelkraft leistungsbestimmend. Die Bedeutung anaerober Energiebereitstellung wird laut Tech (1995)

anhand der hohen Laktatproduktion während der Belastung sichtbar. Die Arbeitsgruppe um Veicsteinas (1984) konnte im Riesenslalom beispielsweise Laktatwerte von 10 ± 2 mmol/l oder im Slalom von 14 ± 2 mmol/l messen, als sie Mitglieder der italienischen Nationalmannschaft in den beiden Disziplinen verglichen. Neumayr und seine Kollegen (2003) geben sogar Spitzenwerte von 15 mmol/l Blut an.

Auch Vogt et al. (2000) konstatieren dass der alpine Leistungssport durch hochintensive Belastungen von rund 60 Sekunden Dauer gekennzeichnet ist und die Energiebereitstellung größtenteils über den Kohlenhydratstoffwechsel erfolgt. Untersuchungen in diesem Zusammenhang ergaben bei Trainingsläufen des Schweizer Slalomteams ebenfalls einen sehr hohen Laktatwert von über 10 mmol/l im Blut. Die Bedeutung der anaeroben Energiebereitstellung wurde vor allem daran sichtbar, da die Laufzeit nur 25 – 45 Sekunden betrug und die durchschnittliche Erholung 17 Minuten zwischen den Trainingsläufen lang andauerte. Bei der Analyse zahlreicher Parameter im alpinen Rennsport wird deutlich, dass hohe Kräfteinsätze wiederkehrend, schnellkräftig realisiert werden müssen und somit die Kraftausdauer verbunden mit Schnelligkeitsleistungen als dominierende Komponente der konditionellen Fähigkeit gesehen werden kann (Rieder, 1998). Ziel ist es in einem Wettkampf die vorgegebene Strecke schnellst möglich zu bewältigen, was im Techniktraining mehrfach hintereinander mit einer Belastungszeit von 45 Sekunden bis 2 Minuten durchgeführt wird. Unterbrochen durch Pausenzeiten von ca. 30 Minuten erfolgt die Energiebereitstellung nach Veicsteinas et al. (1984) somit zu 40 % anaerob glykolytisch, was auch die Arbeitsgruppe um Neumayr (2003) angibt.

Laut Veicsteinas und Kollegen (1984) ist die hohe Intensität des alpinen Skilaufs bei Leistungssportlern ebenso anhand der hohen erreichten maximalen Herzfrequenz von 180 ± 9 Schlägen pro Minute am Ende des Laufes sichtbar, was auch die Forschungsgruppe um Tech durch die Messung des Sauerstoffverbrauchs bereits 1978 publizierte. In einem Vergleich erreichten Topathleten beim Riesenslalom 90 % ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), dagegen weniger leistungsorientierte Skifahrer nur 65 – 75 % VO_{2max} . Durch die hohe muskuläre Aktivität muss somit auf anaerobe Energieressourcen zurückgegriffen werden, was auch auf Grund der gemessenen Laktatkonzentrationen von 6 – 13 mmol/l im Blut sichtbar wird. Auch weitere Autoren um Seifert (2001) konnten dies bestätigen. Athleten erreichten bei deren Messungen sogar 87 – 95 % ihrer maximal möglichen Herzfrequenz. Impellizzeri et al. (2009) geben allerdings in diesem Zusammenhang zu bedenken, dass die Ergebnisse der angesprochenen Autoren nicht eindeutig interpretierbar sind. Zwar sind beispielsweise bei Brown und Wilkinson (1983) Unterschiede zwischen Athleten von nationalem und Clubniveau signifikant, allerdings nicht bei Athleten mit nationalem und internationalem Niveau. Ihrer Meinung nach sei es dementsprechend schwierig einzelne physiologische Faktoren als leistungsbestimmend

anzusehen. Zu dieser Feststellung kommt auch Tech bereits 1995 in seiner Zusammenfassung. Im Ergebnis der Literaturrecherche gibt er an, dass neben der Inanspruchnahme aerober und anaerober Energiebereitstellung der alpine Rennsport zudem durch hohe Kraftfähigkeiten während exzentrischer Muskelarbeit gekennzeichnet ist. Auch neueste Untersuchungen von Scherr et al. (2011) belegen, dass eine eindeutige Dominanz einzelner konditioneller Fähigkeiten als alleiniger leistungsbestimmender Faktor aktuell wissenschaftlich nicht nachweisbar ist. Bei der umfangreichen Untersuchung deutscher Kaderathleten in einer sowohl Längs- als auch Querschnittsanalyse konnte lediglich ein positiver Einfluss der fettfreien Masse und der Höhe der Ferritinwerte (Eisen- Proteinkomplex) auf die sportliche Leistungsfähigkeit gezeigt werden. Ein Zusammenhang zwischen aerober und anaerober Leistungsfähigkeit und dem Erfolg, wie er teilweise von anderen Autoren angegeben wird, konnte nicht wissenschaftlich begründet werden.

Im Resümee der Untersuchungsergebnisse oben genannter sportwissenschaftlicher Forschungsarbeiten können die Autoren somit keine eindeutigen Aussagen zu leistungsbestimmenden Faktoren machen, da es sich nach ihren Angaben um eine sehr komplexe Sportart handelt. Berücksichtigt werden muss in diesem Zusammenhang, dass die festzustellenden Differenzen in den Ergebnissen durch unterschiedliche Erhebungsjahre begründet sein könnten. Eine wesentliche Weiterentwicklung der Sportart und der Messverfahren könnten die auftretenden Belastungen und konditionelle Anforderungen ebenso verändert haben. Insbesondere durch den Wandel der Skitechnik und der damit verbundenen Athletisierung sind die Ergebnisse daher aus unterschiedlicher Sichtweise zu betrachten.

Im Breitensport nimmt dagegen die aerobe Ausdauerfähigkeit einen höheren Stellenwert ein, da vor allem die Belastungszeiten wesentlich länger sind als im Leistungssport. So benötigten Probanden bei sportwissenschaftlichen Untersuchungen je nach Skitechnik für eine Strecke von 1400 m zwischen 4:15 – 5:28 Minuten (Scheiber et al., 2009) und waren damit wesentlich länger unterwegs als es Leistungssportler auf vergleichbarer Streckenlänge sind. Die Dauer und die Intensität der Belastung werden bei Freizeitskifahrern somit hauptsächlich durch die Streckenlänge und die zu überwindende Höhendifferenz bestimmt. Je nach Entfernung, die sich meist durch Liftaus- und Einstieg ergibt, werden Fahrzeiten von ca. 5 Minuten erreicht (Schreiber et al., 2009; Thiel et al., 2007). Die Energiebereitstellung erfolgt daher vorwiegend aerob. Die Ergebnisse von Rosenhagen und Kollegen (2009) zeigen, dass Skifahrer sich im Tagesverlauf zu 61 % der Gesamtfahrzeit mit einer Intensität von unter 40 % ihrer maximalen Herzfrequenz bewegen und lediglich 15 % mit einer Herzfrequenz von über 60 %. Die Teilnehmer der Studie absolvierten einen normalen Skitag und waren Skifahrer im Alter von 25,7 (\pm 2,3) Jahren mit mittlerem skifahrerischen Können.

Auch die Arbeitsgruppe um Burtschner (2005) kam bei der Untersuchung älterer Freizeitskifahrer zu dem Ergebnis, dass beim Skilauf mit moderater Intensität nur geringe kardiorespiratorische und metabolische Belastungsreaktionen hervorgerufen werden. Anhand der Mittelwerte der Herzfrequenz von 127 Schlägen pro Minute bei einer Blutlaktatkonzentration von 3,1 mmol/l war dies erkennbar. Allerdings stellten sie fest, dass bei steigender Intensität mit erhöhten Belastungsreaktionen des Körpers zu rechnen ist. Die Herzfrequenz stieg allerdings lediglich auf den Mittelwert von 162 Schlägen pro Minute, bei dem ein Laktatwert von 5,5 mmol/l gemessen wurde. Anhand dieser erhaltenen physiologischen Werte lässt sich demzufolge erkennen, dass die Bewegungen mit geringerer Intensität ausgeführt wurden und die Höhe der Belastungen von mehreren Einflussgrößen abhängig ist.

Weiterhin zeigten auch ältere ($62 \pm 4,5$ Jahre) Freizeitskifahrer bei der Untersuchung von Scheiber et al. (2009) je nach Intensität des Skifahrens unterschiedliche Belastungsreaktionen des Herzkreislaufsystems. Die Mittelwerte der Herzfrequenzen differierten von $66 \pm 8,2$ % an Tagen mit geringer Intensität und $73 \pm 8,6$ % bei hoher Intensität. Gemessen wurde dies im Verhältnis ihrer maximal möglichen Herzfrequenz, deren Ergebnisse in Abbildung 4 zu sehen sind. Die maximale Herzfrequenz bezieht sich dabei auf die Formel 220 minus Lebensalter. Gesteuert wurde die Belastungsintensität über konstant bleibende, zu überwindende Höhenmeter bei unterschiedlicher Streckenlänge, die zudem mit zwei verschiedenen Skitechniken befahren wurden. Die Anwendung der herkömmlichen parallelen Skitechnik sowie der Carvingtechnik wurde dabei durch einen Experten genauso beobachtet wie das Einhalten einer konstanten Fahrgeschwindigkeit.

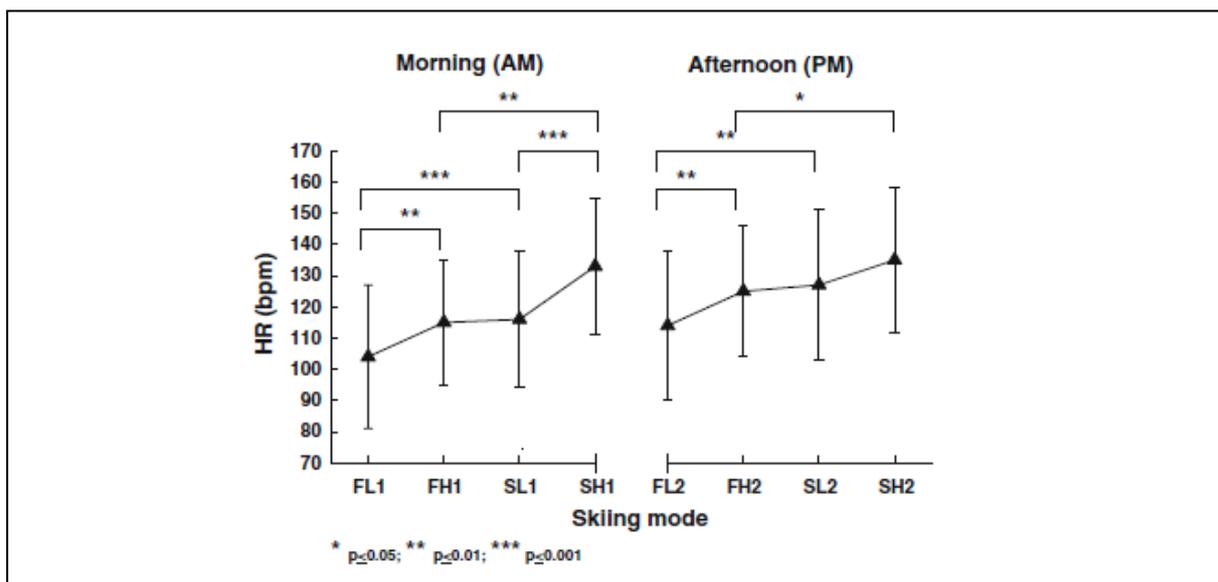


Abb. 4: Herzfrequenzen bei verschiedenen Pistenbedingungen und Geschwindigkeiten bei 2 Messzeitpunkten (Scheiber et al., 2009, p. 554)

Deutlich zu erkennen ist dabei in der Abbildung die signifikante Erhöhung der Herzfrequenz bei einer steilen Abfahrt mit hoher Intensität (SH) gegenüber dem Fahren auf flacher Piste mit geringer Intensität (FH). Bei geringerer Intensität führen die Probanden mit der herkömmlichen parallelen Skitechnik. Die Carvingstechnik wurde bei hoher Intensität angewendet, wobei zusätzlich die Parameter von Vormittag und Nachmittag miteinander verglichen wurden.

Auch Karlsson stellte bereits 1978 bei jungen Freizeitskifahrern Unterschiede in den Belastungsreaktionen fest. Auf Grund unterschiedlicher Fitnesszustände erreichten die Probanden bei gleicher Fahrgeschwindigkeit, welche durch einen Skilehrer vorgegeben wurde, unterschiedliche Werte von 61 – 77 % ihrer maximal möglichen Herzfrequenz. Mit einem Maximalwert von 81 % der höchst möglichen Herzfrequenz und einem Laktatwert von 6,0 mmol/l Blut (Scheiber et al., 2009) wurden allerdings selbst bei hoher Intensität nicht die Belastung gemessen, welche bei alpinen Skirennfahrern auftraten. Auch die Forschungsgruppe um Kahn (1993) legte dies bei ihren Untersuchungen dar. Die Skifahrer im Alter von 51 ($\pm 1,3$) Jahren erreichten Herzfrequenzen von durchschnittlich 70 – 78 % ihrer maximal theoretischen Herzfrequenz und Spitzenwerte im Tagesverlauf von 77 – 85 %. Die kardiorespiratorische und metabolische Belastung des Körpers wird dementsprechend durch die Auswahlmöglichkeit unterschiedlich schwieriger Pisten oder durch Veränderung der Fahrgeschwindigkeit an das individuelle Leistungsniveau angepasst (Krautgasser et al., 2009). Durch die Auswahlmöglichkeiten konnten selbst ältere Skifahrer die Belastung als moderat einschätzen und machten dementsprechend Angaben im unteren Drittel der Borgskala.

Im Skisport werden abhängig von der Pistenwahl allerdings nicht nur kardiorespiratorische und metabolische Belastungsreaktionen des Körpers verursacht, sondern auch auftretende Maximalkraftwerte. Im Breitensport ist die Kenntnis der Kennwerte vor allem für die Analyse entstandener Verletzungen wichtig, um etwaige Verletzungsprophylaxe betreiben zu können. So zeigen Forschungsergebnisse von van den Bogert und Kollegen (1999), dass im alpinen Skilauf die Belastung des Hüftgelenks von der Gegebenheit des Geländes abhängig ist. Im steilen Gelände können so bei kurzen Schwüngen Belastungen auftreten, die das 7,8-fache des Körpergewichts betragen, was laut den Autoren bei der Wahl der Piste berücksichtigt werden sollte. Untersuchungsergebnisse von Müller (1986) machen deutlich, dass auftretende Maximalkräfte zudem von der Fahrgeschwindigkeit beeinflusst werden. Bei der Untersuchung wurden von 21 staatlich geprüften Skilehrern und 6 Jugendlichen (12 – 14 Jahre) verschiedene Skitechniken im unterschiedlichen Gelände absolviert und die dabei auftretenden Belastungen gemessen. Anhand der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass die höchsten Kräfte im steilen und zugleich eisigen Hang erzielt werden. Die durchschnittlich gemessenen Gesamtkräfte lagen bei 160 % des Körpergewichts. Die Werte unterschieden

sich von denen im steilen Gelände und griffigerer Piste. Bei diesen Verhältnissen wurden immerhin Belastungen von 140 % im Verhältnis zum Körpergewicht erreicht, die damit im Vergleich zur flachen Piste und griffigen Bedingungen mit knapp über 100 % des Körpergewichts immer noch recht hoch waren.

Bei der Betrachtung femorpatellarer Gelenksbelastung wurden in einer darauf folgenden Untersuchung von Müller (1986) 10 staatlich geprüfte Skilehrer beim Befahren einer Wellenbahn mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten als Beispiel für die skilaufspezifische Beanspruchung des menschlichen Stütz- und Bewegungsapparates analysiert. Im Ergebnis zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit der Gelenk- und Bodenreaktionskraft von der Fahrgeschwindigkeit. Die berechneten Werte waren bei Fahrten mit hoher Geschwindigkeit im femoropatellarem Gelenk mit 18970 N um 75 % größer als bei langsamer Fahrt. Die durchschnittlich gemessenen maximalen Bodenreaktionskräfte lagen zudem mit 1932 N um 65 % höher als die Werte, die bei langsameren Geschwindigkeiten aufgetreten sind.

In einer weiteren Untersuchung dieser Arbeitsgruppe konnte Niessen (1998) bei einem professionellen Skirennfahrer (A-Kader DSV) sogar Werte von bis zu 3500 N diagnostizieren, die ebenso in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und zudem in Verbindung der Standhöhe des Athleten differierten. Werte höherer Kraftspitzen von bis zu 7000 N (Müller et al., 2002) stellen in diesem Zusammenhang allerdings Ausnahmen dar und konnten von weiteren Autoren nicht bestätigt werden. Bei der Analyse auftretender Bodenreaktionskräfte in der Disziplin Riesenslalom durch Krueger et al. (2006) wurden bei Athleten der deutschen Nationalmannschaft Werte von 2000 – 2500 N gemessen. Diese können entsprechend als vorwiegend auftretende Belastungen angesehen werden und bedingen somit erheblicher Muskelkraft. Um den Kräften entgegenwirken zu können ist der alpine Skirennläufer hauptsächlich durch hohe isokinetische Bein kraft gekennzeichnet. Berg und Eiken (1999) sprechen in diesem Zusammenhang von dominanter exzentrischer Arbeitsweise, da die Phase konzentrischer Kontraktion laut ihren Ergebnissen nur halb so groß war, wie die der exzentrischen Phase. Athleten internationalen Niveaus zeigen im Vergleich zu weniger guten Skirennläufern nationaler Klasse eine höhere Kraftfähigkeit, was Brown und Wilkinson (1983) feststellten. Tech (1995) gibt daher an, dass durch die Analyse zahlreicher Studien die Höhe der muskulären Kraft als eine ebenso entscheidende konditionelle Fähigkeit im alpinen Skisport angesehen werden kann, wie die der anaeroben beziehungsweise aeroben Ausdauer. Im Vergleich der vorliegenden Messergebnisse muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Autoren teilweise unterschiedliche Methoden in der Datenerhebung verwendeten. Krüger et al. (2006) nutzte beispielsweise bei seinen Messungen ein Sohlenmesssystem „Parotec“ der Firma Paromed®, Germany (Abbildung 5) und Niessen (1998) die Biegebalkentechnik, die er an unterschiedlichen Bereichen des Schuhs aufklebte.

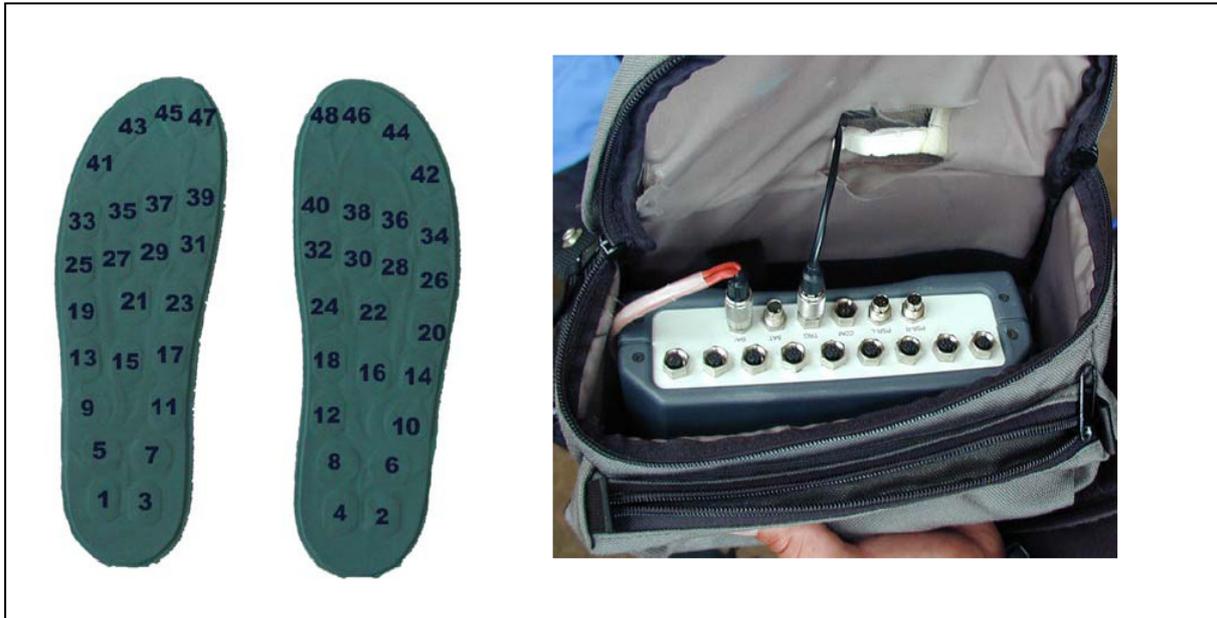


Abb. 5: Messsohlen Parotec der Firma Paromed® Germany mit Datenlogger (Spitzenpfeil & Hartmann, 2004, S.344)

Die Arbeitsgruppe um Müller (1986) erhob die Daten dagegen mit einer speziellen Skimessbindung, so dass auch auf Grund der Systeme Abweichungen in den Parametern entstanden sein könnten. Das Wissen über Maximalbelastung durch die gewonnenen Ergebnisse spielt vor allem im Leistungssport bei der Festlegung zu trainierender konditioneller Fähigkeiten eine Rolle, da diese besonders in der Vergangenheit weitestgehend unbekannt waren.

Während bei vielen der bereits betrachteten Untersuchungen die Analyse aus trainingswissenschaftlicher Sicht im Vordergrund stand oder aber auch Probanden mit höherem Leistungsniveau (staatlich geprüfte Skilehrer) untersucht wurden, veröffentlichten Brüggemann et al. (1992) Messdaten von Versuchspersonen mit unterschiedlichem skitechnischen Niveau. Die Ergebnisse sind somit für den Breitensport relevant. Im Vergleich zu Skiläufern mit hohem technischen Niveau, welche ebenfalls hohe Maximalwerte von 2600 N erreichten, war bei Anfängern mit ca. 1000 N eine deutlich geringere Bodenreaktionskraft zu verzeichnen (Abbildung 6). Bei Vorgabe gleicher Schwungradien wird außerdem ersichtlich, dass entsprechend der konditionellen Leistungsfähigkeit unterschiedliche physiologische Belastungsreaktionen bei den Probanden hervorgerufen werden. So kommt es beispielsweise bei technisch gut fahrenden und trainierten Personen zu einer geringeren Laktatbildung, obwohl die gemessenen Bodenreaktionskräfte wesentlich höher sind. Auffällig zeigten sich daher die Messgrößen des 78-jährigen Skifahrers, der trotz guter Skitechnik hohe Herzfrequenz- und Laktatwerte erreichte. Da die Bodenreaktionskraft relativ gering gewesen ist, wird so eine deutliche Abhängigkeit der körperlichen Belastung vom Ausprägungsgrad der konditionellen Fähigkeiten offensichtlich.

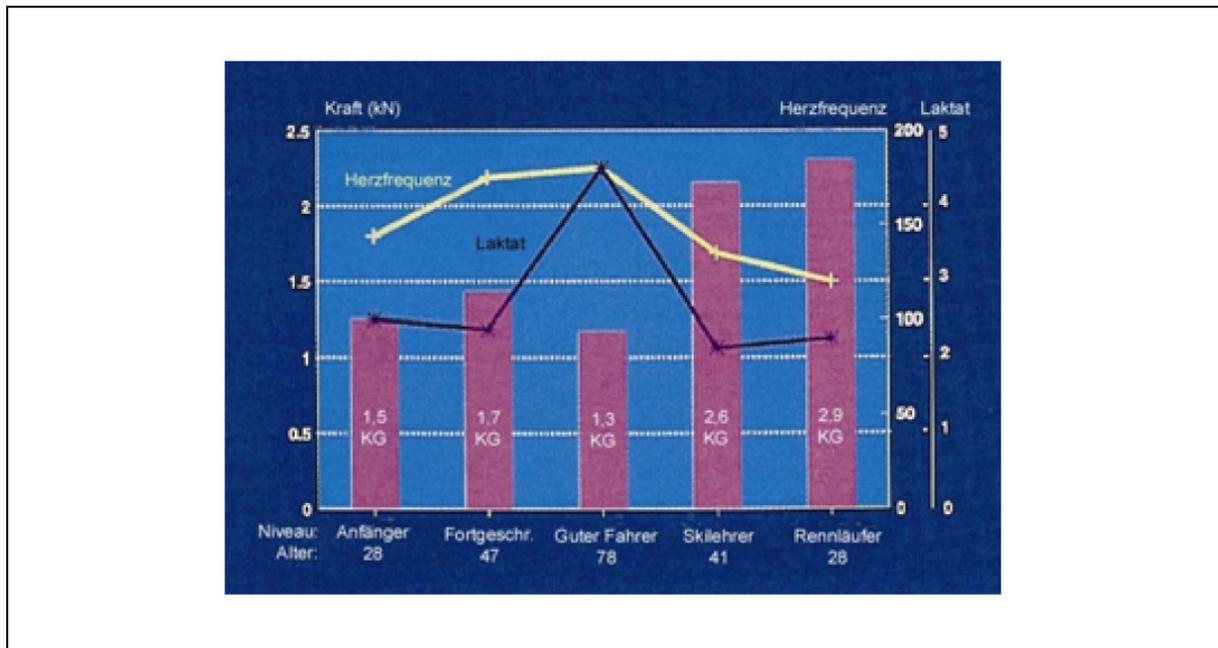


Abb. 6: Bodenreaktionskräfte (Balken), Herzfrequenz (helle Linie), u. Blutlaktatkonzentration (schwarze Linie) bei unterschiedlichen Fahrertypen (Brüggemann et al., 1992, S. 45)

Eine ebenso breitensportlich orientierte Untersuchung führte die Arbeitsgruppe um Lafontaine (1998) mit international zertifizierten kanadischen Skilehrern durch. Die Ergebnisse weisen im Vergleich zu Spitzenathleten ebenfalls geringere Bodenreaktionskräfte auf, die zudem von der gefahrenen Skitechnik abhängig sind. Bei normaler paralleler Fahrweise wurden Durchschnittswerte von ca. 650 – 750 N gemessen, dagegen bei sportlicher Fahrt, welche in riesenslalomähnliche und kurze Radien unterteilt wurden, Werte von ca. 700 – 800 N. Im Verhältnis zu Resultaten leistungssportlich orientierter Messungen, bei denen Kennwerte von durchschnittlich 2500 N auftreten, sind auch die erhaltenen Maximalkräfte von 958 N bei dynamisch paralleler Fahrweise und 1481 N bei kurzen Radien wesentlich geringer. Demzufolge kann bei Normalskifahrern von geringeren Kräften ausgegangen werden. Auch Ducret und Kollegen (2005) stellten dies fest als sie Anfänger und gute Skifahrer gleichen Körpergewichts miteinander verglichen. Auf der Teststrecke waren die gemessenen Bodenreaktionskräfte bei guten Skifahrern im Durchschnitt doppelt so groß und erreichten Spitzenwerte von annähernden 4000 N. Die Personen bewältigten die vorgegebene Strecke zudem in einer wesentlich kürzeren Zeit.

Bei Betrachtung der gemessenen Kräfte wird deutlich, dass die Belastungen häufig über alltäglichen Normalbelastungen liegen können, was auch für weniger gute Skifahrer zutreffend ist. In Abhängigkeit des Kniewinkels sind die Bandstrukturen des Knies daher vor allem bei unvorhergesehenen Situationen einem erheblichen Verletzungsrisiko ausgesetzt. Weiterhin zeigen sich die auftretenden Kraftwerte in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit im Verhältnis zum Kurvenradius, so dass der Fahrer selbst durch Änderung

der Fahrgeschwindigkeit oder des Kurvenradius auftretende Belastungen verringern, d. h. steuern kann. Laut Tutz (2004) lässt sich bei Vernachlässigung des Luftwiderstandes die auftretende Kraft durch die Masse des Skifahrers mal dem Schwungradradius, geteilt durch die Fahrgeschwindigkeit berechnen, wobei die Fahrgeschwindigkeit quadratisch in die Berechnung eingeht. Dementsprechend müsste bei Steigerung der Geschwindigkeit der Schwungradradius größer gefahren werden, um die Belastung nicht zu erhöhen, was Abbildung 7 verdeutlicht.

Die zunehmende Verkleinerung der Kurvenradien während der Schwungsteuerphase, wie sie durch die Geometrie moderner Carvingski möglich wird, bewirkt eine Zunahme auftretender Belastungen, was auch Mösser et al. (1997) oder Müller et al. (2005) in ihren Untersuchungen belegen konnten. Kommt es außerdem zu einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit, treten laut Raschner et al. (2001) im Breiten- und Freizeitsport Kräfte auf, die in vielen Fällen höher sind, als die vom Skifahrer willentlich aufbringbaren Muskelkräfte. In der Endkonsequenz kann dies zum Sturz führen. Die Arbeitsgruppe um Müller (2005) sieht diesbezüglich vor allem die großen Taillierungen aktuell erhältlicher Ski als problematisch, da durch diese auch von weniger guten Skifahrern hohe Kurvengeschwindigkeiten erreicht werden können.

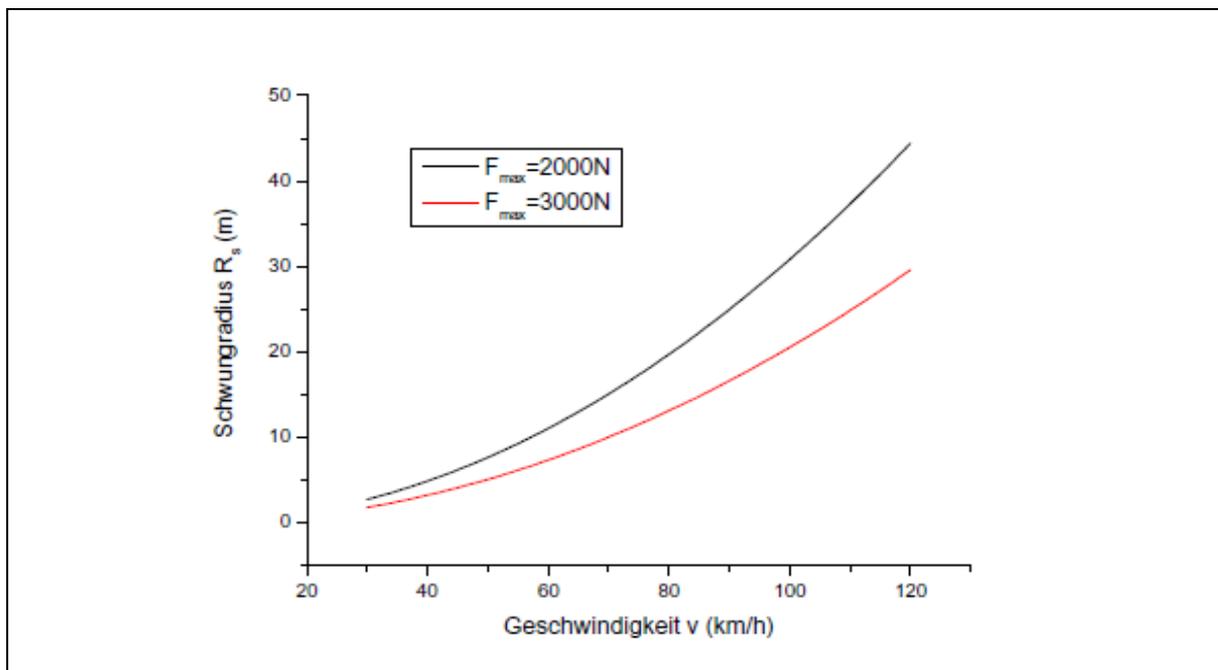


Abb. 7: Schwungradradius R_s als Funktion der Geschwindigkeit v bei verschiedenen Maximalbelastungen F_{max} (angenommene Masse des Skiläufers 80 kg) (Tutz, 2004, S. 8)

Um Extremwerte einzugrenzen oder reduzieren zu können ist daher beispielsweise bei Wettkämpfen eine Beschränkung der Taillierungen je Disziplin durch den Internationalen Skiverband vorgegeben. Derartige Regularien gibt es allerdings im Breitensport nicht. In dem Zusammenhang geben die Autoren zu bedenken, dass eine gute Technik nur von Personen ausgeführt werden kann, die über gute konditionelle Voraussetzungen verfügen. Eine gute Skitechnik ist laut ihnen an einer geschnittenen Schwungsteuerung erkennbar.

Im Vergleich zur herkömmlichen Skitechnik ist zudem nachweisbar, dass einwirkende Belastungen bei der Carvingstechnik beidbeinig gleichverteilt auftreten. Eine Hauptbelastung des Außenskis wie sie bei der althergebrachten Skitechnik erfolgt, ist nicht sichtbar (Raschner et al., 2001). Die auftretenden Maximalkräfte differieren dabei bei beiden Skitechniken in ihrer Höhe nicht wesentlich voneinander, treten aber bei der geschnittenen Schwungsteuerung annähernd in gleicher Höhe auf beiden Beinen auf, wie es in Abbildung 8 nach Mathelitsch und Thaler (2006) dargestellt ist. In der Interpretation vorliegender Studien muss außerdem festgestellt werden, dass sich die Höhe auftretender Kräfte auch von der Skitechnik abhängig zeigt.

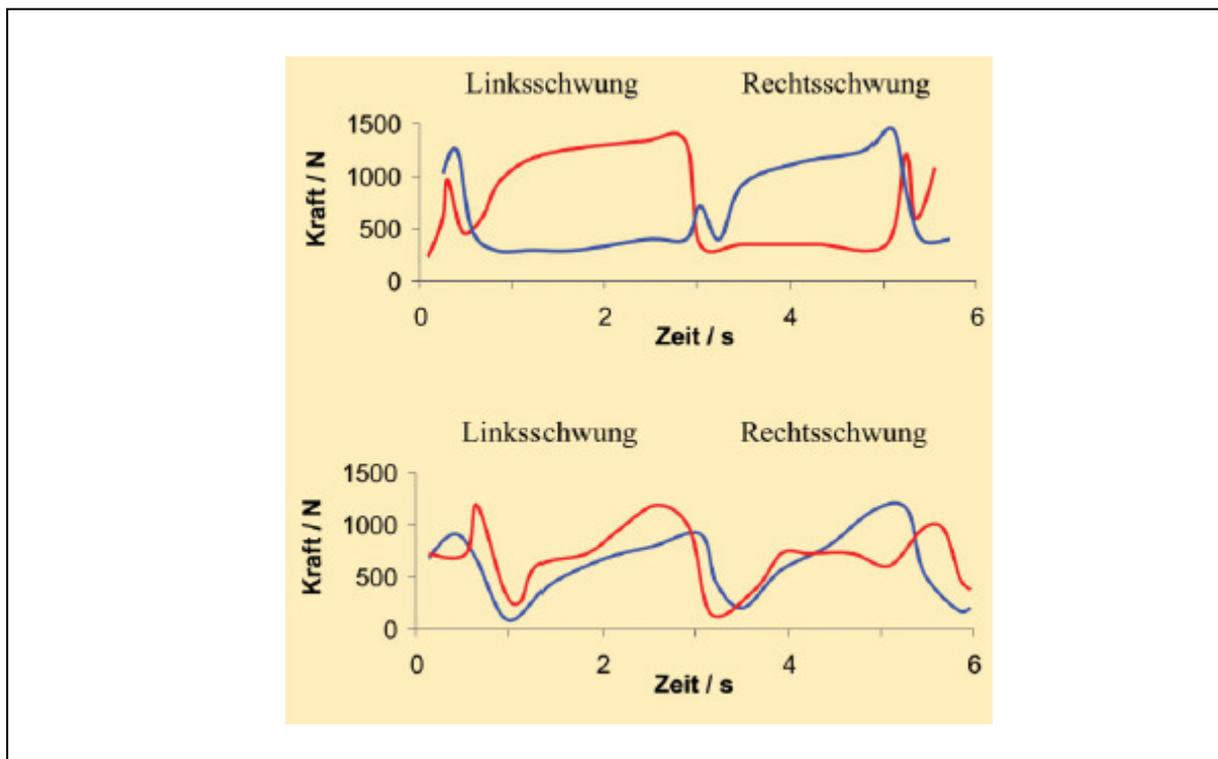


Abb. 8: Auftretende Belastungen bei Vergleich herkömmlicher Skitechnik (oben) und Carvingstechnik (unten) (Mathelitsch & Thaler, 2006, S. 43)

Der Carvingschwung ist im Kraftverlauf zur gewöhnlichen parallelen Skitechnik verschieden und wird durch die wesentlich kürzere 2. Steuerphase gekennzeichnet. Nach dem Kantenwechsel erfolgt eine stetig steigende Erhöhung der Bodenreaktionskräfte, ehe ein erneuter Kantenwechsel einen Richtungswechsel auslöst. Demgegenüber wird die Kurvensteuerung bei der parallelen Skitechnik mit annähernd gleich bleibender Belastung am Außenski gefahren, da die Richtungsänderung mit zur Falllinie eher quer stehendem, rutschendem Ski erfolgt. Die steigenden Kräfte beim Carvingschwung resultieren dagegen aus einer zunehmenden Richtungsänderung beziehungsweise durch das Herausfahren aus der Falllinie, was vor allem in der letzten Schwungphase stattfindet. Die eigentliche Steuerphase ist demzufolge kürzer, was Müller und Schwameder (2003) als Ergebnis beim Vergleich beider Techniken konstatieren.

Die Explosivität dieser Bewegung ist dabei vor allem im Wettkampf ein entscheidender Faktor, da der Athlet durch die kürzere Zeitdauer der eigentlichen Richtungsänderung weniger Geschwindigkeitsverluste erfährt. In der durch schnellkräftige Bewegung hervorgerufenen möglichst kurzen Steuerphase der Ski wird somit auch die Bedeutung der Schnellkraft im sportmotorischen Anforderungsprofil vor allem bei alpinen Skirennfahrern deutlich (Burtschner et al., 2008). Laut Tech (1995) können die alpinen Skidisziplinen besonders anhand der permanenten und schnellst möglichen Reaktionsvorgänge während hoher Geschwindigkeiten als explosive Sportarten eingeordnet werden. Athleten internationalen und nationalen Niveaus unterschieden sich beispielsweise signifikant in der erreichten Leistung beim vertikalen Sprungtest, der in der Studie von White und Johnson (1991) neben einer ganzen Reihe von weiteren Messungen mit amerikanischen Skirennläufern unterschiedlicher Leistungsniveaus durchgeführt wurde. Nach Karlsson (2005) kann jedoch eine Dominanz schnell kontrahierender Muskelfasertypen bei erfolgreichen Sportlern nur angenommen, nicht aber bewiesen werden. Im Vergleich zu früheren Jahrzehnten, wo überwiegend langsam kontrahierende Muskelfasertypen auftraten, liegen aktuell keine publizierten Daten vor. Im Breitensport ergeben sich ebenso Leistungsunterschiede in den Schnelligkeitsleistungen unterschiedlicher Probandengruppen. Vater (2003) stellte demzufolge bei guten Skifahrern eine geringere Kontaktzeit beim 60 Sekunden Winkelsprungtest fest, als bei weniger guten Skifahrern und Seniorensportlern, die er im Rahmen kardiorespiratorischer und metabolischer Kenngrößen alpiner Skiläufer untersuchte. Der Mittelwert der Kontaktzeit bei Berufsskil Lehrern war mit $0,16 \pm 0,01$ s signifikant geringer als der von Freizeitsportlern, welcher bei $0,22 \pm 0,4$ s lag und jener der Seniorensportler, welche die längsten Kontaktzeiten von $0,37 \pm 0,13$ s aufwiesen. Allerdings kann diese konditionelle Fähigkeit bei Freizeitsportlern als weniger bedeutsam angesehen werden, da ein schneller Schwungwechsel nicht zwingend notwendig scheint und andere in diesem Kapitel genannte Faktoren gewichtiger wirken.

2.1.3 Koordinative Anforderungen

Zu den koordinativen Fähigkeiten werden in der Literatur hauptsächlich die personellen Leistungsvoraussetzungen gezählt, die den Prozess der Bewegungsregulation beeinflussen. Im Gegensatz zu den energetischen Komponenten, stellen die koordinativen Fähigkeiten verfestigte, jedoch verallgemeinerte und somit für eine ganze Reihe von Bewegungshandlungen elementare Leistungsvoraussetzungen dar. Die Klasse der motorischen Fähigkeiten wird vorrangig durch die Prozesse der Bewegungsregulation bedingt (Schnabel et al., 2008). Eine Systematisierung der einzelnen Fähigkeiten gestaltet sich allerdings recht umfangreich und zugleich schwierig, da keine allgemein akzeptierte Taxonomie der koordinativen Fähigkeiten in der Literatur vorliegt (Schnabel et al., 2008). Da dies auch nicht das Anliegen der vorliegenden Arbeit ist, wird an dieser Stelle auf weiterführende Literatur verwiesen und eine von zahlreichen Autoren vereinfachte Einteilung verwendet, die im folgendem Abschnitt näher erklärt wird. Die Gleichgewichtsfähigkeit gilt dabei als eine der fundamentalen und leistungsbestimmenden Fähigkeit im alpinen Skisport und bedarf daher einer umfangreicheren Betrachtung. In Anlehnung an Schnabel et al. (2003) und weiteren Autoren werden die koordinativen Fähigkeiten in folgende Einzelfähigkeiten unterteilt:

- Differenzierungsfähigkeit
- Orientierungsfähigkeit
- Gleichgewichtsfähigkeit
- Reaktionsfähigkeit
- Rhythmusfähigkeit
- Kopplungsfähigkeit
- Umstellungsfähigkeit

Allgemein kann festgestellt werden, dass der alpine Skisport durch ein hohes Niveau an koordinativen Fähigkeiten gekennzeichnet ist und die Güte der Bewegungssteuerung bzw. die Bewegungsregulation der alpinen Skitechnik vom Ausprägungsgrad jener abhängig ist. Wissenschaftlich fundierte Untersuchungsergebnisse sind allerdings für die meisten der Fähigkeiten nicht verfügbar, respektive nicht bekannt. Daher beziehen sich die wissenschaftlichen Betrachtungen im folgenden Abschnitt nach einem allgemeinen Teil, vordergründig auf die Gleichgewichtsfähigkeit, da sie auch wesentlicher Bestandteil durchgeführter Untersuchungen und Ansatzpunkt dieser Arbeit ist. Vor allem durch die sich ständig ändernden Bedingungen, auf Grund wechselnder Gelände- und Pistengegebenheiten, sind die koordinativen Fähigkeiten wesentlicher Bestandteil im Konstrukt der Leistungsvoraussetzungen dieser Sportart. Demzufolge ist zum Beispiel eine ausgeprägte räumliche Orientierungsfähigkeit notwendig ist.

Eine gute Orientierungsfähigkeit zeichnet sich dabei durch eine hohe Genauigkeit und Schnelligkeit der Orientierung im Raum, d. h. auf der Piste aus. Die Qualität kann an den nachfolgend ausgeführten Bewegungen gemessen werden. Der Vollzug der Bewegungen ist dabei wiederum von der Differenzierungsfähigkeit als weitere koordinative Fähigkeit abhängig, welche oft als das sogenannte Skigefühl beschrieben wird. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, Einzelbewegungen im Rahmen der Gesamtbewegung so abzustimmen. Es erfolgt somit eine Anpassung an die entsprechende Situation, was vor allem den Kanteneinsatz betrifft und Rieder (2003) als optimalen Kanteneinsatz bezeichnet. In Verbindung mit der Umstellungsfähigkeit wird zudem die Bedeutung der Differenzierungsfähigkeit beim Befahren unterschiedlich steiler Pisten oder bei unterschiedlichen Schneebedingungen deutlich. Der Skifahrer, egal ob breiten- oder leistungssportlich orientiert, zeichnet sich im Leistungsniveau dadurch aus, dass er sich durch diese Fähigkeit an unterschiedliche Bedingungen anpassen kann. Die Abstimmung erfolgt dabei durch verschiedene Teilbewegungen an die jeweiligen Situationen, was begrifflich als die Kopplungsfähigkeit bezeichnet werden kann. Laut skitechnischen Merkmalen (Deutscher Verband für Skilehrwesen e.V., 2007) sollte sich der Körperschwerpunkt je nach Geschwindigkeit und der gefahrenen Kurvenradien zum Kurvenmittelpunkt bewegen. Gleichzeitig bewegt sich der Oberkörper ausgleichend entgegen, um den Ski optimal belasten zu können.

D. h. Bewegungen der Unterschenkel, des Oberkörpers oder der Arme müssen als Gesamtbewegung auf das Ganze optimal abgestimmt werden, was im Endergebnis durch die Qualität der Kurvensteuerung oder des Kantenwechsels sichtbar wird. Die Aneinanderreihung der einzelnen Kurven wird dabei durch ein möglichst gutes Rhythmusgefühl des Skifahrers erzeugt, wodurch die Bewegung beziehungsweise die Fahrweise fließend, sportlich dynamisch erfolgt. Ein guter Rhythmus kann daher als weiteres skitechnisches Merkmal und Grundsatz für hochwertiges Kurvenfahren angesehen werden (Deutscher Verband für Skilehrwesen e.V., 2007). Bewegungen können somit rhythmisch und dem Kurvenverlauf angepasst ausgeführt werden.

Laut Loland (2009) ist es allerdings schwierig die Rhythmusfähigkeit im Rahmen der Analyse traditioneller Bewegungsregulation zu sehen, da sie vielmehr auf Erfahrungen basierend und ganzheitlich betrachtet werden muss. Rhythmisches Skifahren bezeichnet er daher als Intuition, welches sich oft ohne nachzudenken auf Grund von Bewegungserfahrungen entfaltet. In Anlehnung an Meinel und Schnabel (2004) sieht auch Loland (2009) daher die Rhythmusfähigkeit als sehr bedeutungsvoll an, wodurch die verschiedenen technischen Elemente der Einzelschwünge verkettet werden. Da aber der Skisport wie viele andere Sportarten wiederholende Bewegungsmuster aufweist, ist zudem die Aneinanderreihung der Kurven das, was den Bewegungsrhythmus kennzeichnet.

In anderen Worten ausgedrückt findet dem Autor zufolge eine Distanzierung der äußeren Betrachtungsweise hin zur inneren Perspektive statt, was durch die Grafik (Abbildung 9) verdeutlicht wird.

Der Rhythmus ordnet demzufolge die einzelnen Bewegungselemente wie Gleichgewicht, Gleitfähigkeit und Effektivität der Geschwindigkeits- und Richtungskontrolle in Zeit und Platz. Gleichzeitig ist er ein Hauptelement alpiner Skitechnik (Loland, 2009) im Rahmen der koordinativen Fähigkeiten. Die Annahmen beruhen allerdings nur auf theoretischen Denkweisen, da eine Untermauerung des Modells durch eine sportwissenschaftliche Studie nicht durchgeführt wurde.

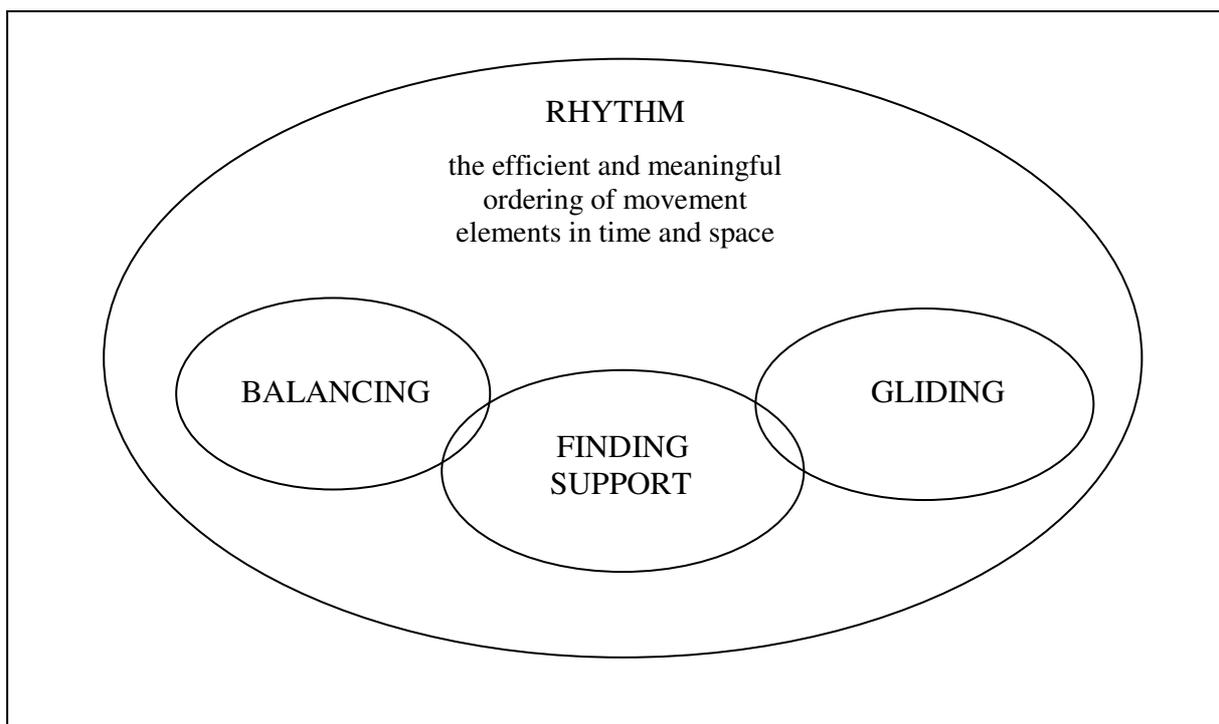


Abb. 9: Model der Hauptelemente alpiner Skitechnik (Loland, 2009, p. 53)

In der Vielzahl der aufgeführten und durchzuführenden Bewegungen wird deutlich, dass sich die Ski fahrende Person in ständigen Anpassungs- und Regelprozessen befindet, wobei für die Fahrtechnik die Aufrechterhaltung des dynamischen Gleichgewichts als wichtigste Regelgröße angegeben wird (Fetz, 1987; Mester, 1997). Im Idealfall wird diese in allen Schwungphasen aufrechterhalten (Loland, 2009).

Bei der Betrachtung koordinativer Fähigkeiten steht somit die Gleichgewichtsfähigkeit im Mittelpunkt, da der Skifahrer durch kleinräumige Ausgleichsbewegungen ständig bestrebt ist, einen Gleichgewichtszustand in allen drei Ebenen herzustellen (Pernitsch & Staudacher, 1998). Die Anforderungen an die biologische Regulation durch permanent auftretende räumliche Veränderungen sind dabei äußerst komplex. Die Gleichgewichtsfähigkeit nimmt demnach eine besondere Rolle unter den koordinativen Fähigkeiten ein, was so auch von

zahlreichen weiteren Autoren konstatiert wird. Neben den bereits ausführlich diskutierten konditionellen Faktoren wird die Gleichgewichtsfähigkeit laut Scherr et al. (2011) daher als essentiell im Konstrukt der für die sportliche Leistung verantwortlichen Leistungsvoraussetzungen angesehen. Auch aus den Ergebnissen der Studie von Haymes und Dickinson (1980) konnte diese abgeleitet werden. Alle Athleten unterschiedlicher Skidisziplinen (Ski alpin, Ski nordisch, Nordische-Kombination) zeigten bei einem spezifischen Balancetest sehr gute Testresultate, so dass die Autoren dem Gleichgewicht eine wichtige Rolle bei jeder Skidisziplin zusprechen.

Die erwähnten Annahmen können als wissenschaftlich fundiert angesehen werden, da sie nicht nur von den beiden genannten Autoren formuliert wurden, sondern durch zahlreiche weitere Vergleichsstudien abgesichert sind. In den Gegenüberstellungen von Athleten unterschiedlicher Leistungsniveaus ergeben sich daher Differenzen in den Ergebnissen, was auch Mester (1997) konstatierte. Im Rahmen der Bewegungsregulation sieht er vor allem durch die Betrachtung der äußerlich wirkenden Kräfte so die Möglichkeit interne Regulationsvorgänge sichtbar zu machen. Durch die Frequenz beziehungsweise durch die Intensität der messbaren Bodenreaktionskräfte können über die Qualität der Kurvensteuerung daher Rückschlüsse gezogen werden, was vor allem für eine gecarvte Kurvensteuerung bedeutsam ist und in einer weiteren Untersuchung von ihm betrachtet wurde. Demnach gehen Spitzenpfeil und Mester (1997) von einer verminderten Kurvensteuerqualität aufgrund eines Fehlers im Regulationsvorgang aus der zu einem Rutschen der Ski führt. Je schneller derartige Fehler erkannt und diese ausgebessert werden können, umso besser scheint die Regulationsfähigkeit des Skifahrers ausgeprägt zu sein. Nach Meinung der Autoren sind somit die Qualität der sensorischen Verarbeitung sowie die Geschwindigkeit der Regulationsvorgänge vom Trainingszustand und von der Bewegungserfahrung des Läufers abhängig. Die sensomotorische Regulationsfähigkeit gehört demnach zu den leistungsbestimmenden Faktoren im Skisport, welche vor allem seit der Einführung der Carvingski an Bedeutung gewonnen hat (Raschner et al., 2001).

Die Anforderungen an das sensomotorische Gleichgewicht wird laut Fetz (1997) hauptsächlich dadurch charakterisiert, dass der Skifahrer aktiv bestrebt ist, die resultierende Kraft aller von außen einwirkender Kräfte (Gravitationskraft, Zentrifugalkraft, Gleitreibungswiderstandskraft und Windwiderstandskraft) über seiner Unterstützungsfläche zu halten. In einer früheren Untersuchung machten Raschner und seine Kollegen (2001) die Qualität der Fahrtechnik unter anderem von der sensomotorischen Steuerung, d. h. dem wechselseitigen Zusammenspiel von Sinneswahrnehmung und entsprechender Bewegungen, abhängig. Bei Freizeitskiläufern besitzt laut ihren Aussagen das Koordinationstraining in vielen Fällen einen größeren Stellenwert als beispielsweise das Ausdauer- und Krafttraining, welche allerdings ebenso nicht zu vernachlässigen sind (Raschner et al., 2001).

Im Vergleich zur herkömmlichen, gedrifteten Kurvensteuerung werden bei der Carvingstechnik die Mechanismen der Steuerprozesse zudem bedeutender. Laut Müller und Schwameder (2003) stellt diese Technik eine erhöhte Anforderung an die sagittale Balance. Die Begründung dieser Aussage kann dabei in der ständigen Veränderung des Center of pressures (CoP) während des Schwungverlaufs gesehen werden. Dieser wird als idealisierter Kraftangriffspunkt bei Messungen plantarer Druckverteilungen abgebildet und wurde bei Messungen von Lafontaine et al. (1998) während unterschiedlicher Kurvensteuerungen untersucht. Bei optimaler Skitechnik verändert der CoP demnach beim Riesenslomschwung seine Position, um den Ski bestmöglich belasten zu können. Seine Position verschiebt sich vom Mittelfußknochen (Ossa metatarsalia) im medialen Bereich während der Schwungeinleitung hin zum Fersenbein (Calcaneus), ebenfalls medial während der Kurvensteuerung. Während kürzerer Schwungdauer, wie sie bei der Slalomtechnik auftritt, wandert der CoP jedoch nur bis unterhalb des Fußgewölbes, was auch bei der herkömmlichen parallelen Kurvensteuerung sichtbar wird. Die Angaben gelten jeweils für den Außenski, so dass sich demgemäß am Innenski eine Belastung im lateralen Bereich zeigt. Entsprechend der notwendigen Veränderung des Kraftangriffspunktes kann nur von einem dynamischen Gleichgewicht gesprochen werden, wenn sich auch der Körperschwerpunkt verändert. Nur so kann die ausführende Person sich im Gleichgewicht halten. Die Bewegung und Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes ist je nach Zeitpunkt der Schwungphase variabel und spielt vor allem bei der Technikanalyse im alpinen Rennsport eine entscheidende Rolle, wie es Haugen et al. (2007) untersuchten und in Abbildung 10 zu sehen ist.

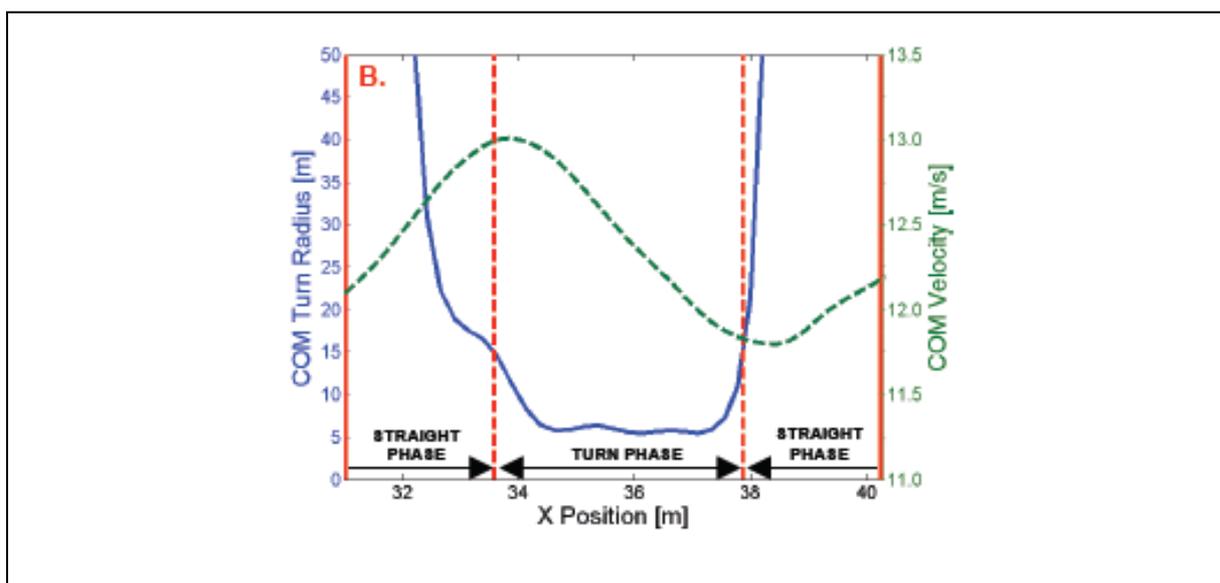


Abb. 10: Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes während des Schwungverlaufs (Haugen et al., 2007, p. 1)

Aber auch bei Anfängern ist eine gut ausgeprägte Gleichgewichtsfähigkeit leistungsfördernd, was Malliou (2004) und Kollegen diagnostizierten. Gegenüber der Kontrollgruppe waren die Ergebnisse der Versuchsgruppen beim Slalomtest, welche während eines einwöchigen Skikurses ein zusätzliches Koordinationstraining absolvierten, besser.

Entsprechend der Wichtigkeit der Gleichgewichtsfähigkeit im sportmotorischen Anforderungsprofil sind Differenzen in Untersuchungsergebnissen zwischen Skifahrern und Normalpersonen erkennbar. Skirennfahrer erzielen laut Raschner et al. (2008) im Vergleich zu altersgleichen Personen höchst signifikant ($p \leq 0,001$) bessere Sensomotorikwerte, was ihrer Meinung nach auch trainings- und anlagebedingt vermutet werden kann. Die Daten wurden dazu im Rahmen der Validitätsprüfung des S3-Check-Geräts der Firma „Multifunktionale Trainingsgeräte GmbH“ erhoben, wozu Normwerte von über 5000 Personen in jedem Alter mit 758 Messungen von Skirennläufern verglichen wurden.

Der in Abbildung 11 dargestellte Unterschied im Sensomotorikindex wurde mittels Neigungssensor gemessen, auf einer Skala von 1 – 8 angegeben und errechnete sich dabei aus der Anzahl und Amplitude der Ausgleichsbewegungen der Standfläche während der Messung auf dem spezifischen Gerät (Raschner et al., 2008).

Die hier für links/rechts Bewegungen sichtbare Abweichung bei männlichen Probanden bestand ebenso bei weiblichen Teilnehmern. Dieser wird mit zunehmenden Trainingsalter im Vergleich zu Normalpersonen größer, was laut den Autoren auf eine durch ständiges Training verbesserte Gleichgewichtsfähigkeit zurückzuführen ist.

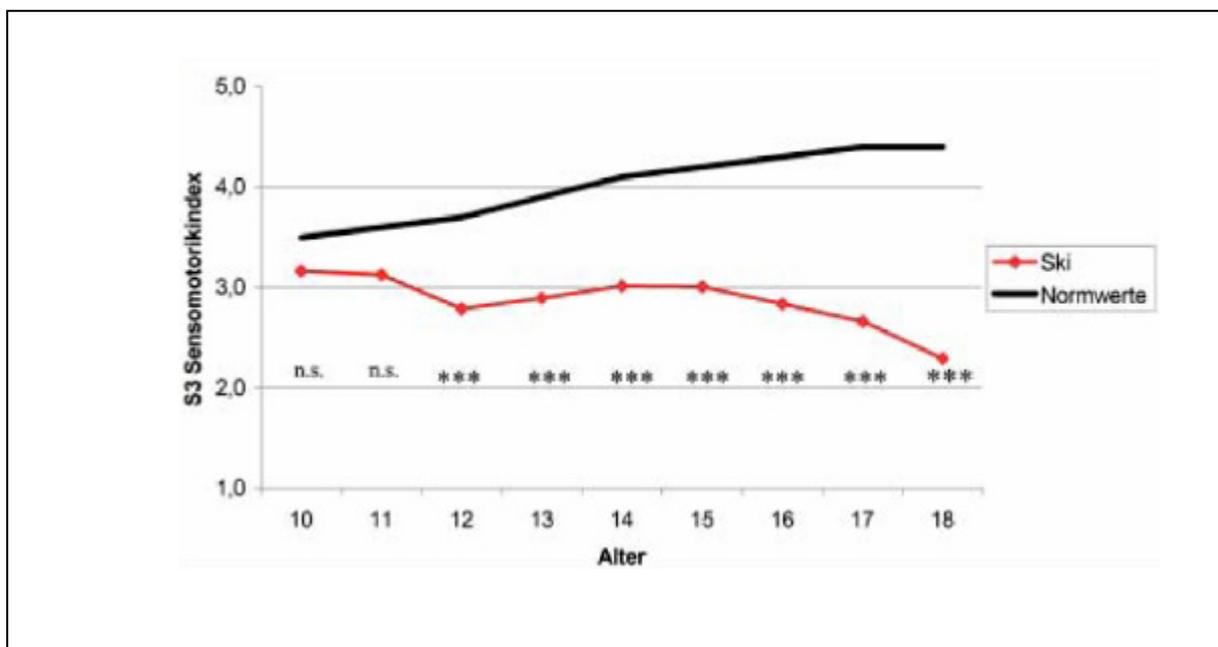


Abb. 11: Vergleich des S3-Sensomotorikindex bei links/rechts Messungen zwischen Skirennläufern und der männlichen Normalgruppe (Raschner et al., 2008, S. 103)

Ein im Messaufbau ähnliches und speziell für die Überprüfung der skispezifischen Balance konzipiertes Gerät verwendeten auch Cresswell und Mitchell (2009) beim Vergleich von 30 Skifahrern mit unterschiedlichem Leistungsniveau. Während einer zweiminütigen Messung wurde dabei die Gesamtzeit ermittelt, bei der die Personen möglichst ruhig standen, d. h. die Bewegung der Plattform sich in einem Korridor von 5 Grad bewegte. Anhand der Ergebnisse ist erkennbar, dass sich fortgeschrittene Skifahrer ohne Schuhe einen signifikant ($p = 0,008$) längeren Zeitraum in diesem Bereich aufhalten können. Nach Meinung der Autoren ist dies durch eine bessere Gleichgewichtsfähigkeit bedingt. Auch bei weiteren Messungen, bei der die Personen Skischuhe trugen, zeigten erfahrenere Skifahrer diese Ergebnisse, da sie sich eine längere Zeit im begrenzten Bewegungskorridor bewegten.

Noé und Paillard (2005) stellten in ihren Untersuchungsergebnissen dagegen keinen Unterschied in der Gleichgewichtsfähigkeit bei Benutzung von Skischuhen zwischen unterschiedlich guten Skifahrern fest, womit sich ihre Ergebnisse konträr zu denen von Cresswell und Mitchell (2009) zeigen. Ohne Benutzung der Schuhe war sogar bei den vermeintlich besseren Skifahrern eine größere Fläche des Center of pressures feststellbar. Gleichzusetzen ist dies mit einer schlechteren Balance, da die größere Fläche durch umfangreichere Bewegungen erzeugt wird. Die Probandengruppe setzte sich aus 7 männlichen Skirennfahrern eines Regionalkaders und 7 Athleten mit nationalem und internationalem Niveau zusammen, wodurch sie different zu oben genannter Untersuchung waren und die Ergebnisse nicht unmittelbar gleichgesetzt werden sollten. Laut den Autoren könnte die Ursache vor allem darin gesehen werden, dass die Skifahrer mit nationalem Level ein umfangreicheres Schneetraining während der vergangenen Trainingswochen absolvierten. Die Testsituation ohne Schuh war für sie somit ungewöhnlicher als für weniger trainierende Athleten. D. h. häufiger trainierende Athleten könnten an eine Reduzierung der Bewegungsmöglichkeit im Sprunggelenk, welche durch den Skischuh hervorgerufen wird, zur Regulation des Gleichgewichts bei dieser Studie adaptiert gewesen sein.

Eine spätere Publikation von Noé et al. (2009) konnte dies allerdings nicht bestätigen, da lediglich bei statischen Tests die Messdaten auf eine bessere Gleichgewichtsfähigkeit hinwiesen. Laut den Autoren ist dies auf eine größere Unterstützungsfläche durch den Skischuh zurückzuführen. Bei dynamischen Tests waren keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Probanden differenter Leistungsniveaus sichtbar. Noé et al. (2009) vermuten daher, dass erfahrene Skifahrer die muskuläre Koordination an die veränderte Gleichgewichtsanforderung anpassen können, demzufolge es auch mit Skischuhen zu keiner signifikanten Veränderung der Messdaten kommt. Dabei lassen sich aber laut Mildner et al. (2007) keine eindeutigen Muster erkennen wie die Bewegungseinschränkungen im Sprunggelenk kompensiert werden, da es bei elektromyographischer Betrachtung verschiedener Muskeln des Ober- und Unterschenkels zu keinen signifikanten

Unterschieden kommt. Den Autoren zufolge besitzen die Probanden unterschiedliche Strategien zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts, was durch mehr oder weniger Hüft- oder Kniebewegung realisiert wird.

Bei Verwendung des multifunktionalen Trainingsgeräts S3-Check zur Gleichgewichtsmessung erhielten Mildner et al. (2010) gegensätzliche Ergebnisse, wobei die Arbeitsgruppe Sportstudenten und aktive Skirennläufer verglichen. Die Ergebnisse ihrer Studie zeigten für bessere Skifahrer eine ausgeprägtere Gleichgewichtsfähigkeit. Vor allem bei männlichen Athleten waren die Werte der Skirennfahrer sowohl mit als auch ohne Skischuhe bei allen Testungen signifikant ($p \leq 0,001$) besser als die der Sportstudenten. Die Messungen mit Schuh ergaben allerdings schlechtere Werte und sind somit konträr zu den Ergebnissen von Noé und Pillard (2005) zu sehen. Im Vergleich der beiden Testgeräte merkten die Autoren um Mildner allerdings an, dass das S3-Check Gerät wesentlich höhere Anforderungen an die Gleichgewichtsfähigkeit des Probanden stellt. Begründet wird dies ihrer Meinung nach durch die Lage der Kippachse, die sich kurz unterhalb der Standfläche befindet und nicht wie bei Noé & Pillard (2009) direkt auf der Kraftmessplatte. Entscheidender dürfte allerdings die Tatsache sein, dass Mildner et al. (2010) die Bewegungen der Standfläche mittels Neigungssensor gemessen haben und bei Noe et al. (2009) die Parameter des Center of pressures zur statistischen Analyse genutzt wurden. Die Nachweisbarkeit des unmittelbaren Zusammenhangs der Gleichgewichtsfähigkeit und dem Leistungsniveau untersuchter Probanden ist allerdings grundsätzlich annehmbar, wobei die praktische Relevanz dieser Ergebnisse geprüft werden und in die Interpretation mit einfließen sollte.

Für den Freizeit- und Breitensportler dürften die festgestellten Beziehungen der Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von der Gleichgewichtsfähigkeit allerdings eher von untergeordneter Rolle sein. Im Interesse einer verbesserten Gleichgewichtsfähigkeit könnte vielmehr die Prophylaxe von Verletzungen gesehen werden, demzufolge sich die entscheidenden Gründe der Bedeutung der koordinativen Fähigkeit als Baustein in der sportlichen Leistungsfähigkeit ableiten lassen.

Die Tatsache, dass gut ausgebildete Fähigkeiten der Bewegungsregulation in vielen Sportarten einen wichtigen Aspekt in der Prävention und Rehabilitation von Verletzungen darstellen (Kallinen et al., 1995), ist nach Meinung verschiedener Autoren auch für den alpinen Skisport zutreffend. Die Notwendigkeit gut ausgebildeter koordinativer Fähigkeiten kann somit als gegeben angesehen werden, zumal 90 % der Verletzungen auf Grund eines Einzelsturzes und damit durch einen Gleichgewichtsverlust (Wölfel et al., 2003) entstehen. Johnson (2001) konstatiert dementsprechend, dass der Verlust des dynamischen Gleichgewichts während des alpinen Skifahrens zur Entstehung erhöhter Kräfte beiträgt und diese wiederum große Biegemomente hervorbringen, welche häufig mit einer Verletzung einher gehen. Die Relevanz der Gleichgewichtsfähigkeit als Indikator für mögliche

Verletzungsursachen lässt sich zudem durch die Publikation von White und Johnson (1993) deutlich machen, welche eine geringere Verletzungsrate im Zusammenhang mit besseren Balancefähigkeiten bei Skisportlern feststellen konnten. Allerdings kommen Ružić et al. (2011) zu den Erkenntnissen, dass dies nur durch spezifische skifahrerische Gleichgewichtsfähigkeiten im Zusammenhang gesehen werden kann. Laut ihnen korrelieren nur die spezifischen Fähigkeiten mit dem skifahrerischen Leistungsniveau, wodurch sie mit einer geringeren Verletzungshäufigkeit in Verbindung gesetzt werden könnten. Die skispezifischen Fähigkeiten wurden durch die subjektive Einschätzung bei Innenski-schwüngen durch eine Bewertungskommission eingeschätzt. Durch die bei ihrer Studie angenommenen und daraufhin untersuchten Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen skispezifischer experimenteller Gleichgewichtstests und dem skifahrerisch- praktischen Niveau konnten dies bestätigt werden.

Auch durch andere Untersuchungen wie beispielsweise die von Spitzenpfeil et al. (2006) wurde die Bedeutung der Gleichgewichtsfähigkeit im Hinblick entstehender Verletzungen offensichtlich. Dazu betrachteten sie die Häufigkeit so genannter „Overbalance Situations“ im alpinen Rennsport, um die Faktoren der Instabilität im Wettkampf analysieren zu können. Die Arbeitsgruppe um Spitzenpfeil verglich dazu alle Worldcuprennen der Saison 1999/2000 und 2002/2003 in den Disziplinen Abfahrt und Super-Riesenslalom und stellte generell einen Anstieg kritischer Situationen fest. Die Erhöhung war bei Rennen der Saison 2002/2003 mit 49 % mehr als doppelt so groß wie bei Rennen der Saison 1999/2000 wo diese nur 21 % betrug. Die Verschiebung der Position des Centers of gravity (CoG), der auch als Körperschwerpunkt bezeichnet wird, nach posterior medial, wird dabei als besonders problematisch angesehen, da er den Skifahrer in typische verletzungsresultierende Positionen bringt. Die Ursachen des Auftretens größerer Instabilitäten können laut Spitzenpfeil und Kollegen vor allem auf die Veränderungen des Materials, auf höhere Geschwindigkeiten und auf folglich erhöhte Kurvenkräfte zurückgeführt werden. Gemäß den Autoren wird somit eine gesteigerte Anforderung an die Gleichgewichtsfähigkeit sichtbar, da der zeitliche Rahmen von Steuer- und Regelprozessen wesentlich kürzer ist.

Die Geschwindigkeitsveränderungen sind auch im Breiten- und Freizeitsport zu verzeichnen und lassen eine Zunahme von unkontrollierten auf Grund von Gleichgewichtsstörungen hervorgebrachten Situationen schlussfolgern. Allerdings sind derartige Datenerhebungen nicht bekannt, so dass die Veränderungen nur aus Ergebnissen unmittelbarer im Zusammenhang stehender Publikationen abgeleitet werden können. Die Veränderungen ergeben sich vor allem durch die Anwendung der Carvingstechnik. So geht beispielsweise Soltmann (2005) von höheren Geschwindigkeiten aus, da seiner Meinung nach beim Carvingsschwung eine konstante Bremskontrolle nicht gegeben ist. Er führt dies auf den fehlenden Rutschanteil zurück, wie er beim gedrifteten Schwung vorherrscht. Allerdings

dürfte diese Ansicht nur bedingt zutreffend sein, da auch beim gecarvten Schwung Rutschanteile bestehen und durch die Fahrt quer zur Falllinie das Tempo kontrolliert werden kann. Grundsätzlich kann man aber von einem Anstieg der Geschwindigkeiten in den vergangenen Jahren auch im Freizeit- und Breitensport ausgehen, was Markens (2001) oder Schwindelwig (2004) auf die Weiterentwicklung des Materials oder auf die besser präparierten Pisten zurückführen.

Auch durch die Ergebnisse von Shealy et al. (2005) kann dies angenommen werden. Immerhin erreichten bei Auswertung ihrer Datenerhebung Skifahrer durchschnittlich 44,5 km/h. Je nach gefahrenem Kurvenradius können so enorme Kräfte erzeugt werden und im Ergebnis Gleichgewichtsstörungen hervorrufen, was Spitzenfeil et al. (2006) wie oben beschrieben begründeten. Eine Erhöhung unkontrollierter Situationen ist demnach nicht nur im Leistungssport auf Grund höherer Geschwindigkeiten feststellbar, sondern auch bei Freizeitskifahrern anzunehmen. Die Ausprägung der Gleichgewichtsfähigkeit dürfte somit bedeutend in Hinblick zur Vermeidung von Stürzen sein. Im sportmotorischen Anforderungsprofil nimmt sie daher eine besondere Stellung ein und stellt deshalb einen Forschungsansatz dieser Arbeit dar.

Kenntnisstand:

Durch die in diesem Kapitel betrachteten Studienergebnisse wird deutlich, dass zum Ausüben des alpinen Skisports die motorischen Fähigkeiten ganzheitlich benötigt werden. Gleichzeitig erschließt sich, dass die Gleichgewichtsfähigkeit einen bemerkenswerten Einfluss auf die Bewegungsqualität besitzt, wodurch ihr eine besondere Rolle im Konstrukt der Leistungskomponenten zukommt. Die Darstellung der verschiedenen Einflussfaktoren dient dabei dem Verständnis wirkender Wechselbeziehungen und bestimmt somit die methodische Vorgehensweise dieser Arbeit, was vor allem durch die Reflexion der in Kapitel 2.1.3 betrachteten Zusammenhänge entsprechend zur Darstellung kommt.

2.2 Epidemiologie der Verletzungen beim alpinen Skilauf

Laut Statistik der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) ereignen sich im Jahr ca. 1,46 Millionen Unfälle beim Sport (BAuA, 2000). Am häufigsten geschehen demnach Verletzungen beim Fußball, Basketball, Handball oder Volleyball, gefolgt von Inlineskaten und Reiten. Der Skisport rangiert mit 6 Verletzten pro 100 Personen und einer Gesamtverletztanzahl vom 90.000 nach den oben genannten Sportarten. Damit gilt der alpine Skisport als eine risikoreiche Sportart, was auch weitere Quellen belegen (Bös & Brehm, 2006; Steinbrück, 1999).

Im folgenden Kapitel soll daher die Vielschichtigkeit der Unfallursachen sowie die daraus entstehenden Verletzungen in den vergangenen Jahren betrachtet werden, um die Bedeutung eines weiteren Ansatzes zur Unfallprävention deutlich zu machen. Die Analyse vorliegender Studienergebnisse zeigt dabei lediglich einen Gesamtüberblick der Verletzungscharakteristika im alpinen Skisport auf, um die Hintergründe des Forschungsansatzes dieser Arbeit darzulegen. Der Ansatz zeigt sich dadurch begründet, dass als hauptsächliche Unfallursache immerhin in 90 % der Fälle der Einzelsturz gesehen wird (Wölfel et al., 2003), der sich infolge des Gleichgewichtsverlustes ereignet.

Bezüglich der Anzahl auftretender Verletzungen existieren in der Literatur allerdings unterschiedliche Angaben, was an den teilweise differenten Einschlusskriterien liegen dürfte. Nach Angaben der Auswertungsstelle für Skiunfälle der ARAG Sportversicherungen (ASU-Ski) verletzten sich im entsprechenden Zeitraum der Saison 2000/01 vergleichsweise nur 60.000 Personen (Gläser 2001). In diese Statistik gingen alle verletzten Skifahrer ein, bei denen eine ärztliche Behandlung notwendig gewesen ist, was aus oben angeführter Erhebung der BAuA nicht hervorgeht.

Bei der Gegenüberstellung des aktuellen Unfallberichts der ASU-Ski mit vorherigen Berichten zeigt sich aber erfreulicherweise ein Rückgang verletzter Personen. Gemessen an 1000 Skifahrern bei ca. 4,2 Millionen deutschen Skifahrern beträgt dieser im Vergleich der Basissaison 1979/80 immerhin 59 Prozentpunkte (Schulz, 2011) weniger, was Abbildung 12 verdeutlicht. In der Saison 2010/11 kam es hochgerechnet zu ca. 40.000 – 43.000 Skiverletzungen, womit das Verletzungsrisiko deutlich geringer war als noch in der Vorsaison, bei der sich ca. 15.000 Verletzungen mehr ereigneten. Verantwortlich dürften dafür laut Schulz (2011) die verbesserten Pistenbedingungen sein oder aber auch ein verändertes Risikobewusstsein, das zum Beispiel mit einer erhöhten Helmtragequote einherging. Allerdings wurden immer noch 6400 Personen so schwer geschädigt, dass sie sich in stationäre Behandlung begeben mussten.

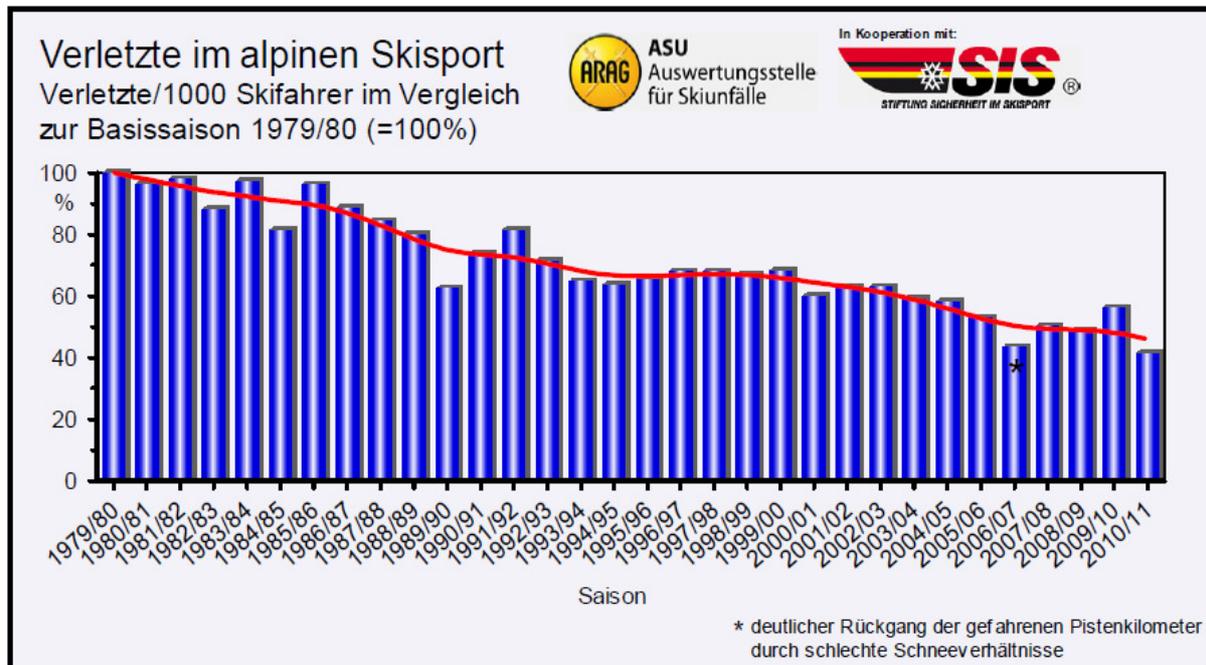


Abb. 12: Verletzte im alpinen Skisport in % pro 1000 Skifahrer (Schulz, 2011, S. 3)

Das Knie stellt mit 33,7 % die häufigste Verletzungslokalisierung dar, wobei bei Frauen mit 43,4 % eine deutlich höhere Quote bestand als bei Männern (26,6 %). Die Verletzungshäufigkeit des Kniegelenks je 1000 Skifahrer sank in der Saison 2010/11 jedoch auf den niedrigsten Wert seit Beginn der Aufzeichnungen der Saison 1979/80. Der Anteil der Schulterverletzungen betrug immerhin 17,7 %, was ebenfalls eine Reduzierung im Vergleich zur Vorsaison (20,1 %) darstellt. Weiterhin ist mit 10 % der Rumpf von Verletzungen betroffen. Männer wiesen in diesen beiden Körperregionen häufigere Schädigungen auf. Kopfverletzungen lagen in der Saison 2010/11 bei 9,7 %, wobei der Anteil prozentual bei beiden Geschlechtern gleich groß gewesen ist, aber im Vergleich zum Vorjahr einen leichten Anstieg bedeutet.

Gegensätzlich zum Breiten- und Freizeitsport zeigt sich logischerweise die Verletzungshäufigkeit im alpinen Rennsport, bei dem sich nach Angaben von Florenes et al. (2011) 9,8 Verletzungen pro 1000 Fahrten ereignen. Grundsätzlich ist das Risiko bei Männern gegenüber Frauen erhöht, wobei die Häufigkeit einer Verletzung des muskuloskelettalen Apparates von der jeweiligen Skidisziplin abhängig ist. D. h. mit zunehmender Geschwindigkeit steigt das Verletzungsrisiko. Die Ursachen sehen Brucker et al. (2011) hauptsächlich in den durch unterschiedliche Faktoren zurückzuführenden gestiegenen Belastungen des Haltungs- und Bewegungsapparates, welche sowohl bei Wettkämpfen als auch während des Trainings auftreten.

Einen generellen Rückgang bei der Zahl aufgetretener Skiverletzungen im Breitensport konstatierten auch Johnson et al. (1997). Bei der Aufzeichnung aller verletzten Skifahrer im Skigebiet Sugarbush in den USA beobachtete er im Zeitraum von 1972 – 1994 einen Rückgang von 44 %, was auch Hunter (1999) feststellte. Bei ca. 15 Millionen Skifahrern in den USA ereignen sich demnach 2,5 Skiverletzungen pro 1000 Skitage. Im Vergleich dazu lag die Verletzungsquote bei den Untersuchungen von Earle (1962) noch bei 7,6 pro 1000 Skitage und das obwohl in den vergangenen Jahren die Diagnosemöglichkeiten deutlich besser geworden sind, d. h. die Zahl der diagnostizierten Verletzungen hätte steigen müssen. Garrik und Requa (1979) gaben allerdings an, dass von einer weit höheren Verletzungshäufigkeit ausgegangen werden muss, da viele Skifahrer ihre Verletzungen oft nicht melden. Hunter (1999) geht daher in seiner Zusammenfassung von annähernd 3 Verletzungen pro 1000 Skitage aus.

Ein prinzipieller Rückgang an Skiverletzungen ist zudem auch durch Erhebungen in anderen Skigebieten und sogar weltweit feststellbar, der insbesondere auf die zahlreichen Veränderungen der Ausrüstungsgegenstände in den letzten Jahrzehnten zurückzuführen ist. So zeigte sich beispielsweise Anfang der 70er Jahre eine drastische Verringerung an Sprunggelenksverletzungen von 92 % (Johnson et al., 1997), die auf Grund höherer und steiferer Skischuhe erfolgte. Die Entwicklung des ersten Plastikskischuhs dürfte darauf einen wesentlichen Einfluss gehabt haben, da durch diesen hauptsächlich das Sprunggelenk besser geschützt wurde. Auch reduzierten sich in diesem Zusammenhang die Tibiafrakturen um mehr als 80 %, wobei zusätzlich die aufkommenden Sicherheitsbindungen den Sicherheitsaspekt erhöhten. Hauser machte allerdings 1989 darauf aufmerksam, dass nur eine funktionierende Bindung optimalen Schutz bietet. Bei seinen Messungen waren immerhin 95 % der Skibindungen fehlerhaft eingestellt, was beispielsweise auf einen zu hohen Einstellwert zurückgeführt wurde. Hunter (1999) gibt in diesem Zusammenhang jedoch an, dass Skibindungen hauptsächlich zur Vermeidung von Tibiaverletzungen eingestellt werden und daher Knieverletzungen sich nach wie vor ereignen können.

In Konsequenz zurückgehender Unterschenkelverletzungen durch die Verbesserung des Skimaterials muss daher angemerkt werden, dass sich die Verletzungshäufigkeit des Knies nicht verringerte, gegenteilig sogar anstieg. Kamen bei alleiniger Betrachtung der unteren Extremitäten 1960 auf eine Knieverletzung noch zwei Sprunggelenksverletzungen, so waren es 1980 bereits 60 % Knieverletzungen, demgegenüber 10 % Sprunggelenksverletzungen standen (Sperner et al., 1989). Die Arbeitsgruppe um Natri (1999) stellte zwischen 1972 und 1997 ebenso einen dramatischen Anstieg schwerer Knieverletzungen von 228 % fest. Vor allem ein vermehrtes Auftreten der Ruptur des vorderen Kreuzbandes bei der Hälfte aller Knieverletzungen wurde offensichtlich. Zu diesen Ergebnissen kamen auch Natri et al. (1995) oder Winston et al. (1995) in ähnlichen Studien. Nach Winston (1995) und Kollegen

ist bei Erwachsenen das Knie bei einem Drittel aller Skiverletzungen betroffen, wobei häufig die Ruptur des vorderen Kreuzbandes nicht isoliert eintritt, sondern mit Schädigung weiterer Strukturen einhergeht. Laut Paletta (1992) wird in 68 % aller Fällen ebenso das mediale Seitenband verletzt oder aber auch der laterale (43 %) und mediale (13 %) Meniskus (Barber, 1994).

Eine ähnliche Verletzungscharakteristik wird im alpinen Leistungssport sichtbar, bei dem 35,6 % der Gesamtverletzungszahlen das Kniegelenk betreffen und in 38 % der Fälle sich eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes ereignet (Florens et al., 2011). Die Gründe vermehrt auftretender Knieverletzungen können hauptsächlich in der Fixierung des Fußes im Skischuh gesehen werden, der kaum noch eigenständige Bewegungen des Sprunggelenks zulässt. Die Stabilisierung des Gelenks gegenüber Kipp- und Rotationsbewegungen leitet somit den Kraftfluss bei Drehbewegungen proximal weiter, was in der Endkonsequenz zu ligamentären Verletzungen des Kniegelenks führt. Das Auseinanderdriften auftretender Tibia- und Kniebandverletzungen ist daher laut Soltmann (2005) im Allgemeinen auf die Materialweiterentwicklung zurückzuführen. Eine Verbesserung der Ausrüstung, vor allem die der Skischuhe, konnte seiner Meinung nach dieser Entwicklung nicht entgegenwirken. Die drei wesentlichsten Mechanismen (Abbildung 13) welche Knieverletzungen induzieren, werden laut Natri (1999) in Anlehnung an Johnson et al. (1989) dabei folgend kategorisiert:

- Valgus – External Rotation (a)
- Boot induced Anterior Drawer Mechanism (b)
- Flexion – Internal Rotation (Phantom Foot Injury Mechanism) (c)

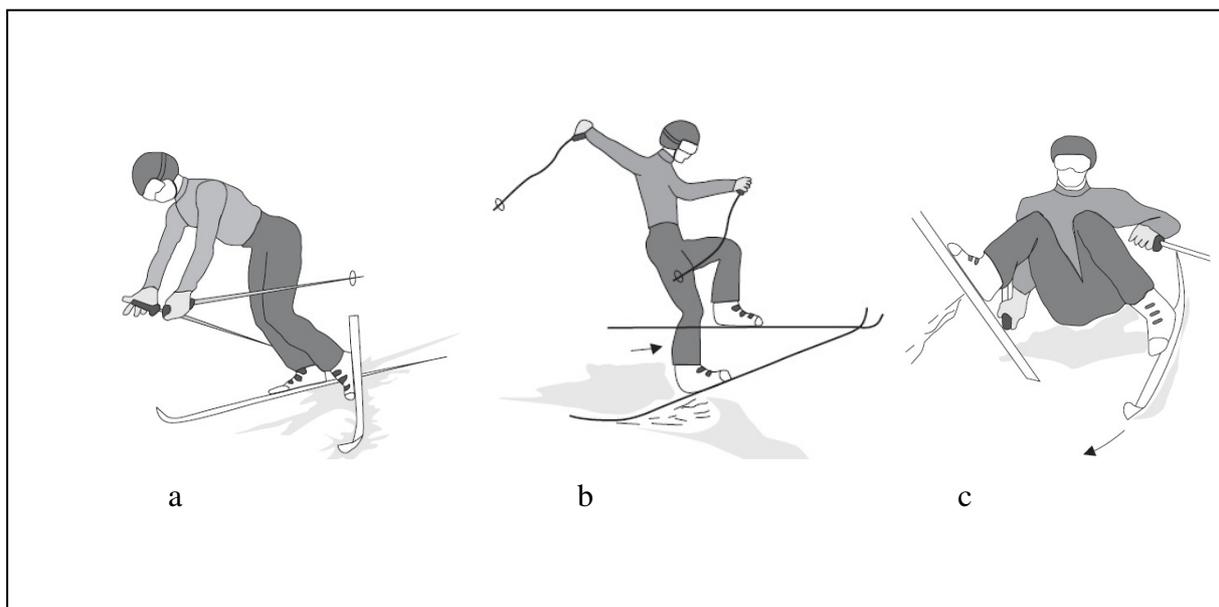


Abb. 13: Mechanismen zur Verletzung des vorderen Kreuzbandes (Natri et al., 1999, p.37)

Die Valgus- External- Rotationsbewegung entsteht dabei durch einen Vorwärtssturz, bei dem sich der Unterschenkel durch die Hebelwirkung der Ski nach außen bewegt. In einer Vielzahl der Stürze kommt es auf Grund der unnatürlichen Bewegung des Unterschenkels im Verhältnis zum Oberschenkel zu einer Verletzung des medialen Seitenbandes. Laut Ettliger et al. (1995) ereignet sich in 20 % der Fälle ebenfalls eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes.

Ein Boot inducted Anterior Drawer Mechanism bezeichnet dagegen eine Verschiebung des Unterschenkels vorwärts im Verhältnis zum Oberschenkel, was vor allem bei harten Landungen zu einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes führen kann. Die zur Verletzung führenden Kräfte werden dabei hauptsächlich durch den Skischuh bedingt, da dieser eine ausweichende Bewegung zur Reduzierung dieser Belastung nicht ermöglicht und so eine vordere Schublade am Kniegelenk erzeugt. Die meisten Verletzungen ligamentärer Bandstrukturen ereignen sich allerdings bei einem rückwärtigen Absitzen und gleichzeitiger seitlicher Rotation, dem so genannten Phantom Foot Sturz (Phantom Foot Injury Mechanism). Die infolge des Gewichts der Person entstehenden und nach außen gerichteten Kräfte führen zu einer Innenrotation des Unterschenkels bei gleichzeitiger hoher Knieflexion, welche zu einer ligamentären Verletzung des Kniegelenks oder Fraktur führt (Pressman and Johnson, 2003).

Anfängliche Überlegungen, dass die Funktionsweise alpiner Sicherheitsbindungen unmittelbar mit verstärkt auftretenden Knieverletzungen in Verbindung gebracht werden könnte, wurde zwar von einigen Autoren angedeutet, konnte aber nicht bestätigt werden. In diesem Zusammenhang muss jedoch festgehalten werden, dass die Intuition der Entwicklung einer Sicherheitsauslösebindung nicht darin bestand Knieverletzungen zu reduzieren, sondern lediglich den Unterschenkel gegen Stauchung und Verdrehung schützen sollte. Eine derartige Funktion wäre zwar wünschenswert und eine sinnvolle Weiterentwicklung, jedoch bestehen derzeit keine gesicherten Erkenntnisse, dass solche Funktionen konstruktionstechnisch machbar sind (Natri et al., 1999). Die verbreitete Annahme, dass eine schwächere Bindungseinstellung das Kniegelenk schützt, muss hierbei als eine ineffektive Methode angesehen werden, da dies eine Erhöhung der Fehlauflösungen bei typischen Fahrsituationen hervorbringen würde (Johnson et al., 2009). Ohnehin konstatieren Ettliger et al. (1995), dass es keine signifikanten Zusammenhänge gibt, welche die primären Verletzungssituationen einer Knieverletzung mit der Bindungsfunktion erklären.

Bei der Suche nach möglichen Begründungen zunehmender Knieverletzungen stand aber auch die Veränderung der Skitechnik im Mittelpunkt, was besonders durch die Einführung der Carvingtechnik Mitte der 90er Jahre galt. Dabei bedeutet „Carving“ ausgehend von der englischen Sprache so viel wie schneiden, was besonders für die Art und Weise der

Kurvensteuerung gilt. Dementsprechend wird der Schwung bei Beherrschung der Technik nicht mehr mit einem vorwiegenden Driftanteil gefahren, sondern vermehrt auf der Skikante „geschnitten“, umgangssprachlich „gecarvt“.

Die Studienlage zeigt sich diesbezüglich allerdings divergent, so dass zum Teil sehr kontrovers darüber diskutiert wurde, ob der Carvingski beziehungsweise die Anwendung der Carvingstechnik unmittelbare Auswirkungen auf die Verletzungshäufigkeit allgemein und im Speziellen auf Knieverletzungen hat. So konnten zahlreiche Autoren (Soltmann, 2005; Jais, 2005; Gerland, 2004; Burtscher, 1998) anhand retrospektiver Studien keine signifikante Erhöhung kniespezifischer Verletzungszahlen zeigen. Wölfel et al. (2003) dagegen postulierten bei Verwendung eines Carvingski's einen Anstieg der Knieverletzungen auf 48,2 % gegenüber dem Normalski, bei dessen Nutzung die Quote 42,3 % betrug. Die Studie von Dingerkus und Mang (2001) kam ebenfalls zu diesen Ergebnissen und zeigt eine Verletzungshäufigkeit der unteren Extremitäten von 62 % bei Carvingski, demgegenüber 49 % bei Nutzung herkömmlicher Ski stehen. Internationale Erhebungen brachten ähnliche Resultate hervor, wobei Johnson et al. (2000) nur bei fortgeschrittenen Skifahrern einen Unterschied in der allgemeinen Verletzungsrate feststellten.

Ebenso traten isolierte Kreuzbandverletzungen nur bei guten Skifahrern häufiger auf beziehungsweise war die Zahl der Außenbandverletzungen unter Carvingskifahrern leicht erhöht, wobei die zuletzt genannten Betrachtungen das Fahrkönnen außer Acht ließen.

Demgegenüber zeigen sich die Ergebnisse der Auswertungsstelle für Skiverletzungen der ARAG – Sportversicherungen divergent, lassen jedoch eine Verminderung des Verletzungsrisikos erkennen. Nach Abbildung 14 sind Knieverletzungen seit Ende der 90er Jahre rückläufig, was zusätzlich durch die Tatsache dass mittlerweile der Großteil der Skifahrer einen Carvingski benutzen, untermauert werden kann.

Auch Johnson et al. (2000) beobachteten im Laufe der 90er Jahre keinen weiteren Anstieg bei vorderen Kreuzbandrupturen, was in der Studie „Update on injury trends in alpine skiing“ veröffentlicht ist. Interessanterweise sprechen einige Autoren sogar von einem geringeren Verletzungsrisiko bei Nutzung der Carvingski, wobei die Ursachen hauptsächlich in der Länge der Ski zu sehen sind (Hörterer, 2005). Die konstruktionstechnisch kürzer gestalteten Ski besitzen demnach bessere Dreheigenschaften und könnten gegenüber konventionellen Skiern auf Grund des geringeren Hebels verminderte verletzungsbewirkende Momente hervorbringen. Mössner et al. (1997) widersprechen allerdings diesen Aussagen, da auf Grund der möglichen höheren Kurvengeschwindigkeiten bei engerem Kurvenradius das Kniegelenk stärkeren Belastungen ausgesetzt ist, was allerdings die Beherrschung der Skitechnik voraussetzen würde. Laut Köhne et al. (2007) fahren jedoch die wenigsten Skifahrer die Carvingstechnik technisch gut, so dass annähernd von 90 % die herkömmliche Skitechnik mit den Carvingski angewendet wird.

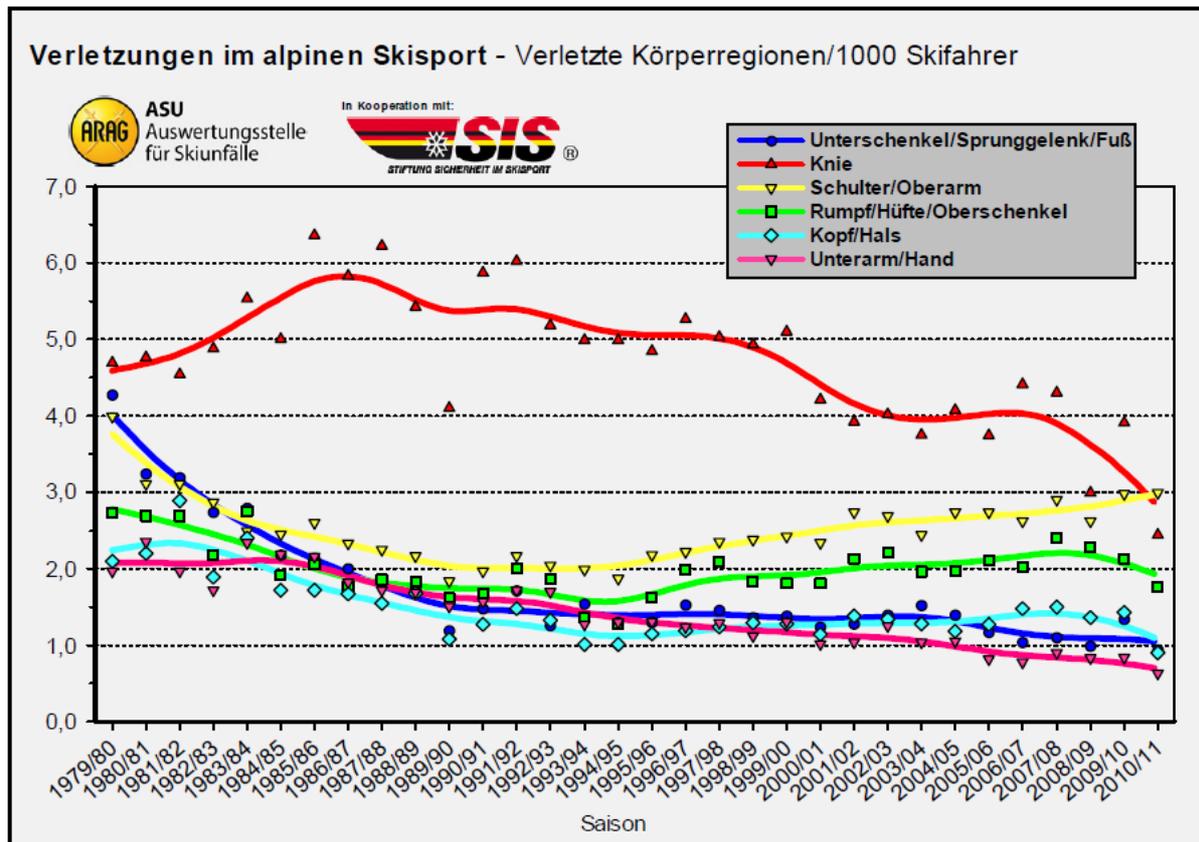


Abb. 14: Verletzungshäufigkeit je Körperregion laut ARAG Sportversicherungen (Schulz, 2011, S. 8)

Im Kontext der erhöht auftretenden Belastungen sind so auch weitere Ergebnisse sportwissenschaftlicher Untersuchungen interpretierbar, bei denen ein Anstieg schwerwiegender Knieverletzungen festgestellt wurde. Laut Johnson (2001) tritt dieser besonders bei guten Skifahrern auf. Natri et al. (1999) geben zudem zu bedenken, dass der Carvingski in unkontrollierten Situationen eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes begünstigt. Auf Grund seiner Konstruktion können diese zum Verschneiden der Ski führen, welche charakteristische verletzungsinduzierende Kräfte und Drehmomente hervorrufen. Besonders anfällig für derartige verletzungs erzeugende Situationen ist der Carvingski bei der Geradeausfahrt. Je nach Taillierung der Ski ist ein Mangel an Stabilität in jener Situation zu erkennen, so dass erhöhte skitechnische Fertigkeiten an den Benutzer gestellt werden (Hintermeister, 1997). Zur genaueren Interpretation vorliegender Studien wäre somit nicht nur der gefahrene Skityp von wichtigem Interesse, sondern auch dessen spezifische Auswirkung auf die sich ereignete Verletzungssituation. Die Menge der verletzungsinduzierenden Einflussfaktoren spielt diesbezüglich eine entscheidende Rolle und sollte entsprechend genauer betrachtet werden. Denn gleichzeitig zum konstatierten Anstieg der Knieverletzungen veränderten sich in den zurückliegenden Jahren auch die Pistenbedingungen, welche durch bessere Präparation beispielsweise ein erhöhtes

Fahrttempo ermöglichen. Der diesbezüglich bereits positiv angemerkte Sicherheitsaspekt könnte sich also auch in die entgegengesetzte Richtung auswirken, zumal gleichzeitig ein Anstieg wintersportbetreibender Personen zu verzeichnen ist. Zwar werden diese durch die Berechnung der Verletzten pro 1000 Skifahrer in der Statistik berücksichtigt, geben aber nicht unmittelbar einen Rückschluss auf den in diesem Zusammenhang entstehenden Risikofaktor, der durch eine erhöhte Pistenfrequentierung entsteht. Immerhin stehen statistisch gesehen jedem Skifahrer in Österreich heutzutage nur noch 2,5 m² zur Ausübung des Sports zur Verfügung, dagegen vor 20 Jahren noch 20 m² (Gerland, 2004).

Als zusätzlicher Faktor muss aber auch der seit dieser Zeit vermehrt eingesetzte Kunstschnee fokussiert werden, da dieser laut Expertenmeinung durch seine kompakte Konsistenz ein erhöhtes Verletzungsrisiko birgt. Die Überlegung ob die gleiche Verletzungssituation zu einem äquivalenten Verletzungsmuster bei Nutzung eines herkömmlichen Skis geführt hätte, muss ebenso in die Betrachtungsweise mit einbezogen werden. Durch die vorliegenden Studienergebnisse ist dies jedoch nicht eindeutig nachweisbar beziehungsweise kann generell als rein hypothetisch angesehen werden. Abschließend kann somit kein eindeutiger und allgemeiner Nachweis bezüglich ansteigender Kniegelenksverletzungen im Zusammenhang mit dem Skimaterial festgestellt werden. Zudem sollte darauf hingewiesen werden, dass die Auswertung einfließender Daten bezüglich Teilnehmeranzahl oder untersuchten Gruppen recht unterschiedlich und begrenzt gewesen sind.

Kenntnisstand:

Die derzeitigen Datenerhebungen lassen einen Rückgang auftretender Verletzungen im alpinen Skisport erkennen, wobei dieser Trend bereits seit einigen Jahren feststellbar ist. Die Gründe dafür sind vielschichtig und können auch in den materialtechnischen Veränderungen der Ausrüstungsgegenstände gesehen werden. Als Ursache sich zahlreich ereignender Verletzungen muss häufig der Einzelsturz im Zusammenhang mit einem Gleichgewichtsverlust gesehen werden. Die Verringerung der Anzahl von Einzelstürzen muss daher in Zukunft explizit im Fokus der Untersuchungen stehen wobei insbesondere dem Material diesbezüglich vordergründig Beachtung geschenkt werden sollte. Der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit versucht diesem Ansatz gerecht zu werden.

2.3 Skischuh

Mit einem globalen Absatz von 3,9 Millionen Paar dürfte der alpine Skischuh zu einem bedeutenden Faktor der Wintersportartikelbranche geworden sein (Huber, 2011). Diese Tatsache kann nicht nur anhand der zum Ski gestiegenen Verkaufszahlen erklärt werden, sondern auch daran, dass Testberichte zu diesem Thema in nahezu keiner der einschlägigen Fachzeitschriften fehlen und Herstellerfirmen mit immer neuen Produkten um die Gunst der Käufer werben. Dabei handelt es sich beim Skischuh nicht gerade um einen billigen Ausrüstungsgegenstand, sondern immer mehr um ein individuell angepasstes Hightechprodukt, welches nicht selten mehr kostet als vergleichsweise der Ski. Die teils in aufwendiger Handarbeit hergestellten und aus bis zu 120 Teilen bestehenden Schuhe entstehen daher in umfangreichen Entwicklungs- und Herstellungsprozessen, so dass sie funktionelle Anforderungen erfüllen und individuellen Ansprüchen gerecht werden können. Inwieweit die bisherigen Entwicklungsschritte die funktionellen Eigenschaften verschiedener Stiefel beeinflusst haben, soll daher im folgenden Kapitel betrachtet werden.

2.3.1 Geschichtliche Entwicklung

Der zum Skifahren notwendige Ausrüstungsgegenstand entwickelte sich im Laufe der letzten 100 Jahre vom für den zum Skilauf adaptierten Wanderschuh zum heutigen speziellen Skischuh. Der noch in den Anfangszeiten des Skilaufs genutzte Schuh veränderte nicht nur sein charakteristisches Erscheinungsbild, sondern auch sein funktionelles Anforderungsprofil. Zu Beginn der ersten Entwicklungsphase war der Schuh daher hauptsächlich zum Skiwandern oder als Fortbewegungsmittel geeignet, ehe er durch die aufkommende Skitechnik des Bergabfahrens angepasst wurde (Ebert, 2010). War der Ski größtenteils noch Ende des 19. Jahrhunderts Transportmittel, so wandelte er sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts nach und nach zum Sportgerät, das einer Nutzung als Freizeitbeschäftigung diene. Auf Grund der Nutzung der Ski in anderem Gelände wurden die Defizite bisherig genutzter Materialien offensichtlich, demzufolge Änderungen oder Anpassungen der Ausrüstungsgegenstände notwendig wurden.

Die stattgefundene Akzentuierung des Bergabfahrens in der Sportart des Skilaufens bedingten daher eine Veränderung im Ski und Schuh (Tiwald, 1995). So war es hauptsächlich die Entwicklung der Lilienfelder-Skibindung durch den Skipionier Mathias Zdarsky im Jahr 1896, welche eine Weiterentwicklung auch der Skischuhe vorantrieb, da sie einen wesentlich besseren Seitenhalt im Schuh voraussetzte. Diese Anforderungen wurden vorwiegend durch die Fertigung steiferer Lederschuhe bewerkstelligt, die zudem mit einem höheren Schuhschaft ausgerüstet waren.

Mit zunehmender Etablierung des Skisports als Freizeitbeschäftigung wurde auch die Passform oder Bequemlichkeit verbessert (Ebert, 2010). Das vermehrte Aufkommen der Beförderungsmöglichkeiten verdrängte außerdem das bis dahin immer noch notwendige Aufsteigen, daraufhin der Schuh wesentlich abfahrtsorientierter gestaltet werden konnte. Notwendig war dazu hauptsächlich eine optimale Verbindung zwischen Ski und Schuh. Bei den bis in die 60er Jahre immer noch aus Leder gefertigten Schuhen (Abbildung 15) wurde dazu die Sohlensteifigkeit weiter erhöht und die Schnürung durch Aluminiumschnallen ersetzt. Somit konnte auch die Verwendung der ersten Skisicherheitsbindungen vorangetrieben werden.

Als einer der wesentlichsten Entwicklungsschritte kann der Einsatz von Kunststoff in der Fertigung von Skischuhen angesehen werden, welcher hauptsächlich durch die Firma Lange forciert wurde. Diese stellte 1963 erstmalig die Schale des Schuhs aus Kunststoff her, was die Stabilität enorm verbesserte und neue Wege für die Funktion des Skischuhs eröffnete (Ebert, 2010). Zur weiteren Entwicklung der anfänglich noch mit Schnürung verschließbaren Schuhe, wurden die zum Verschließen beim Lederschuh bereits eingesetzten Schnallen der Nutzung angepasst. 1967 wurde somit der erste Überlapp – Rennschuh von der zur heutigen Dynastar-Rossignol Gruppe gehörenden Firma Lange hergestellt. Der seit dieser Weiterentwicklung im Spritzgussverfahren gefertigte Skischuh wird daher häufig auch als Skistiefel bezeichnet, da er nur noch bedingt an einen Schuh erinnert.

Wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen bestanden hauptsächlich in der Schuhschafthöhe und in der Anzahl verwendeter Schnallen. Die dabei angewendete Überlapptechnik verschwand jedoch nach kurzer Zeit wieder, da sich vor allem für den Freizeitskiläufer einige Defizite aufzeigten. Besonders der Nutzungskomfort mit einer derartig verwendeten Konstruktion hergestellter Schuhe war relativ ungenügend, wodurch sich im Laufe der Folgejahre weitere Skischuhkonzepte als Alternativen entwickelten.

Der ab den 80er Jahren erhältliche Heckeinsteiger (Abbildung 15) kennzeichnete sich dabei nicht mehr durch Verwendung mehrerer, sondern durch eine einzige Schnalle. Der Verschlussmechanismus ist dazu am oberen Teil des Schaftes angebracht, bei dessen Öffnung der komplette, die Wade umschließende hintere Teil des Schuhschaftes, nach hinten geklappt wurde. Die Drehachse des so genannten Heckspoilers ist dabei hauptsächlich gleich mit der des oberen Sprunggelenks positioniert. Der Heckeinsteiger bot dem Nutzer hauptsächlich eine einfache Handhabbarkeit. Der Vorteil eines leichten Einstiegs in den Schuh ließ allerdings wenige Einstellmöglichkeiten zur individuellen Anpassung zu. Besonders durch den in der Höhe unveränderbaren Mittelfußbereich war die Individualisierung nur bedingt möglich, demzufolge die Modelle der Heckeinsteiger sich nicht durchsetzten und derzeit nicht von den Herstellern angeboten werden.

In den 90er Jahren konzentrierten sich daher die Entwicklungen auf Konzepte mit mehreren Schnallen, wobei Modelle mit vier Schnallen zunehmende Dominanz zeigten. Die Verbesserung des Nutzungskomforts sowie die Anpassung an die individuelleren anatomischen und biomechanischen Voraussetzungen des Skifahrers standen dabei im Vordergrund der Skischuhentwicklung.

Neue Skischuhtypen wurden beispielsweise durch einen zusätzlichen Gehmechanismus ausgerüstet, der die Geheigenschaft der Schuhe verbesserte. Durch Optimierung verwendeter Kunststoffmaterialien oder Verwendung spezieller gelenkverbundener Oberschalen wurde zudem der Schuhestieg komfortabler, was bisher nur das Heckeinsteigermodell bieten konnte. Ein weiterer Entwicklungsschritt vollzog sich durch die Nachfrage nach immer bequemeren Skischuhen, wodurch 2001 ein völlig neues Skischuhkonzept unter dem Überbegriff „Softboot“ auf den Markt gebracht wurde. Angelehnt an die bis dahin aus dem Snowboardsport bekannten und verwendeten Schuhe, sollte dieser zusätzlichen Komfort bieten, was durch den Einsatz alternativer Schalenformen und Verschlusssysteme ermöglicht wurde (Ebert, 2010). Kritiker bezweifelten allerdings die Funktionalität der Schuhe, da ihrer Meinung nach der Fuß durch die zu weiche Schale nicht genügend vor Verletzungen geschützt wurde. Auch die Übertragung von Steuerimpulsen, was die eigentliche Aufgabe des Skischuhs darstellt, konnte für einige Fahrsituationen nicht ausreichend gewährleistet werden. Nach anfänglicher Euphorie waren die Verkaufszahlen somit recht unbefriedigend, so dass heutzutage kaum noch eine Firma Softboots produziert oder anbietet.



Abb. 15: Lederskischuh um 1960 (links), Heckeinsteiger um 1980 (mitte), Überlappmehrschnallenskischuh 2011 (rechts) (eigene Aufnahmen)

Die dennoch bestehende Nachfrage nach komfortablen Skischuhen wird daher seit einigen Jahren durch den Einsatz verschieden harter Kunststoffmaterialien der Außenschale befriedigt. Zudem unterscheidet sich diese in der Breite, so dass derzeit grob zwischen sportlichen und komfortorientierten Skischuhen unterschieden werden kann. Die Schuhschale bei Komfortmodellen ist daher etwas voluminöser gestaltet, um durch die Verwendung von weichen und dickeren Materialien beim Innenschuh eine gute Wärmedämmung und eine angenehme bequeme Passform zu erreichen. Sportliche Modelle hingegen sind aus einem härteren Kunststoff hergestellt, wodurch der Schuh je nach Vorliebe oder Einsatzgebiet mehr oder weniger Steifigkeit erlangt, d. h. eine direktere und höhere Kraftübertragung ermöglicht.

Die Modelle im Freizeitbereich sind allerdings nicht wie noch in den vergangenen Jahren reine Renn-Skischuhe, sondern verschaffen dem Träger zusätzlich einen gewissen Komfort. Als Ergänzung bieten viele Firmen derzeit spezielle Freeridemodelle in ihrem Warensortiment an, welche oftmals mit einem Gehmechanismus ausgestattet sind, sich allerdings durch bessere Fahreigenschaften vom herkömmlichen Tourenschuh unterscheiden. Wie bei vielen Komfortmodellen werden bei diesen Schuhen oftmals nur 3 Schnallen verbaut, wobei ein breiterer Klettverschluss am oberen Schaftbereich die schließende Aufgabe der ursprünglich vierten Schnalle übernimmt. Alle Hersteller verkaufen zudem spezielle Damenschuhe, welche der Anatomie des weiblichen Fußes speziell angepasst sind. Möchte man sich seinen Schuh individuell anpassen lassen, so bieten die Hersteller mittlerweile dem Verbraucher eine ganze Reihe von Möglichkeiten. Angefangen von den wärmeverformbaren oder speziell geschäumten Innenschuhen bis hin zur individuell angepassten Außenschale wird so eine perfekte Passform erreicht, die den persönlichen anatomischen Gegebenheiten entspricht. Durch den Einsatz neuartiger Kunststoffmaterialien geht der Trend dabei hin zur Serienproduktion derartig anpassbarer Schuhe, was beispielsweise die Firma Fischer mit ihrer Vacuum Fit[®] Technologie derzeit anbietet.

Durch die Abformung der Fußform soll dabei in erster Linie eine Steigerung des Komforts in Verbindung mit hoher Funktionalität erreicht werden, was vor allem für abnormale Fußformen sinnvoll erscheint. Zudem suggerieren einige Hersteller durch spezielle Schalenkonstruktionen eine verbesserte Bewegungsperformance und damit ein sichereres Skifahren. Durch zwei elastische Zonen im Vorfußbereich, den so genannten Live-Fit-Zonen[®] der Firma Atomic, soll der Fuß seine natürliche Fußstellung beibehalten, was zu einer besseren Balance und gleichzeitig müheloser Skikontrolle führen soll. Ob derartige konstruktionstechnische Änderungen tatsächlich Einfluss auf die Bewegungskontrolle haben, d. h. anhand sportwissenschaftlicher Studien nachweisbar sind oder nur gut inszenierte Marketingstrategien darstellen, geht aus Informationen der Internetseiten der Hersteller nicht hervor.

2.3.2 Wissenschaftliche Studien

Der Skischuh muss eine ganze Reihe funktioneller Eigenschaften erfüllen. Im Wesentlichen hat er die Aufgabe hohe Kräfte, die vorrangig zur Steuerung der Ski notwendig sind, vom Skifahrer auf den Ski zu übertragen (Maxwell & Hull, 1989). Ebenso sollte auch ein schnelles Lösen des Schuhs von der Bindung im Falle eines Sturzes realisiert werden (Petrone et al., 2010). Gleichzeitig muss der Schuh aber auch den Sprunggelenks- und Schienbeinbereich vor Verletzungen durch Überbelastung im Sturzfall schützen sowie für eine Aufrechterhaltung des optimalen thermischen Zustands des Fußes sorgen. Ohne eine permanente Verbesserung in den vergangenen Jahrzehnten wären diese jedoch nicht möglich gewesen. Die Notwendigkeit wissenschaftlicher Untersuchungen ergibt sich daher häufig auf Grund der ständigen Weiterentwicklung des Materials, welche in der Sportart Ski alpin neben Verbesserung der Leistungsfähigkeit, besonders die Einflüsse entstandener Verletzungen genauer untersuchten. So gaben vor allem die im Kapitel 2.2 beschriebenen Änderungen in der Verletzungscharakteristik Anlass die Zusammenhänge genauer zu analysieren, wobei besonders der Skischuh als zentrales Element/Sportgerät in der Verbindung von Ski und Mensch im Focus stand.

Vor allem die in den 60er Jahren ansteigenden Tibiafrakturen gaben für Johnson & Pope (1977) den Anlass, sich als Erste mit der wissenschaftlichen Forschung zu beschäftigen, um den Einfluss des Skischuhs auf die steigende typische Skiverletzung zu hinterfragen. Im Ergebnis führten sie das häufige Nichtauslösen der Bindung sowie die Verwendung steifer und niedriger Skischuhe auf die typisch auftretenden Spiral- und Tibiafrakturen zurück und forderten in ihrer 1977 erschienenen Veröffentlichung eine Erhöhung der Schuhe. Außerdem stellte Ettliger et al. (1995) in diesem Zusammenhang fest, dass 80 % der Verletzungen der unteren Extremitäten durch ein Missverhältnis zwischen Skischuh und Bindung auftreten, wodurch der Begriff „lower extremity equipment-related“ (LEER) entstand. In Abhängigkeit einer Erhöhung der Skischuhe konnte wiederum durch Johnson et al. (1997) eine Reduktion der Sprunggelenksverletzungen abgeleitet werden, weil dadurch ein besserer Schutz des Sprunggelenks gewährleistet werden konnte. In Folge der Materialveränderungen konstatierten allerdings einige Forscher einen Anstieg von Schuhrandbrüchen (Shealy & Ettliger, 1987), was die eindeutige Abhängigkeit der bautechnischen Eigenschaften der Schuhe auf die Verletzungscharakteristik belegt. Die typische Biegefraktur tritt dabei im mittleren bis Anfang des distalen Drittels des Unterschenkelschaftes auf (Genelin et al., 1987). Die Stelle kann daher als eine Art Sollbruchstelle der Tibia angesehen werden, da 87 % der Brüche sich am Schuhrand ereignen. Begünstigt wird die Tatsache durch die nach distal abnehmende Biegefestigkeit des Schienbeins sowie durch die in diesem Bereich

weniger vorhandene Muskulatur des Unterschenkels, welche entsprechend bei Rückwärtsstürzen stabilisierend und dämpfend wirken könnte.

Die Veränderung des Skischuhs in der Schafthöhe hatte also auch negative Auswirkungen, deren Gegensteuerung laut den Autoren durch eine Anpassung der Bindungsfunktionen erreicht werden sollte. Bindungshersteller kamen dem Verlangen nach einer notwendigen Auslösefunktion in der Sagittalebene der vorderen Skibindung nach. Bezüglich der Sicherheitsbindung bestand aber nicht nur die Forderung einer Weiterentwicklung im Auslöseverhalten, sondern auch nach einer genaueren Einstellung, die zum Beispiel in Abhängigkeit der bei den Schuhsohlen verwendeten Materialien in ihrer Funktion beeinträchtigt sein kann. Asang und Hauser (1982) stellten in diesem Zusammenhang eine Veränderung des Auslöseverhaltens in Abhängigkeit der Schuhsohle im Vergleich zur Normsohle von über 50 % fest. Die zur Auslösung der Bindung notwendige Kraft differierte zudem bei unterschiedlichen Testbedingungen, welche bei trockener, nasser und mit Schmiermittel behandelter Sohle durchgeführt wurden. Den Autoren zufolge müsste dementsprechend die Bindungseinstellung auf Grund dieser und weiterer Studienergebnisse überarbeitet werden, da vor allem das System Bindung/Skischuh die Auslösecharakteristik beeinflusst.

Spätere sportwissenschaftliche Studien beschäftigten sich zudem mit auftretenden Belastungen am Heckspoiler des Skischuhs, dessen Steifigkeitsverhalten als maßgeblich für schuhinduzierte Kreuzbandverletzungen angesehen wird (Schaff & Hauser, 1990). Zur Verringerung der beim Rückwärtsfall entstehenden Kraftspitzen wurde dahingehend in einer ganzen Reihe an Studien ein spezieller Skischuh entwickelt, durch den ein flacherer Anstieg der Momentenkennlinie realisiert werden konnte. Abbildung 16 zeigt die nach der Digitalisierung bei einer typischen Rückwärtsfallsituation entstehende Bewegungsabfolge. Bei Verwendung eines nachgebenden Schuhschaftes tritt somit nach posterior eine für das Kniegelenk weniger belastende Situation auf. Deutlich zu erkennen ist dabei eine veränderte Bewegung des Skifahrers, der durch das Nachgeben des Schuhschaftes nach hinten eine Verringerung der Kräfte beim Abstützvorgang erfährt.

Laut Hauser (1997) kommt es dabei zu einer Reduktion der Kraftspitzen um den Faktor 5. Verwendeten Schaff und Hauser in ersten Versuchen noch Gummibänder, so konstruierte die Arbeitsgruppe um Senner et al. (1995) eine spezielle Mechanik, die ein Nachgeben des Heckspoilers ermöglichte. Bei Überschreitung eines gewissen Stützmomentes am Heckspoiler gab dieser um einige Winkelgrade nach, was nach Angaben der Autoren eine Verhinderung der Verletzung zum Ziel haben sollte. Gegenüber herkömmlichen Skischuhen konnte durch Nutzung des speziellen Sicherheitsskischuhs eine Reduktion der Kraft von über 25 % bei spezifischen Sprung- und Landesituationen nachgewiesen werden (Senner, 2001).

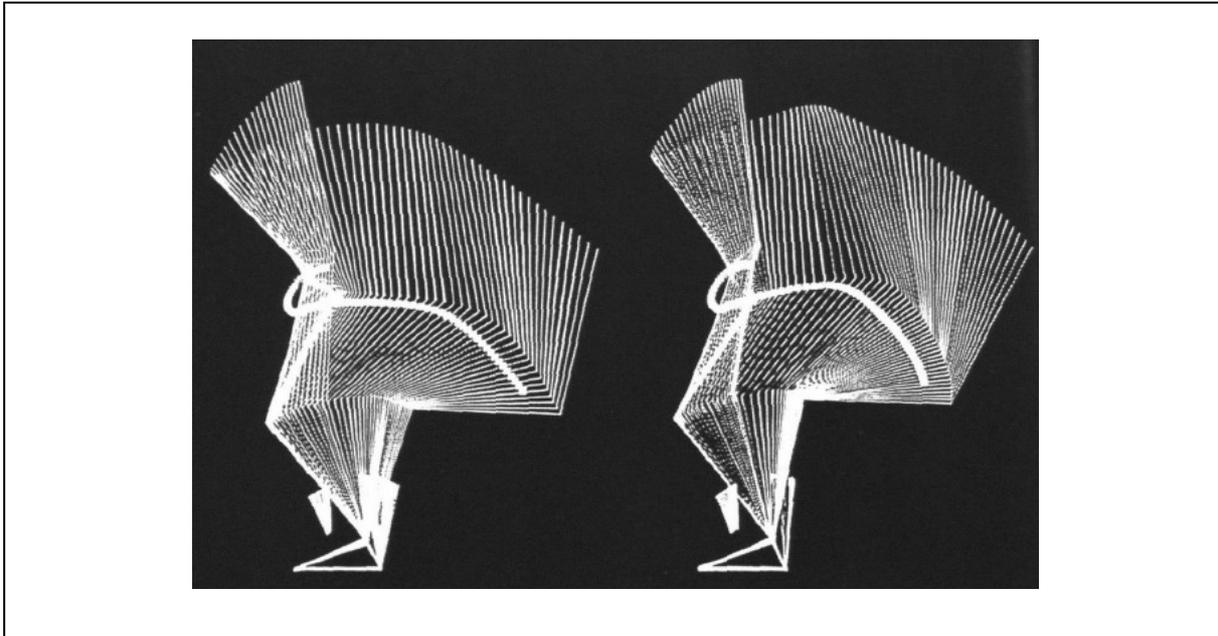


Abb. 16: Rückwärtsfall-Situation mit (links) u. ohne (rechts) nachgebenden Heckspoiler (Hauser, 1997, S. 204)

Die Ergebnisse wurden dabei mittels Berechnungsmodell generiert, in dem zahlreiche Erkenntnisse aus Labor- und Feldexperimenten einfließen. Der mit dem „Rear Release System“ von der Firma Lange ausgestattete Skischuh wurde daraufhin im Frühjahr 2001 vorgestellt, konnte sich jedoch nicht am Markt behaupten.

Anhand wissenschaftlicher Studien konnte auch der Einfluss des Skischuhs auf die Skifahrtechnik nachgewiesen werden, da diese eine Beweglichkeit des Skischuhschaftes nach anterior mit einem progressiven Schaftwiderstand voraussetzt (Schaff & Hauser, 1990). Je nach Modell ist dieser Schaftwiderstand unterschiedlich, was in Abhängigkeit des Fahrkönnens, Körpergewichts und Geschlechts einen mehr oder weniger stark unterschiedlichen Vorlagewinkel ermöglicht. Anhand der einzelnen Teilstudien konnten sowohl bei experimentellen als auch bei den fahrpraktisch erhobenen Daten Unterschiede in der Vorlageposition bei Verwendung gleicher Skischuhe festgestellt werden. Nicht-Skifahrer erreichten demnach gegenüber guten Skifahrern niedrigere maximale Druckwerte bei der Vorwärtsflexion. Die Ergebnisse spiegelten sich auch in der Fahrlernleistung wieder, da diese zwischen den Skigruppen differierte. Bei Verwendung von Skischuhen die einen weicheren Schuhschaft besaßen, konnte ein besseres Fahrkönnen nachgewiesen werden. Zudem konnten die experimentell gewonnenen Ergebnisse bezüglich der Vorlageposition im Feldversuch bestätigt werden (Schaff & Hauser, 1990). Da beide Gruppen in dieser Studie vor der Intervention gleiches skifahrerisches Können besaßen, konstatierten die Autoren einen erheblichen Einfluss des Schuhs auf den Fahrstil sowie die Skikontrolle.

Den Autoren zufolge beeinflusst der Skischuh somit die Position beim Skifahren in Abhängigkeit der Zielgruppe, die bei weniger guten Skifahrern durch eine zu wenig nach vorn geneigte Position gekennzeichnet war. Indirekt wirkt sich ein ungünstiger Schuh demnach auch auf die Verletzungsgefährdung aus, so dass die Autoren einen nicht nur in Bezug auf Passform oder Kälteisolierung angepassten Skischuh fordern, sondern dies auch auf das dynamische Verhalten bei Vorlagebewegungen ergänzen. Hauser (1997) empfiehlt daher einen dem skifahrerischen Können angepassten Schaftwiderstand, der bei genügender Flexibilität eine gewisse Beweglichkeit zulässt. Ist diese beispielsweise auf Grund eines zu steifen Schaftes nicht vorhanden, kann es zur Schädigung der Knorpelfläche im Kniegelenk kommen, welche durch erhöhte retropatellare Drücke entstehen können. Ebenso zwingt ein steifer Skischuh den Skifahrer in eine zu aufrechte Position, wodurch ein kontrolliertes Skifahren nur bedingt möglich ist. Die Autoren merkten diesbezüglich an, dass so typischen Verletzungssituationen infolge der Rücklageposition entstehen können, die hauptsächlich bei Anfängern erkennbar ist. Die Ergebnisse sollten allerdings kritisch hinterfragt werden, da sie zum einen auf subjektiver Beurteilung basieren und zum anderen nur bedingt bei standardisierten Testbedingungen erhoben sein können. Lediglich die genannten Empfehlungen könnten von Bedeutung sein, deren Wissenschaftlichkeit jedoch mit weiteren Studien geprüft werden sollten.

Die Wichtigkeit einer guten Passform des Skischuhs wird auch durch die von Schaff und Hauser in einer 1987 veröffentlichten Studie postuliert. Den Autoren nach sind typische skifahrerische Bewegungsausführungen bei Schmerzen nur bedingt möglich, deren Folge dann ebenso unfunktionelle Bewegungsabläufe wären. Dazu wurden verschiedene Skischuhmodelle bezüglich ihrer Passform beziehungsweise der auftretenden Druckwerte bei unterschiedlichen Vorlagepositionen untersucht, was im Ergebnis zu erheblichen unterschiedlichen Druckbelastungen bei gleicher Vorlage führte. Dabei war die Variabilität entstandener Drücke bei unterschiedlichen Versuchspersonen und 9 verschiedenen Schuhen im Ristbereich wesentlich höher als die im Schaftbereich, was auf höhere anatomische Variationen im Ristbereich zurückgeführt wurde. Zudem zeigten die damals neu auf dem Markt etablierten Heckeinsteiger gegenüber konventionell geschnallten Schuhen Unterschiede in der Lage der Maximaldruckwerte, was ebenso zur Beeinflussung der Fahreigenschaften beiträgt. Laut den Autoren führt dementsprechend beim Heckeinsteiger die mehr proximale Lage der Druckmaxima zu einer höheren Momentübertragung, so dass der Einstellwert des hinteren Teils der Sicherheitsbindung zukünftig von der Schafthöhe abhängig sein sollte. Schaff & Hauser (1989) sahen also auch hier in Bezug auf die Sicherheit Handlungsbedarf und forderten eine Überarbeitung der IAS Richtlinie 150, da diese lediglich Angaben zur Schaftausführung und Schaftsteifigkeit machte, nicht aber bezüglich differenzierter Zielgruppen unterschied.

Der Grund für die am Schaft erhöht auftretende Gesamtkraft wird von Schaff et al. (1988) in einer oft ungenügenden guten Passform des Skischuhs gesehen, was bei Untersuchungen der Druckverteilung an der Fußsohle festgestellt werden konnte. Demnach war bei starker Beugung eine vermehrte Belastung im Vorfuß bei gleichzeitiger Reduktion der Fersenbelastung nachweisbar, welches durch das Anheben der Ferse im Schuh hervorgerufen wird. Außerdem wurde bei fest geschlossenen Schnallen eine geringere Gesamtkraft auf der Fußsohle gemessen, woran die Wichtigkeit eines gut passenden Skischuhs deutlich gemacht wurde. Die Autoren setzen dies unmittelbar in Zusammenhang mit einer geringeren Gesamtermüdung während des Skifahrens (Schaff et al., 1988), die zudem mit einer geringeren Verletzungsgefahr einhergeht. Die Kausalität wird diesbezüglich allerdings nicht gegeben, so dass die Vermutungen in Frage gestellt werden können. Auch die Annahme von Hauser (1997), dass besonders bei Anfängern und Skifahrern mittleren Könnens eine ausgeglichene Druckverteilung für einen bequemen Skischuhsitz sorgt und demzufolge Fußschmerzen vermieden werden können sind lediglich als Vermutungen anzusehen.

Der Einfluss der Passform des Skischuhs auf mögliche Verletzungen wurde indirekt auch von Abe und Jensen (2009) betrachtet. Die Autoren untersuchten dazu die Dauer der Kraftereinwirkung in Abhängigkeit des Landungswinkels unter verschiedenen Schuhkonfigurationen. Experimentell wurde dazu die skitypische Situation einer Landung nach einem Sprung analysiert, da diese charakteristisch für eine schuhinduzierte Verletzung des vorderen Kreuzbandes angesehen werden kann. Die Probanden führten dazu Landungen in unterschiedlichen Positionen und mit verschiedenen fest geschlossenen Skischuhen durch, was im Ergebnis zu einer Einschränkung der Dorsalextension im Sprunggelenk bei festem Schuhschluss führte. Eine signifikante Veränderung der Aufprallzeit und entstehender Kräfte konnte zwischen den verschiedenen Schuhbedingungen allerdings nicht festgestellt werden. Lediglich die entstehenden Winkel im Knie- und Sprunggelenk waren bei der Landung signifikant ($p < 0,05$) verschieden.

Ob eine Überbeanspruchung oder Verletzung durch eine Beinachsenfehlstellung beim Skifahren hervorgerufen werden kann, untersuchten Böhm und Senner (2008). Ihrer Meinung nach wird eine Fehlstellung durch eine unnatürliche Position im Skischuh provoziert. Im Vergleich zur Standposition barfuß war ein bedeutsamer Unterschied sichtbar, so dass die Personen beim Tragen von Skischuhen eine unnatürliche Valgusposition einnahmen. Bei der Simulation der Skiposition bestand ebenfalls eine signifikante ($p < 0,001$) Valgusposition. Jedoch kann diese auf Grund der Datenlage von Sharma et al. (2001) als unbedenklich angesehen werden, zumal sie gleichzeitig durch die Verstellmöglichkeit des Skischuhs verringert werden kann. Allerdings wäre ein größerer Bereich zur Einstellung der Schaftneigung an die natürliche Unterschenkelposition notwendig

beziehungsweise wünschenswert. Bei den untersuchten Modellen betrug diese nur annähernd 10 %, was den Autoren zufolge nicht ausreichend ist.

Eine konstruktionstechnisch andere Lösung zur Anpassung der individuellen Kniegelenksstellung an eine fahrtechnisch optimale Position verwendeten Corazza und Cobelli (2005). Dabei wird die Verstellmöglichkeit nicht durch die Schaftneigung ermöglicht, sondern erfolgt durch den gesamten Schuh. Der mit dem speziellen Stance Geometry System ausgerüstete Skischuh (Abbildung 17) ist dabei durch eine variabel gelagerte Schuhsohle gekennzeichnet, was durch den bestehenden und zu sehenden Spalt im hinteren Anschlussbereich realisiert wird. Die Verbindung von Schuh und Fersenteil wurde konstruktionstechnisch durch zwei verschiedene Varianten verwirklicht. Die Eignung der entsprechenden Lagerungen, welche sich auf die Steifigkeit der Gesamtkonstruktion auswirken, wurde dabei durch eine experimentelle und simulierte Verfahrensweise überprüft. Im Endergebnis erwies sich die beidseitige Aufhängung als die steifere und damit geeignetere Konstruktion.

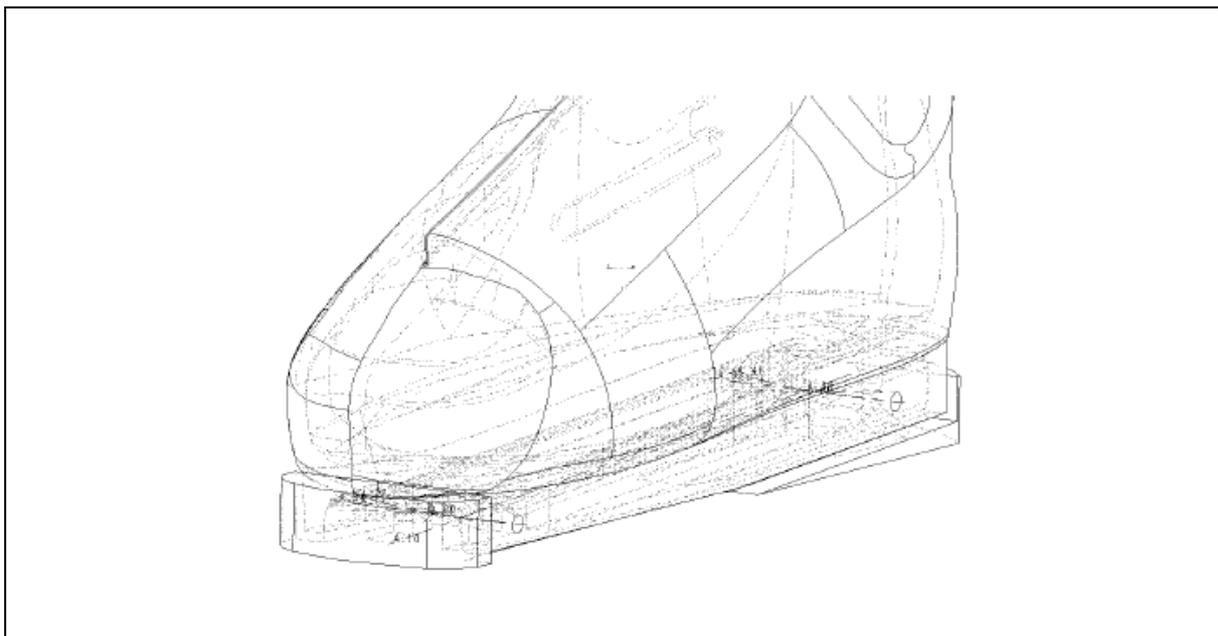


Abb. 17: Designstudie des Skischuhs mit Stance Geometry System (Corazza & Cobelli, 2005, p. 236)

Gemäß den Autoren kann eine mangelnde Torsionssteifigkeit der Schuhsohle das stabile Gleichgewicht des Skifahrers gefährden. Vor allem bei engen Kurvenradien oder schwierigen Pistenverhältnissen kann dadurch eine optimale Kurvenfahrt beeinträchtigt werden, so dass eine Verdrehung von über 2 – 3 Grad vermieden werden sollte. Vergleichbare Ergebnisse der Feldstudie konnte auch durch eine rechnergestützte Simulation ermittelt werden, wodurch der Einsatz dieser Methode bei zukünftigen Entwicklungen denkbar ist.

Die Auswirkung einer Verstärkungsplatte zur Verbesserung der Torsionssteifigkeit der Skischuhe untersuchte die Arbeitsgruppe um Petrone et al. (2010). Diese soll vor allem für fortgeschrittene Skifahrer Vorteile bringen. Der Einsatz einer aus Aluminium gefertigten Platte (Abbildung 18), welche in die Schuhsohle integriert wurde, brachte dabei eine Erhöhung der Torsionssteifigkeit. Im Vergleich zum herkömmlichen Modell ohne Verstärkungsplatte betrug diese 20 %. Positive Effekte zeigten sich bezüglich der Skitechnik vor allem in der Kraftübertragung beim Kantenwechsel, infolgedessen Steuerimpulse effektiver übertragen werden können.

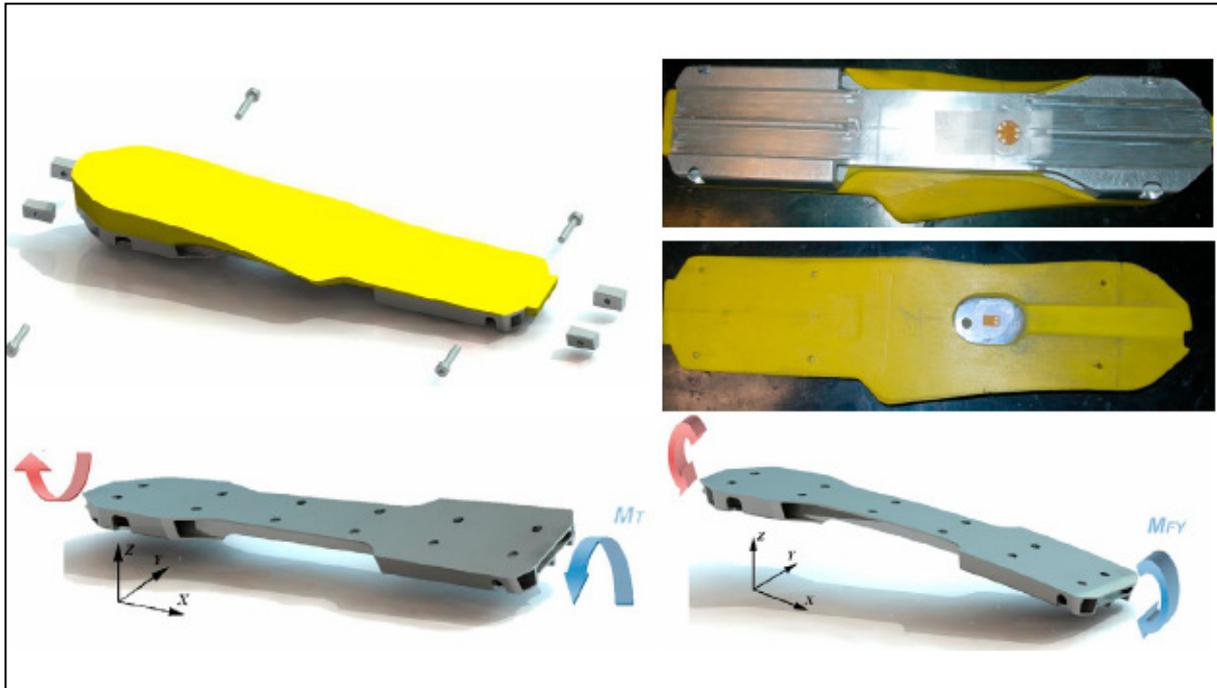


Abb. 18. Verstärkungsplatte am Skischuh zur Erhöhung der Skischuhsteifigkeit (Petrone et al., 2010, p. 2600)

Eine zu große Erhöhung der Schuhsteifigkeit dürfte allerdings nur im Skirennsport von Bedeutung sein, da im Freizeitbereich Veränderungen diesbezüglich nur von wenigen Skifahrern gefordert werden könnten. Die Erhöhung der Schuhsteifigkeit dürfte außerdem zu einer Minimierung des Schuhkomforts beitragen, der nach Wilke et al. (2004) für einen Großteil der Ski fahrenden Personen wichtiger ist.

Das Hauptkriterium beim Skischuhkauf war demnach bei den befragten Personen die Bequemlichkeit des Schuhs (46,9 %), gefolgt von der Funktionalität (30,3 %). Immerhin hatte fast die Hälfte der Befragten Beschwerden beim Tragen der von ihnen bisherig verwendeten Skischuhe, die bei 44,1 % auf Druckstellen zurückzuführen waren. Auffällig zeigte sich, dass bei günstigeren Schuhen häufiger Probleme auftraten als bei Modellen höherer Preiskategorie (Wilke et al., 2004). Aus der Studie geht allerdings nicht hervor, ob bei

teureren Schuhen auch weniger Druckstellen vorherrschen, da ebenso weitere Gründe wie beispielsweise kalte Füße als Beschwerdegrund angegeben wurden.

Laut Pinter et al. (2010) sind häufig die Fußsohle, der mediale Bereich des Sprunggelenks und die Mittelfußknochen eins und zwei (Os metatarsi I und II) die Bereiche, in denen Probleme auftreten. Bei der von den Autoren mittels Literaturrecherche veröffentlichten Zusammenstellung sind ebenso oft Beschwerden bezüglich der Passform im Schaftbereich zu verzeichnen, da dieser scheinbar ungenügend mit der Wadenform übereinstimmt. In Ihrer eigenen Untersuchung stand deshalb die Passformbewertung mittels gerätetechnischer Datenermittlung im Vordergrund, da eine subjektive Beurteilung häufig fehlerhafte Ergebnisse hervorbringt, d. h. von den Probanden ungenügend präzise erfolgt. Bei ihrer Studie verglichen sie Ergebnisse subjektiver Passformbewertung mit Daten die mittels verschiedener Messsysteme durchgeführt wurden. Zur objektiven Messung der Passform verwendeten die Forscher zwei spezielle mit Drucksensoren ausgestattete Systeme (X-Press System der Firma AUS Technikum Wien, TactArray-System der Firma Pressure Profile Systems Inc. Los Angeles), durch die der Unterschied der Druckverteilung innerhalb des Skischuhs bei verschiedenen Personen sichtbar gemacht werden sollte. Ebenso wurden Daten drei verschiedener Skischuhmodelle erhoben, um eine Abhängigkeit von der individuellen Passform beschreiben zu können. Im Ergebnis konnten die Autoren mittels eingesetzter Messmethoden starke Differenzen in auftretenden Druckwerten bei verschiedenen Personen bei gleichem Schuh feststellen sowie die Abhängigkeit der individuellen Passform vom Schuhmodell verdeutlichen. Auf Grund mangelnder Übereinstimmung von Schuh- und Fußform machten sich Druckstellen durch die Messsysteme allerdings nur punktuell bemerkbar, was im Vergleich zur subjektiven Passformbewertung so von den Probanden nicht wiedergegeben wurde. Die Autoren schlussfolgern daher die notwendige Weiterentwicklung der Systeme, so dass zu messende Drücke flächiger betrachtet werden können. Eine Erhöhung der Anzahl verwendeter Sensoren würde den Einsatz in der Passformbewertung sinnvoller machen und dementsprechend als Ergänzung in der Skischuhherstellung dienen.

Angelehnt an seine theoretischen Grundlagen zur strukturellen Beschreibung und Bewertung der Funktionalität von Sportprodukten beschäftigte sich Ebert (2010) im Rahmen seiner Dissertation mit der Funktionalität von Skischuhen. Auf der Basis der von ihm durchgeführten Literaturanalyse stellte er dazu in einem ersten Schritt grundsätzliche Anforderungen zusammen, welche anschließend mit Hilfe einer Kano-Analyse durch Befragung gewichtet wurden. Der daraus zur Bewertung der Funktionalität erarbeitete Fragebogen gliederte sich in verschiedene skitypische Bewegungssituationen, so dass eine Bewertung verschiedener Schuhmodelle im Rahmen einer Feldstudie durchgeführt werden konnte. Die Unterteilung erfolgte dabei in die drei unterschiedlichen Fahrsituationen wie mittelsteiles Gelände –

sportliches Fahren, flaches Gelände – ökonomisches Fahren und steiles Gelände – sicheres Fahren. Die Bewertung der Funktionalität erfolgte anhand einer neunstufigen Ratingskala für die jeweiligen Unterkategorien, welche ebenso in einer weiteren Situation (Tragen, Gehen, Steigen und Schussfahren) angewendet wurde und die Funktionalität des Skischuhs bewertete. Allgemeine Fragen zur Passform in verschiedenen Schuhbereichen wurden durch dichotome ja/nein Fragen beantwortet.

Im Ergebnis sind so Unterschiede im Funktionalitätswert zwischen den in seiner Studie untersuchten Softboots, Allroundschuhen und Raceschuhen erkennbar, welche je nach Fahr- oder Nicht-Fahrsituation und Fahrkönnen bewertet werden mussten. Durch den auf der Datenbasis gebildeten Mittelwert der drei Fahrsituationen ergibt sich demnach der Funktionalitätswert, dessen Differenzierung für Personen mit unterschiedlichem Leistungsniveau erfolgt. Der laut dieser Studie durchgeführte Skischuhtest erbrachte für den Raceschuh das beste Funktionalitätsergebnis, wobei in speziellen Situationen und für einzelne Skifahrergruppierungen der Allroundschuh geringfügig funktioneller bewertet wurde. Nach Ebert ist eine Abhängigkeit der Funktionalitätsbeurteilung zudem von der Fahrsituation gekennzeichnet, die er im Gesamtergebnis allerdings nicht gewichtete. Zum Vergleich der Funktionalität verschiedener Skischuhtypen stellt diese Vorgehensweise dennoch ein neues Konzept dar.

Durch eine ähnliche Verfahrensweise untersuchte Kogler (2007) die Funktionalität alpiner Kinderskischuhe, wofür er sich mit deren spezifischem Anforderungsprofil auseinandersetzte. Um das bestehende Anforderungsprofil anpassen zu können wurden aktuelle Skischuhmodelle zum einen vermessen und mit anthropometrischen Daten von Kinderfüßen verglichen. Zum anderen erfolgte eine Überprüfung des Bewegungsverhaltens von Kindern. Im Ergebnis stellte der Autor bei den meisten momentan auf dem Markt befindlichen Skischuhen eine zu geringe Leistenbreite fest sowie einen Mangel an funktionellen Eigenschaften. Zukünftige Schuhe müssten demzufolge dem kindlichen Bewegungsprofil besser angepasst sein, was beispielsweise durch den Einsatz einer rutschfesten Sohle realisiert werden könnte. Ebenso wären eine Verringerung des Schuhgewichts wünschenswert sowie die Anpassung der Schalenhärte auf die Kraftentwicklung des Kindes. Zudem sollte eine einfache Handhabbarkeit bezüglich des Ein- und Ausstiegs angestrebt werden, um dem Nutzungskomfort an die kindlichen Bedürfnisse entsprechend spezifischer gestalten zu können.

Einen im Anforderungsprofil der Skitechnik speziell angepassten Skischuh entwickelten auch Schaff und Olbert (1996), wobei die Verbesserung der Buckelpistentechnik als Grundidee bestand. Der spezielle Schuh wurde dazu in der Höhe des Schaftdrehpunktes modifiziert, so dass eine wesentlich höhere Sprunggelenksbeweglichkeit ermöglicht wurde. Der Drehpunkt lag 1,5 cm höher als der des Referenzschuhs, was einen Vorlagewinkel von ca. 50 Grad im

Sprunggelenk ermöglichte und eine Schwerpunktverlagerung nach anterior auch in der Hocke zuließ. Im Hinblick auf eine zu erwartende verringerte Stoßbelastung sollte so eine erhöhte Skikontrolle sichtbar sein bzw. sich dies in einer verbesserten Technik widerspiegeln. Da bei der Buckelpistentechnik während der Fahrt annähernd eine gleichmäßige Druckbelastung unter der Fußsohle vorherrscht, wurden die an der Ferse und am Ballen gemessenen Werte zusammengefasst und die gemittelten Daten aus 30 Überfahrten analysiert. Die Ergebnisse zeigten dabei einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Schuhen, was in einer Verringerung der Fersenbelastung bei Benutzung des Spezialschuhs sichtbar gewesen ist. Wie vorhergesagt wurde, verhielten sich die Druckbelastungen im Vorfußbereich gegensätzlich, so dass in diesen Bereichen ein Anstieg der gemittelten Daten auftrat. D. h. durch Veränderung der Skischuh kann das System Hüfte - Knie - Sprunggelenk wesentlich effizienter Stoßbelastungen absorbieren, was indirekt zu einer Verringerung der Belastung des Kniegelenks führt (Schaff & Olbert, 1996).

Als Konsequenz der Studienergebnisse von Machens (2005) muss aber angenommen werden, dass der dadurch für das Gelenk schonendere Fahrstil zu einer erhöhten Muskelaktivität in den an der Bewegung beteiligten Muskeln führt. Die Autorin nutzte allerdings bei ihrer Studie im Schaftmaterial grundlegend verschiedene Schuhmodelle, wodurch eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf die in der Studie von Schaff und Olbert (1996) enthaltenen Resultate nicht erfolgen kann.

Dass die Charakteristik zur Datenerhebung genutzter Schuhmodelle grundsätzlich divergent ist oder sein kann, zeigten Walkhoff und Baumann (1987) als sie Hysteresenkurven des Schaftmaterials verschiedener Skischuhe bei Vorwärtsflexion miteinander verglichen. Die aufzubringende Kraft pro Grad Vorwärtsflexion differierte nicht nur zwischen den Schuhen untereinander, sondern auch bei einem Schuh, sobald die Messung bei unterschiedlichen Temperaturen erfolgte. Dementsprechend musste bei einem Überlappschuh wesentlich mehr Kraft aufgewendet werden als vergleichsweise bei einem Heckeinsteiger. Wurden die Messungen bei -10° Celsius anstatt bei 20° Celsius durchgeführt, verdoppelte sich sogar pro Grad Vorlage die aufzubringende Kraft. Die Autoren wiesen daher auf wesentliche Schwachpunkte im Messverfahren der IAS – Richtlinie 150 hin und fordern diesbezüglich eine Überarbeitung der Norm. Ebenso verwiesen die Autoren auf eine ungenügende Validität des Verfahrens. Sie verglichen dazu Werte der Messprothese mit denen, die mit Personen gemessen wurden. Im Ergebnis der Druckmessung am menschlichen Unterschenkel konnten sie dabei erhebliche Unterschiede feststellen, welche bis zu 50 % divergent zur Messprothese waren. (Walkhoff & Baumann, 1987)

Auch Bonjour und Delouche (1989) bezweifelten auf Grund ihrer Messergebnisse die Anwendbarkeit der Norm, da die Messwerte der Prothese sich zum tatsächlichen am Unterschenkel auftretenden Wert unterschieden. Zudem stellten sie fest, dass die

gemessenen Werte von Person zu Person um bis zu 50 % schwankten. Der Schuhsteifigkeitswert ist nach Meinung der Autoren daher immer von den anatomischen Voraussetzungen des jeweiligen menschlichen Unterschenkels abhängig. Dabei ist jedoch unklar, inwieweit die Messwerte von der Passform beeinflusst werden. Ein Vergleich der Steifigkeit könne daher nur unter spezifischen Bedingungen geprüft werden, wobei die Datenerhebung mit der Messprothese lediglich einen Teil darstellt.

Eine weitere Untersuchung zeigte außerdem, dass auch bei Verwendung unterschiedlicher Prothesen Schwankungen auftraten, so dass unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse nicht eindeutig die Steifigkeit eines Schuhs angegeben werden kann. Ein Unterschied kann daher sinnvollerweise nur durch einen individuellen subjektiven Vergleich projiziert werden oder aber durch eine verbesserte Messprothese. Derzeit bestehen allerdings keine anerkannten Vorschriften, welche eine einheitliche Vergleichbarkeit von Schaftsteifigkeiten wiedergeben kann.

2.3.3 Normen und Konstruktionsmerkmale

Alle für den Pistenskillauf verwendeten Skischuhe müssen den Anforderungen und Prüfverfahren der DIN – ISO Norm 5355 entsprechen. Die internationale Norm wurde in Zusammenarbeit mit Österreich, Frankreich, Deutschland, Italien, Schweiz und den Vereinigten Staaten erarbeitet und besteht seit 1991. In Deutschland wurde die Norm für Skischuhe erstmalig 1975 unter der Nummer 7880 veröffentlicht. Die internationale Norm bezieht sich im Wesentlichen auf die zur Verbindung mit derzeitigen Systemen von Skibindungen verwendeten Bereiche, deren Befestigung an der Schuhspitze und am Schuhabsatz erfolgt. Ziel der Norm ist es, eine einwandfreie Auslösefunktion der Bindung garantieren zu können (DIN ISO 5355, 2006).

Die Festlegung der Längen- und Breitenmaße beziehen sich dabei auf die Anschlussbereiche, welche die unmittelbaren Kontaktflächen zur Skibindung kennzeichnen (Abbildung 19). Der Bereich sollte zudem eben sein und die Gleitreibungszahl zwischen Schuh und Bindungselement $\leq 0,1$ betragen. Der Härtegrad des in den Anschlussstellen verwendeten Materials darf einen Wert von 50 Shore nicht unterschreiten, welcher bei einer Temperatur $23 \pm 2^\circ\text{C}$ gemessen wird. Der Norm unterliegen alle Skischuhe beginnend mit Größe 15,0. Sie unterscheidet in Skischuhtyp A für Erwachsene, beginnend ab Größe 20,0 und Skischuhtyp C für Kinder (15,0 bis 25,0). Der Kennbuchstabe des Typs sowie die Schuhmittenmarkierung müssen am Schuh dauerhaft angebracht sein. Für weitere Maße und Prüfrichtlinien wird an dieser Stelle auf die DIN-Norm verwiesen.

Zum eigentlichen Schuh sowie zu verwendeten Materialien macht die DIN-Norm keine weiteren Angaben. Eine Vorgabe der zu nutzenden Werkstoffe mit entsprechenden Materialeigenschaften wird nicht gemacht, was auch für entsprechende Konstruktionsmaße gilt. D. h. die den Fuß und den Unterschenkel umgebende Schale bzw. der Innenschuh bleiben weitestgehend unberücksichtigt von der DIN-Norm und bieten jedem Hersteller individuelle Gestaltungsmöglichkeiten.

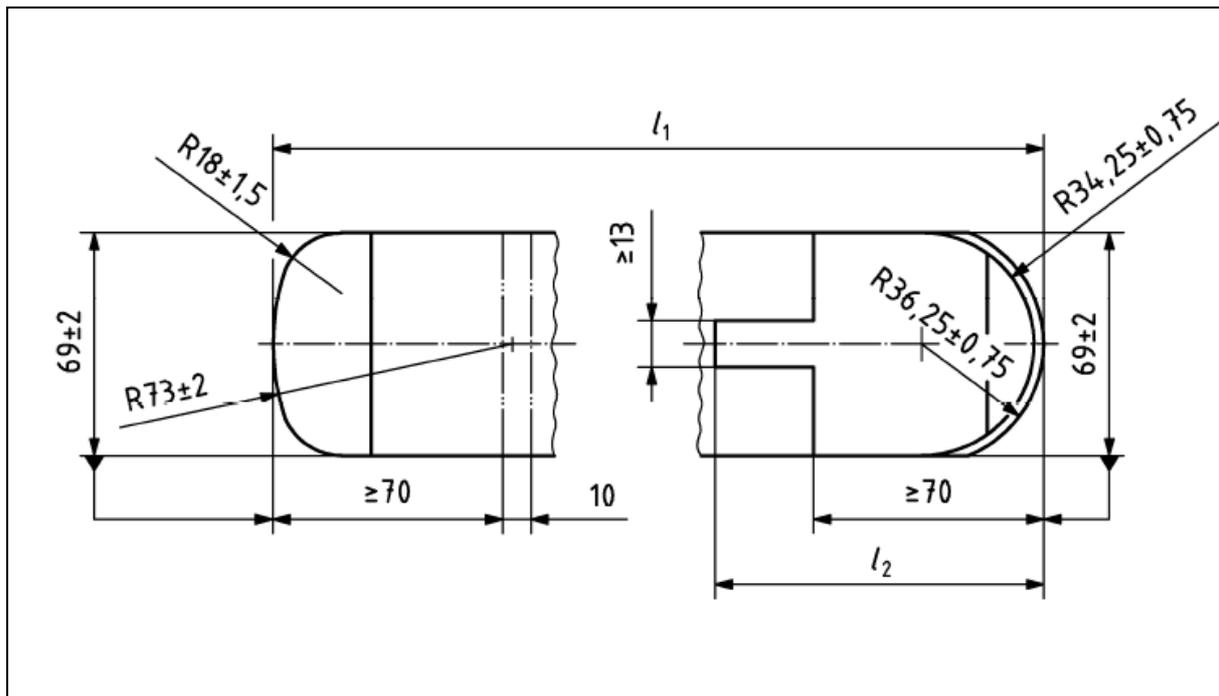


Abb. 19: Maße des Anschlussbereichs beim Skischuh Typ A (DIN ISO 5355, 2006, S. 6)

Ergänzungen hierzu werden durch die Norm 150 gegeben, welche vom internationalen Arbeitskreis für Sicherheit im Skisport bereits 1980 veröffentlicht wurde und Kriterien zur Gestaltung von Skischuhen festlegt. Zum Schutz vor Sprunggelenksverletzungen sind daher die Steifigkeitswerte bei verschiedenen Winkelstellungen (Abbildung 20) vorgegeben.

Bei 20° Flexion nach anterior schreibt die Arbeitsgruppe eine maximale Steifigkeit von 200 Nm vor, um skitypische Bewegungspositionen einnehmen zu können. Begrenzt wird die Flexion durch eine minimale Steifigkeit von 200 Nm bei 45° Vorlage (IAS, 1980). Da die entstehenden Kräfte jedoch abhängig vom Körpergewicht oder der maximal willkürlich aufzubringenden Kraft des Skifahrers sein dürften, ist eine Verallgemeinerung kritisch zu hinterfragen. Lediglich eine konstruktionsbedingte Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk kann als sinnvoll angesehen werden, um beispielsweise dieses vor Verletzungen schützen zu können.

Eine Berücksichtigung der Steifigkeitswerte findet im Zusammenhang mit der Masse des Skifahrers oder dem Fahrkönnen jedoch nicht statt, sondern bezieht sich lediglich auf einen Referenzschuh der Schuhgröße 8. Der durch die Richtlinie vorgegebene Steifigkeitswert unterscheidet demnach nicht zwischen Erwachsenen, Jugendlichen oder Kindern und stellt somit nach Shealy und Ettliger (1987) einen wesentlichen Schwachpunkt dar. Ebenso erfolgt keine Berücksichtigung der Materialeigenschaftsveränderung in Abhängigkeit der Temperatur. In der Norm wird lediglich eine Begrenzung der maximalen Steifigkeitserhöhung von 30 % bei allen Temperaturen empfohlen. Walkhoff und Baumann (1987) stellten jedoch fest, dass bei Temperaturreduzierung die durchschnittliche Schaftsteifigkeit dramatisch ansteigt, was die Anwendbarkeit der Norm in Frage stellt, zumal wie ausführlich im Kapitel 2.3.2 beschrieben, die Messwerte zu tatsächlich auftretenden Bedingungen differieren.

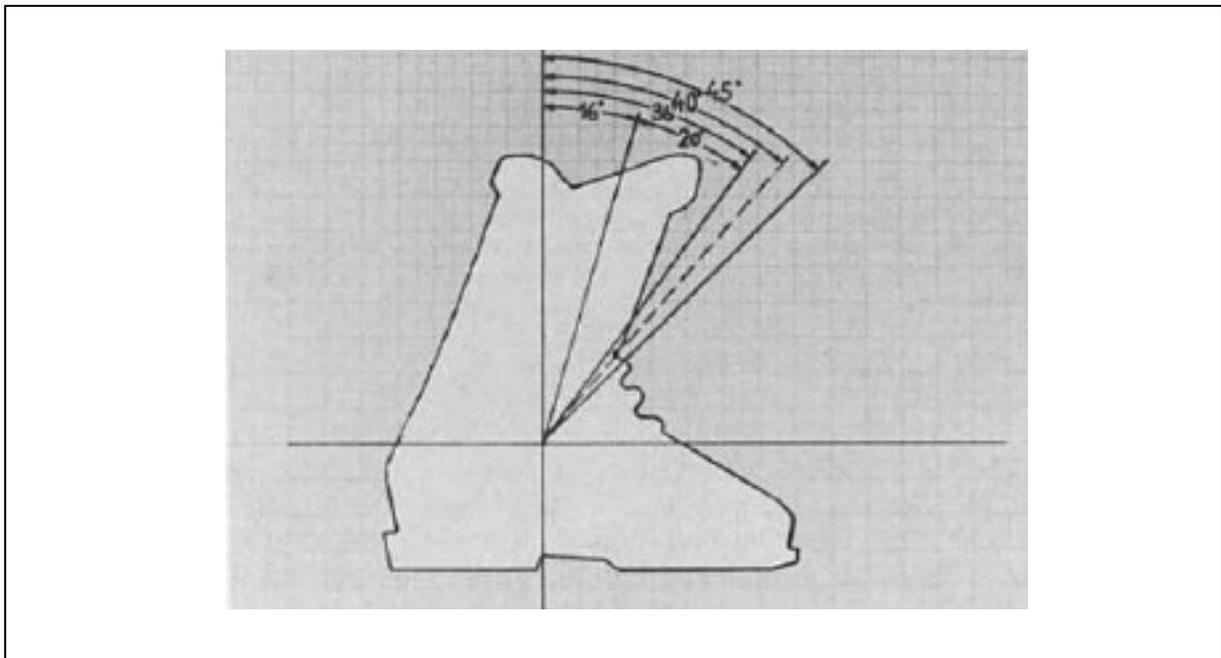


Abb. 20: Winkelangaben der IAS 150 Richtlinie (Walkhoff & Bauman, 1987, S. 128)

Die Angaben zur Steifigkeitscharakteristik des Schuhs erfolgen seit geraumer Zeit durch den Hersteller anhand des so genannten Flexindex. Durch den Index wird die Steifigkeit der Schuh-Schaft-Konstruktion angegeben, wobei für einen verlässlichen Vergleich der Schuhe eine herstellerunabhängige Grundlage zur Bestimmung der Flexion fehlt (Ebert, 2010). Demnach verwenden die verschiedenen Hersteller unterschiedliche Angaben bzw. findet keine einheitliche Prüfung der Werte statt. Grundsätzlich ist aber festzuhalten, dass je höher die angegebene Kennzahl, desto härter ist der Schuh. Entsprechend tritt weniger Vorwärtsflexion bei gleicher Kraft auf. Bei der Unterscheidung aktuell auf dem Markt befindlicher Schuhe hat in den letzten Jahren eine Individualisierung nach Zielgruppen

stattgefunden, so dass eine Differenzierung der Schuhe auch auf Grund ihrer Eigenschaften erfolgen kann. Dabei können durch die für die Fahrcharakteristik des Schuhs maßgebliche Bezeichnung Rückschlüsse gezogen werden. Unterschieden wird derzeit häufig in Race-, All-Mountain- oder Freerideschuh, wobei auch die Bezeichnungen Komfort-, oder Performancemodell verwendet werden. Sportlich orientierte Skischuhe besitzen demzufolge meist eine härtere Schalenkonstruktion, wodurch eine direktere Kraftübertragung auf den Ski gewährleistet wird. Allroundmodelle hingegen sind durch eine weichere Schale gekennzeichnet. Entsprechend der Reduzierung der Schalenhärte steigt der Komfort der Schuhe, was häufig zusätzlich mit einer weiteren Leistenbreite und dem beim Innenschuh verwendeten Materialien zusammenhängt. Der Innenschuh bei weniger sportlich orientierten Schuhen ist dementsprechend aus weicheren und dickeren Materialien gefertigt. Die Breitenangaben der Hersteller entsprechen der breitesten Stelle im Bereich des Ballens, d. h. von Ossa metatarsalia I bis V. Entsprechend kann der Abstand auch als Ballenbreite gesehen werden. Bezüglich der Passform sollte jedoch beachtet werden, dass die individuelle Lage der Ballenlinie nicht zwangsläufig mit der Lage im Schuh übereinstimmt. In Anlehnung an die Ausführungen von Rossi und Tennant (1984) könnte eine fehlende Übereinstimmung daher zu Diskomfort führen.

Angeboten werden die verschiedenen Skischuhe hauptsächlich in einer Leistenbreite von 95 – 105 mm (Abbildung 21), so dass je nach Verwendungszweck oder Fußmorphologie die Auswahl erfolgen sollte.

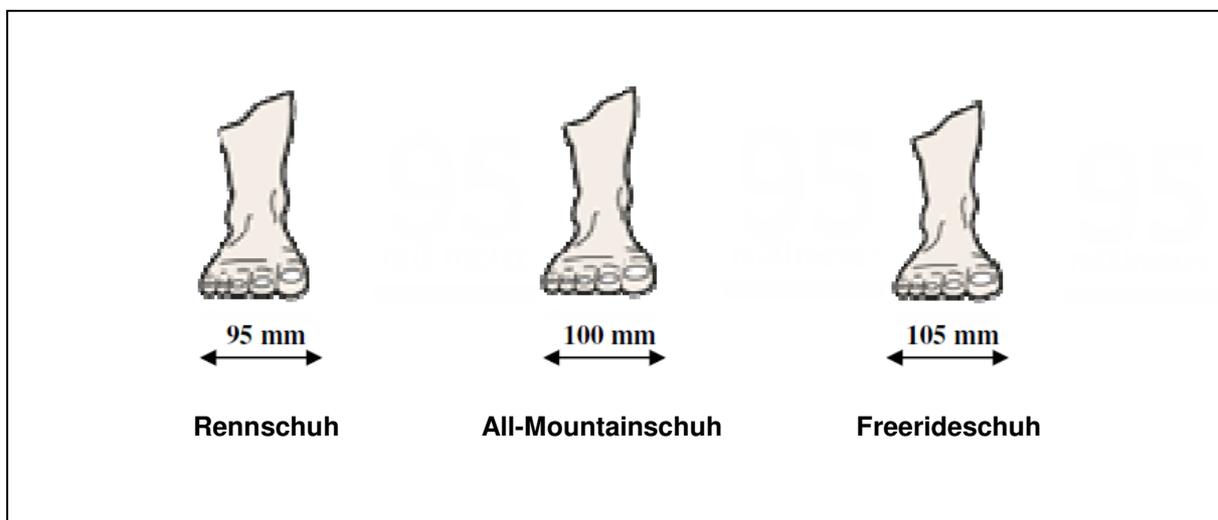


Abb. 21: Darstellung unterschiedlicher Leistenbreiten (in Anlehnung an Dalbello®, 2012)

Die Angaben beziehen sich auf die Referenzgröße 26,5 bei Schuhen für männliche und 24,5 für weibliche Füße. Eine Breite von 95 mm ist dabei bei Schuhen vorzufinden welche für den Rennsport konzipiert sind. Der Komfort steigt laut den Herstellern mit zunehmender Leistenbreite. All-Mountain Schuhe sind daher häufig 98 – 100 mm breit und Einsteigermodelle oder spezielle Freerideschuhe bis zu 105 mm. Eine Normung der Einteilung ist nicht einheitlich vorgegeben und wird von jedem Schuhhersteller individuell gestaltet. Die Schuhgrößen werden bei alpinen Skischuhen nach dem Mondopoint-System angegeben und basiert auf der Norm ISO 9407. Die Größenbezeichnung alpiner Skischuhe wird demnach durch die Fußlänge in cm angegeben, wobei sie die Fußbreite berücksichtigt, die für die einzelnen Schuhgrößen graduiert werden.

Kenntnisstand:

Die in diesem Abschnitt betrachteten Studienergebnisse machen deutlich, dass der heutige Skischuh dem Verbraucher durch die in den vergangenen Jahren stattgefundenen ständigen Weiterentwicklungen eine Vielzahl von Eigenschaften bietet. Entsprechend den unterschiedlichen Anwendungsbereichen ist die bautechnische Charakteristik verwendeter Skischuhe verschieden. Den Schuhen werden dabei spezifische Eigenschaften zugeordnet, welche unter anderem häufig auch den Komfort auf Grund der unterschiedlichen Leistenform widerspiegeln.

Unreflektiert blieb dabei bisher die Funktionalität verschiedener Modelle, die vor allem bezüglich der Beeinflussung der Fahrperformance bedeutsam sein könnte. Aus den dargelegten Studien wird dabei ersichtlich, dass der Skischuh mehr oder weniger die Charakteristik auftretender Verletzungen in den zurückliegenden Jahren beeinflusst hat. Ein Hauptziel der wissenschaftlichen Untersuchungen lag demzufolge darin begründet, eine Verbesserung der Fahrperformance durch den Skischuh zu erlangen, was häufig gleichbedeutend mit einer Reduzierung auftretender Verletzungen gewesen sein dürfte. Die vielschichtigen Ansatzpunkte zeigen das besondere Interesse der genannten Autoren und betonen zugleich die Wichtigkeit des zu bearbeitenden Forschungsfeldes, welches im Nachfolgenden durch die zentralen Fragestellungen präzisiert werden soll.

2.4 Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen

Durch die im Rahmen der theoretischen Grundlagen bisherig zusammengetragenen Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen lassen sich die wesentlichen Einflussfaktoren im sportmotorischen Anforderungsprofil der Sportart Ski-alpin auszugsweise darstellen. Die Erkenntnisse dienen dabei sowohl der Vollständigkeit als auch der Darstellung der speziell zu untersuchenden Thematik. Vor allem infolge der Betrachtung von konditionellen und koordinativen Fähigkeiten wird die Komplexität des Anforderungsprofils der Sportart deutlich.

Das Zustandekommen der sportlichen Leistung ist demnach von mehreren Faktoren abhängig (Pernitsch & Staudacher, 1998) und je nach Leistungsniveau unterschiedlich gewichtet. Die Studienlage zeigt dementsprechend, dass nicht eine sondern mehrere leistungsbestimmende Komponenten existieren, deren Abhängigkeiten untereinander herausgestellt wurden. Trotz alledem wird dabei ersichtlich, dass die Bedeutung der Gleichgewichtsfähigkeit im Konstrukt der Leistungsfähigkeit eine gewichtende Rolle allgemein einnimmt (Pernitsch & Staudacher, 1998; Spitzenpfeil & Mester, 1997; Scherr et al., 2011). Der Stellenwert der Fähigkeit ist dabei außerdem in Bezug zu Ursachen entstehender Verletzungen erkennbar (White & Johnson, 1993). Nach Meinung verschiedener Autoren ist die Qualität skispezifischer Bewegungen somit in Abhängigkeit zur Gleichgewichtsfähigkeit zu sehen (Mester, 1997; Raschner et al., 2008), wodurch sie als Faktor im sportmotorischen Anforderungsprofil eine vorrangige Stellung einnimmt (Raschner et al., 2001). Besonders im Breitensport, in dem der Leistungsgedanke in den Hintergrund rückt, scheint daher der Grundgedanke einer Risikoreduzierung oder Sturzvermeidung in Abhängigkeit des Materials sinnvoll zu sein. Dass dieser nicht unbegründet ist, zeigt sich durch die in den vergangenen Jahren vermehrte Analyse entstehender Belastungen und Verletzungen. Insbesondere der Skischuh spielte dabei eine nicht unerhebliche Rolle (Schaff et al., 1988; Hauser, 1997; Abe & Jensen, 2009).

Die Resultate der zahlreichen Studien zeigen, dass der Schuh einen wesentlichen Einfluss auf die Bewegungsregulation im alpinen Skisport nehmen kann (Mildner et al., 2010; Noe & Pillard, 2005), wobei besonders die sensomotorischen Verarbeitungsprozesse von außen einwirkender Reize maßgeblich sind (Spitzenpfeil & Mester, 1997; Raschner et al., 2008). Im Kontext beeinflussender Faktoren wurde diesbezüglich auch die Passform alpiner Skischuhe angeführt, da beispielsweise entstehende Druckbelastungen die sportartspezifische Leistungsfähigkeit beeinflussen können (Schaff & Hauser, 1987; Schaff et al., 1988; Hauser, 1997). Besonders der individuellen Fußmorphologie ungenügend angepasste Schuhe können so Beeinträchtigungen hervorrufen, die zu Überlastungsbeanspruchung oder Fußfehlstellung führen können.

Die in diesem Zusammenhang zu skispezifischen Bewegungssituationen betrachteten wissenschaftlichen Studien dienen somit als Ausgangspunkt des vorliegenden Forschungsansatzes und können wie folgend zusammengefasst werden:

- im Konstrukt des Anforderungsprofils besitzt die Gleichgewichtsfähigkeit als eine der koordinativen Fähigkeiten eine besondere Bedeutung im alpinen Skisport und bestimmt somit das Niveau der Leistungsfähigkeit
- die Gleichgewichtsfähigkeit prägt dabei speziell im Breitensport die Qualität der Bewegungsausführung skispezifischer Bewegungssituationen
- mit einer dadurch in Abhängigkeit stehenden Sturzhäufigkeit ist die Gleichgewichtsfähigkeit zudem im Zusammenhang zur Verletzungshäufigkeit zu sehen
- die Weiterleitung sensomotorischer Reize aus der Umwelt durch den Skischuh ist dabei elementar, um über geeignete motorische Bewegungen das Gleichgewicht aufrechterhalten zu können
- die Charakteristik der Skischuhe beeinflusst die Bewegungsperformance des Skifahrers, wobei besonders eine ungenügende Passform im Bereich der Ballenbreite und Risthöhe Einfluss nimmt

Durch den sich infolge der vielschichtigen Betrachtungen ergebenden Forschungsstand kann festgestellt werden, dass der direkte Einfluss unterschiedlicher Skischuhe auf die Bewegungsgüte noch nicht untersucht wurde. Auch die Abhängigkeit notwendiger sensomotorischer Wahrnehmungsprozesse ist bisher nicht Gegenstand der Untersuchungen gewesen. In Verknüpfung der beiden Wissensdefizite zielt der angestrebte Erkenntnisgewinn daher auf die Bedeutung der Passform als beeinflussender Faktor bei skispezifischen Bewegungen ab, woraus sich die im folgenden Kapitel formulierten Fragestellungen ergeben.

3 Fragestellungen der Arbeit

Wie die Betrachtungen der theoretischen Grundlagen gezeigt haben, existieren derzeit nur sehr wenige sportwissenschaftliche Untersuchungen, die eine Abhängigkeit der Skischuhe auf die Güte der Bewegungsausführung deutlich machen. Aus den Literaturrecherchen heraus ergibt sich daher die Notwendigkeit den Einfluss unterschiedlicher Schuhmodelle zu untersuchen beziehungsweise deren Zusammenhang zum möglichen Sturzrisiko empirisch zu betrachten. Den wesentlichen Schwerpunkt der Arbeit bildet somit die Fragestellung, ob die Gleichgewichtsfähigkeit bei sportartspezifischen motorischen Bewegungen vom Skischuhmodell abhängig ist. Durch die Verwendung unterschiedlicher Skischuhe ergibt sich zudem die Fragestellung, wie die Passform und der Komfort verschiedener Skischuhe vom Probanden subjektiv wahrgenommen wird beziehungsweise welche Anforderungen der Nutzer an die Schuhe stellt. Weiterhin ist von besonderem Interesse, ob zwischen den jeweiligen Schuhmodellen Differenzen bezüglich der sensorischen Wahrnehmungsqualität bestehen. Entscheidend dürfte in diesem Zusammenhang das charakteristische Verhalten des Fußes im Tagesverlauf sein respektive die Veränderung seiner Morphologie. Ob er dabei in einzelnen Bereichen zunimmt oder sich verringert wird dabei durch eine weitere Studie wissenschaftlich untersucht. Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen soll somit ein wesentlicher Beitrag zu den Auswirkungen unterschiedlicher Skischuhe geleistet werden, um Diskussionen über Funktionalität neu anstoßen zu können. Aus den in den Einzelstudien verfolgten Ansätzen ergeben sich folgende Fragestellungen und Hypothesen:

Fragestellung 1:

Bewirken unterschiedliche Skischuhe in Abhängigkeit der skisportlichen Erfahrungen eine differente skisportspezifische Gleichgewichtsfähigkeit?

H1-1: Die Leistung der skisportspezifischen Gleichgewichtsfähigkeit unterscheidet sich beim Tragen unterschiedlicher Skischuhe.

H1-2: Die skisportspezifische Gleichgewichtsfähigkeit beim Tragen unterschiedlicher Skischuhe wird vom Leistungsniveau der Probanden beeinflusst.

Fragestellung 2:

Bestehen Unterschiede bei der Beurteilung funktioneller Eigenschaften alpiner Skischuhe hinsichtlich der Wichtigkeit?

H2-1: In der Wichtigkeit der einzelnen funktionellen Eigenschaften alpiner Skischuhe bestehen Unterschiede in der Beurteilung.

H2-2: Die Beurteilung der Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften wird vom Leistungsniveau der Probanden beeinflusst.

Fragestellung 3:

Können Probanden unterschiedliche Passformen alpiner Skischuhe wahrnehmen bzw. adäquat beurteilen?

H3-1: Probanden können unterschiedliche Passformen alpiner Skischuhe in verschiedenen Schuhbereichen wahrnehmen und unterscheiden diese im Komfort differenziert.

H3-2: Zwischen subjektiver Beurteilung der Passform und den fußanthropometrischen Maßen besteht ein Zusammenhang.

Fragestellung 4:

Bewirkt die Passform alpiner Skischuhe eine Veränderung der plantaren Fußsensibilität?

H4-1: Die plantare Fußsensibilität wird durch die Charakteristik verschiedener alpiner Skischuhe beeinflusst.

H4-2: Es besteht ein Zusammenhang zwischen plantarer Fußsensibilität und der Beurteilung der Passform.

Fragestellung 5:

Wie verändern sich die Fußdimensionen Fußlänge, -breite, -höhe im Tagesverlauf beim Tragen alpiner Skischuhe?

H5-1: Es wird angenommen, dass sich die Dimensionen Fußlänge, -breite, -höhe und -fläche während eines Skitages verändern.

H5-2: Dabei besteht zwischen der Passformbewertung und den Veränderungen der Fußmorphologie in den Bereichen der Ballenbreite und Fußhöhe ein Zusammenhang.

4 Darstellung der Einzelstudien

Die zur Beschreibung der Funktionalität alpiner Skischuhe gewählte Betrachtungsweise gliedert sich in drei Einzelstudien. Dazu wird dem Leser zu Beginn der Themenkomplexe das für den multifaktoriellen Ansatz notwendige theoretische Wissen vermittelt sowie die zur Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellung realisierte Studie beschrieben. Nach Auswertung dieser folgt die Diskussion der Einzelergebnisse, ehe eine Gesamtbetrachtung aller durch die wissenschaftliche Arbeit gewonnenen Erkenntnisse im Kapitel 5 durchgeführt wird. Die Einzelstudien sind zum Verständnis des Forschungsansatzes in der angegebenen Abfolge dargestellt. Alle Studien wurden von der Ethikkommission der Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften der Technischen Universität Chemnitz geprüft und genehmigt.

4.1 Abhängigkeit der Gleichgewichtsfähigkeit vom Skischuhmodell

Durch die im Kapitel 2.1.3 betrachteten Studienergebnisse wird die enorme Bedeutung der Gleichgewichtsfähigkeit in der Sportart Ski-alpin deutlich. Die Erkenntnisse dienen somit als Ausgangspunkt der wissenschaftlichen Untersuchungen. Im Wesentlichen gilt es dabei die Frage zu beantworten, ob die Gleichgewichtsfähigkeit bei skispezifischen sportmotorischen Bewegungsabläufen vom verwendeten Skischuh abhängig ist. Als Konsequenz der verwendeten unterschiedlichen Schuhmodelle ergeben sich in dieser Studie weitere Fragestellungen bezüglich der Passform- und Komfortbewertung.

4.1.1 Theoretische Grundlagen

4.1.1.1 Theoretische Grundlagen der Gleichgewichtsfähigkeit

Betrachtet man die Definition der Gleichgewichtsfähigkeit vieler Autoren, so wird deutlich, dass diese maßgeblich für die Bewegungsregulation verantwortlich ist. Das Ziel der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts erfolgt dabei durch die Koordinierung notwendiger Bewegungshandlungen, demzufolge die Fähigkeit von Meinel und Schnabel (2004) folgendermaßen definiert wird:

„Unter Gleichgewichtsfähigkeit verstehen wir die Fähigkeit den gesamten Körper im Gleichgewicht zu halten oder während und nach umfangreichen Körperbewegungen diesen Zustand beizubehalten beziehungsweise wiederherzustellen.“ (Meinel & Schnabel 2004, S. 217)

Die Bewegungsregulation sollte dabei jedoch nicht isoliert betrachtet werden, sondern ist unter Berücksichtigung der Definition der koordinativen Fähigkeiten immer im Zusammenhang mit allen anderen koordinativen Fähigkeiten zu sehen. Als Maß für die Gleichgewichtsfähigkeit wird die Dauer der Aufrechterhaltung eines Gleichgewichtszustandes gesehen beziehungsweise das Tempo und die Wiederherstellung des Gleichgewichts angegeben (Meinel & Schnabel, 2004). Ergänzend fügen einigen Autoren hinzu, dass die Gleichgewichtsfähigkeit nur dann gewährleistet ist, wenn sich der Körperschwerpunkt über seiner Unterstützungsfläche innerhalb der Grenzen seiner Stabilität befindet. Typischerweise stellt beim menschlichen Körper der Fuß die Unterstützungsfläche dar.

Voraussetzung für derartig zielgerichtete Bewegungen ist laut Froböse et al. (2010) eine kontrollierte Haltung, die auch als posturale Balance oder posturale Kontrolle bezeichnet wird. Diese bezieht sich allerdings nur auf die statische Haltungskontrolle. Befindet sich der Körper in Bewegung spricht man dagegen von dynamischer Kontrolle. Beide Systeme, welche auch als „Motor-hold-system“ und „Motor-move-system“ bezeichnet werden, stehen dabei in enger Wechselwirkung zueinander. Shumway-Cook und Woollacoot (2007) verstehen unter dem Begriff der posturalen Kontrolle ebenso die Aufrechterhaltung der Position des Körpers im Raum, welche sich gleichzeitig aus der posturalen Stabilität sowie der posturalen Orientierung zusammensetzt.

Das Ziel der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts und der Orientierung im Raum ist dabei nicht von einem, sondern von mehreren Systemen abhängig, demzufolge das posturale System wie in Abbildung 22 dargestellt, die Gesamtheit aller Teilsysteme beschreibt. Die posturale Kontrolle steht dabei im Mittelpunkt der Interaktionen von motorischer Koordination, sensorischer Informationsaufnahme oder aber der Handlungsadaptation, um durch entsprechende Systeme die Haltungskontrolle aufrechterhalten zu können. Die posturale Kontrolle stellt dabei laut Shumway-Cook und Woollacoot (2007) nicht nur bei statischer Haltung eine Orientierung und Stabilität im Raum sicher, sondern ist vordergründig ein notwendiger Teil bei dynamischen Bewegungen.

Entsprechend der vielfältigen Bewegungsaufgaben ist daher eine Anpassung aller Systeme unter Beachtung der Umwelteinflüsse notwendig. Die Autoren sehen die posturale Kontrolle bei Lokomotion jedoch nicht gleichbedeutend mit der spezifischen Bewegungskontrolle, sondern beziehen diese lediglich auf die Stabilität oder den Gleichgewichtszustand allgemein.

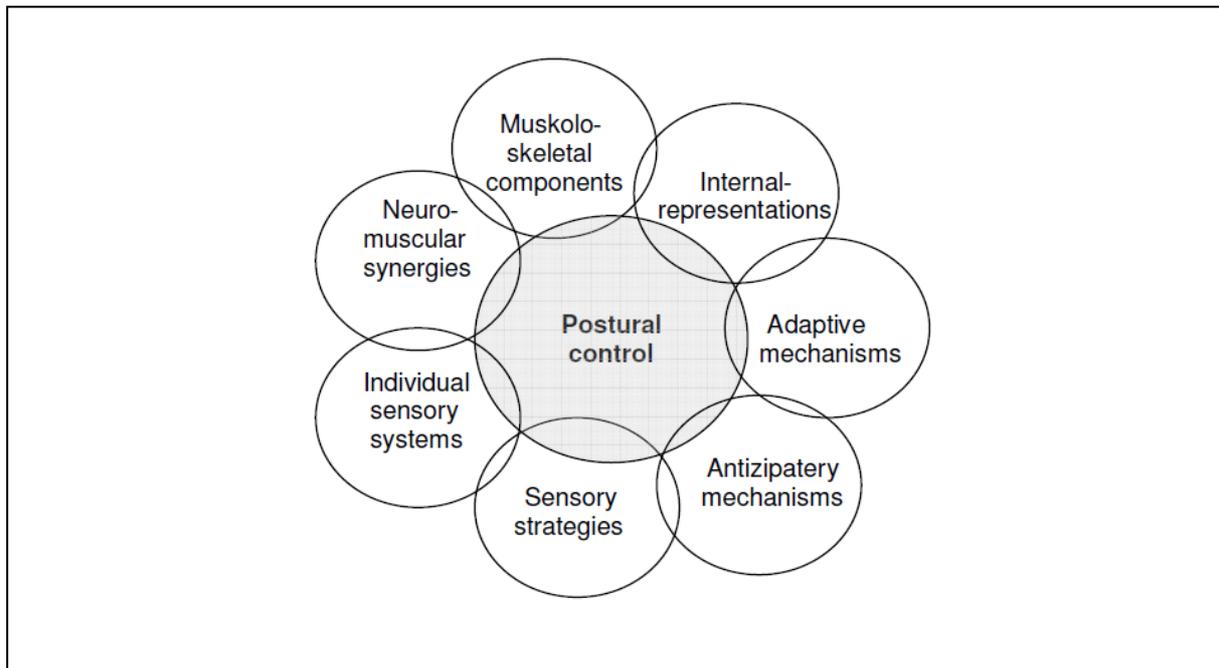


Abb.22: Modell der posturalen Kontrolle nach Shumway-Cook & Woollacoot (2007, p. 157)

Die Unterteilung der Gleichgewichtsfähigkeit erfolgt auch nach Meinel & Schnabel (2005) in das statische und dynamische Gleichgewicht sowie in ein Objektgleichgewicht, wobei letzterem in diesem Rahmen keine Bedeutung zukommt und nicht betrachtet wird. Die Fähigkeit das Gleichgewicht in relativer Ruhestellung oder bei sehr langsamen Bewegungen zu erhalten, kennzeichnet dabei das statische Gleichgewicht. Andererseits ist die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit die Fähigkeit das Gleichgewicht bei umfangreichen und oftmals schnellen Lageveränderungen des Körpers zu erhalten oder wiederherzustellen (Meinel & Schnabel, 2005). Wie bereits geschrieben wurde, ergeben sich auf Grund der wahrnehmbaren Lage- und Beschleunigungsempfindungen enge Beziehungen zu allen anderen koordinativen Fähigkeiten.

Die Erhaltung des Körpergleichgewichts kann dabei auch als eine sensorische und motorische Leistung verstanden werden, die sowohl in der Alltags- als auch in der Sportmotorik eine bedeutende Rolle spielt (Froböse et al., 2010). Laut Hirtz und Kollegen (2000) ist dabei eine zweckmäßige Abstimmung von Haltung und Bewegung notwendig, die vordergründig als Leistung des Nervensystems, des Zusammenspiels seiner peripheren und zentralen Anteile und des aktiven Bewegungsapparates verstanden werden kann.

Die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts beinhaltet dabei die Aufnahme sensorischer Informationen, deren Verarbeitung und die Abgabe von Informationen sowie deren Kontrolle. Die Komplexität der Gleichgewichtsregulation erfordert somit eine multimodale Informationsaufnahme und –verarbeitung unter Beteiligung folgender Analysatoren:

- statico-dynamische bzw. vestibularer Analysator
- kinästhetischer Analysator
- taktiler Analysator
- visueller Analysator
- akustischer Analysator

Der Analysator wird dabei als Teilsystem der sensorischen Informationsaufnahme und –verarbeitung gesehen, welcher Informationen durch einen spezialisierten Rezeptor empfängt, umcodiert und weiterleitet. Die Bewegungsregulation erfolgt meist durch alle Analysatoren gemeinsam, wobei sie unterschiedliche Anteile an den Regulationsprozessen besitzen (Schnabel et al., 2008). Der vestibuläre Analysator befindet sich im Innenohr und besteht aus einem System flüssigkeitsgefüllter Röhrchen und Säckchen, wodurch er auf unterschiedliche Reize ansprechen kann. Durch ihn werden lineare Beschleunigungen oder Winkelbeschleunigungen wahrgenommen. In Verbindung mit Rezeptoren der Muskulatur können so Richtungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsänderungen des Kopfes und des Körpers an das Zentralnervensystem weitergeleitet werden.

Die Rezeptoren des kinästhetischen Analysators, die so genannten Mechanorezeptoren, welche sich in Sehnen, Bändern und Gelenken befinden, registrieren dagegen Informationen zu Ausmaß und Geschwindigkeiten der Längenveränderung der Muskeln und der Gelenkbewegungen sowie zu Muskelspannungsverhältnissen (Hirtz et al., 2000). Mechanorezeptoren der Haut, die auch als taktile Rezeptoren bezeichnet werden, nehmen dagegen Druckverhältnisse auf der Hautoberfläche, d. h. der Berührung des Körpers mit anderen Objekten wahr. Durch Tast- und Druckrezeptoren können Eindruckstellen, Oberflächenbeschaffenheit oder Eigenschaften der Unterstützungsfläche ertastet werden, was für die Aufrechterhaltung des motorischen Gleichgewichts ebenso von Bedeutung ist und hauptsächlich durch die Rezeptoren der Fußsohle gewährleistet wird.

Eine weitere wichtige Rolle in der Organisation des Gleichgewichts spielen zudem visuelle Informationen, die insbesondere bei komplexen Bewegungen unter ständig wechselnden äußeren Bedingungen entscheidenden Einfluss auf Kontrollvorgänge haben. Der optische Analysator gibt dabei Auskunft über Eigen- und Fremdbewegungen sowie Umweltbedingungen wieder, demzufolge antizipierende motorische Reaktionen zur Gleichgewichtserhaltung ausgelöst werden (Hirtz et al., 2000). In welchem Maße die Informationen des optischen Rezeptors an der Regulierung beteiligt sind wird deutlich, wenn dieser beeinträchtigt oder ausgeschaltet wird. Besonders bei in diesem Zusammenhang

fokussierten Bewegungen des alpinen Skifahrens, wäre die Leistungsfähigkeit erheblich reduziert oder das Ausführen der Bewegung für viele Personen überhaupt nicht möglich.

Zur Vollständigkeit soll auch der akustische Analysator genannt werden. Er spielt aber eher allgemein, wie auch im alpinen Skisport, eine untergeordnete Rolle und unterstützt laut Froböse et al. (2010) lediglich die Bewegungsausführungen bei dynamischen Gleichgewichtsleistungen. D. h. Informationen zu momentanen Geschwindigkeiten durch Windgeräusche oder zur Pistenbeschaffenheit durch Kant- oder Rutschgeräusche wirken durch den akustischen Rezeptor zusätzlich auf die Bewegungsregulation und können die Gleichgewichtsfähigkeit in einem gewissen Maß beeinflussen.

Alle Informationen genannter Analysatoren dienen somit bei verschiedenen Bewegungsaufgaben mehr oder weniger der Sicherstellung des Körpergleichgewichts und sind als komplexer Vorgang hinsichtlich Wahrnehmung, Koordination und Integration sensorischer Informationen im zentralen Nervensystem zu sehen. Die Beeinträchtigungen der Gleichgewichtsfähigkeit werden daher auch durch Defizite in der Informationsaufnahme über diese Sinneskanäle hervorgerufen und stehen im Focus vorliegender Forschungsarbeit. Eine verminderte Sensorik, welche sich durch das Tragen der Skischuhe ergeben und zudem durch die Verwendung unterschiedlicher Skischuh abhängig sein könnte, muss somit im vorliegenden Forschungsansatz auch in Bezug zur Sturzprophylaxe gesehen werden. Dabei wird jedoch auf die Beschreibung weiterverarbeitender Prozesse aller gewonnenen sensorischer Informationen, die auch als sensomotorische Regulation bezeichnet werden, im Rahmen dieser Arbeit verzichtet und an dieser Stelle auf weiterführende Literatur verwiesen.

Vielmehr steht die Güte der motorischen Regulation im Mittelpunkt der Betrachtung. Verfahren der Haltungsanalyse kann man generell auch als Posturographie bezeichnen (Witte & Recknagel, 1997). Sie beschreibt indirekt die Messung von Weggrößen zur Lage- und Bewegungsanalyse ausgewählter Körperpunkte. Da die zu messenden Parameter hauptsächlich von den Bewegungen der Personen abhängig sind, wird der Begriff der Posturographie ebenso für die Beschreibung des zeitlichen Verlaufes und der räumlichen Orientierung der resultierenden Bodenreaktionskräfte verwendet (Witte & Recknagel, 1997). Eine Unterscheidung von statischer und dynamischer Posturographie wird somit notwendig, wobei die Art der Unterscheidung auf die Unterstützungsfläche zurückgeführt wird und diese wiederum verschiedene Situationen des Alltags simulieren (Nashner, 2001) sollen. Dynamische Testbedingungen weisen laut Rätty et al. (2002) außerdem eine größere Aussagekraft und Praxisrelevanz auf. Die Posturographie bezeichnet zusammenfassend objektive, standardisierbare, reproduzierbare und quantitative biomechanische Verfahren zur Analyse, Quantifizierung und Dokumentation von Körperhaltung, Koordination und der Gleichgewichtskontrolle.

Erfolgte die Bewertung der Verfahren zur Messung der Gleichgewichtsfähigkeit bis Mitte der achtziger Jahre noch ausschließlich subjektiv, so entwickelten einige Autoren aus Mangel an Objektivität Verfahren, welche die Projektion der Körperpunkte mittels quantitativer Messgrößen bestimmen. Als Pionier der computerisierten dynamischen Posturographie kann Lewis M. Nashner gesehen werden, da er bereits 1970 in einer Doktorarbeit am Bostoner Massachusetts Institut die Technologien der Haltungsbeurteilung beschrieb (Iro & Waldfahrer, 2011).

Die Messung des Gleichgewichts kann dabei auf unterschiedliche Art und Weise durchgeführt werden, wobei die Nutzung von Kraftmessplatten sich als eine häufig verwendete Methode zeigt. Aber auch durch die Analyse von Muskelaktivitäten mittels EMG-Messung oder anhand der Verwendung von Neigungssensoren, welche an unterschiedlichen Körperstellen oder Messplattformen angebracht werden, können Rückschlüsse auf die posturale Kontrolle der Probanden gezogen werden. In der Literatur seltener beschrieben und verwendet wird dagegen die kinematische 3D-Bewegungsanalyse, da der Einsatz sehr aufwendig ist. Die hierbei zuletzt genannten Methoden sind jedoch nicht Gegenstand folgender Betrachtungen, demgemäß sich die Ausführungen auf die apparative Messung der Körperschwankungen mittels Kraftmessplatten beziehen. Dieses Verfahren wurde ebenso für die vorliegende sportwissenschaftliche Forschungsarbeit verwendet, so dass es einer einleitenden Darstellung bedarf.

Kraftmessplatten zeichnen die Beträge sowie die Koordinaten der resultierenden Bodenreaktionskräfte auf. Wiedergegeben werden die Veränderungen des Körperschwerpunkts (KSP), auch bezeichnet als Center of gravity (CoG) oder des Center of pressure (CoP). Der CoP gibt den Druckmittelpunkt auf der Unterstützungsfläche wieder. Die Aufzeichnung genannter Punkte stellt somit den aufrechten Stand des Körpers und dessen Bewegung modellhaft in Form eines inversen Pendels dar (Müller et al., 2004). Die Bewegungen werden je nach Messsystem und deren Auswertungssoftware durch Kräfte der zurückgelegten Wegstrecke oder auch durch die Schwankungsfläche des CoP quantifiziert. Ebenfalls ist die Berechnung der Schwankungsgeschwindigkeit oder der maximalen bzw. durchschnittlichen Schwankungsamplitude anhand der CoP-Koordinaten ausführbar, demnach sich zahlreiche Möglichkeiten der Beurteilung der Qualität posturalen Kontrolle ergeben. Ein einheitliches Vorgehen bei der Beurteilung der Haltungskontrolle ist laut Raymakers et al. (2005) jedoch nicht bekannt. Anhand eigener Untersuchungen sieht er die Verschiebungsgeschwindigkeit des CoPs als den geeignetsten Parameter.

Der Punkt stellt dabei nach Hasan et al. (1996) zudem die am einfachsten direkt zu messende Größe dar, durch den die Beeinträchtigung der Balance bestimmbar ist, sofern die Bewegung des CoP annähernd mit der des CoG übereinstimmt. Allerdings kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass dies nur bei statischer oder quasi statischer Haltung

gegeben ist, wodurch diese Messmethode von vielen Autoren kritisch betrachtet wird. Auch Winter (1995) gibt in diesem Zusammenhang an, dass der CoG nicht unmittelbar mit dem des Körperschwerpunktes gleichgesetzt werden kann, sondern lediglich die vertikale Abbildung des Center of mass (CoM) darstellt, wie der KSP auch englischsprachig bezeichnet wird. Winter (1995) verweist weiter darauf, dass die Projektion des Körperschwerpunkts und des Druckmittelpunkts auf der Horizontalebene voneinander getrennt erfolgen muss, da der Druckmittelpunkt nicht unmittelbar die Lage des Körperschwerpunkts wiedergibt. Auf Grund der Feststellungen von Winter (1995) muss berücksichtigt werden, dass der CoP bei einer Messung größeren Schwankungen unterliegt. Dementsprechend bewegt er sich mit einer höheren Frequenz sowie mit einer größeren Amplitude als der CoG, was von weiteren Autoren ebenso bereits zu einem früheren Zeitpunkt festgestellt wurde (Murray et al., 1967; Prieto et al., 1993).

Eine gleichbedeutende Betrachtung der beiden Punkte wie sie in der Literatur oftmals verwendet wird, kann deshalb nicht uneingeschränkt erfolgen. Zu diesen in Abbildung 23 bildhaft dargestellten Ergebnissen kommen auch Witte und Recknagel (1997).

Der CoP stellt den Durchstoßpunkt der resultierenden Kraft durch die Kraftmessplatte dar, welche sich aus der Gewichtskraft (G) und der Inertialkraft (I) geometrisch errechnet. Der Punkt wird im Koordinatensystem durch drei zeitabhängige Koordinaten wiedergegeben, von denen die Vertikalkomponente konstant bleibt, da sie die Oberfläche der Kraftmessplatte beschreibt. Die Autoren sehen daher den CoP als eine physikalisch verwandte Größe an und bezeichnen die Posturographie mittels Kraftmessplatte somit als indirektes Messverfahren. Lediglich bei Idealbetrachtung, d. h. bei absolutem Stillstand, erscheint eine simultane Verwendung der Begrifflichkeiten möglich, da dann in der Horizontallage beide Punkte (CoP und CoG) übereinander liegen würden. Bei Bewegungen des Körperschwerpunkts, welche das eigentliche Ziel der Bewegungsanalyse darstellten, wären die Lageabweichungen der resultierenden Kraft nur unter Kenntnis der Beschleunigungen des CoG berechenbar (Witte & Recknagel, 1997).

Da die Messung derer aber nicht immer möglich ist und bei einer Vielzahl der wissenschaftlichen Untersuchungen nicht erfolgt, können den Autoren zufolge die Zeitverläufe der Koordinaten des CoP keine geeignete Basis für Absolutmessungen sein. Es ist daher nur ein Relativvergleich zwischen den verschiedenen Versuchspersonen durch die Messung möglich, so dass sich viele Anwender der Messmethode von den Begrifflichkeiten gelöst haben und aus dem Verfahren eigene zu nutzende Messgrößen ableiten (Witte & Recknagel, 1997).

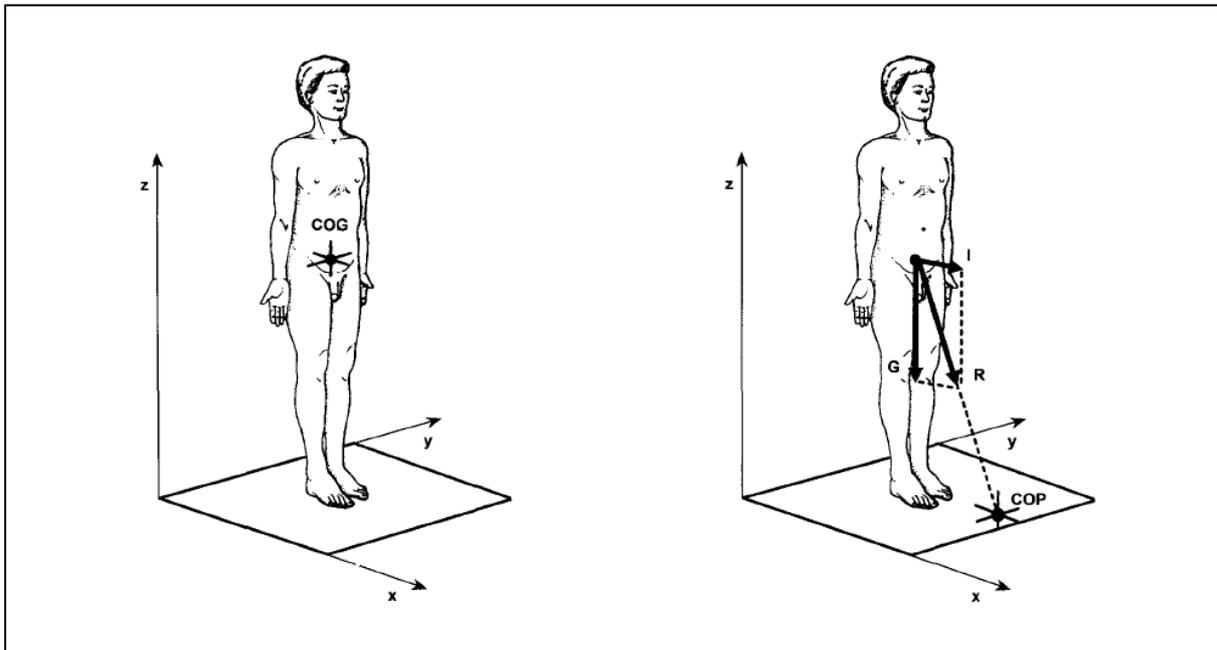


Abb. 23: Bezeichnungen der Körperpunkte Center of gravity und Center of pressure (Witte & Recknagel, 1997, S. 281)

Die in diesem Zusammenhang verwendeten Begriffe wie „postural sway“, „area of sway“ oder „body sway“ bezeichnen somit allgemein die Schwankungen des Gesamtsystems Mensch über seiner Unterstützungsfläche, ohne einen Bezug auf einzelne angesprochene Punkte zu nehmen. Die Analyse der Bewegungen kann daher gemäß vieler Autoren ohne weiteres anhand der Aufzeichnung des CoP erfolgen und stellt so eine geeignete Methode zur Messung von Körperschwankungen dar (Demura & Kitabayashi, 2008). Die Vertikalkomponente bleibt dabei allerdings unberücksichtigt und wird nicht in die Betrachtung mit einbezogen, wodurch die Vielzahl bisher durchgeführter Untersuchungen als inkonsistent einzustufen sind und in Frage gestellt werden könnten. Diese Aussage wird allerdings von den Autoren um Hasan et al. (1996) teilweise widerlegt, da die Arbeitsgruppe einen Zusammenhang des CoP und des CoG nachweisen konnten. Die Resultate werden auch von Lafond et al. (2003) bestätigt. Trotz der unterschiedlichen Rolle beider Punkte im posturalen Kontrollsystem ist entsprechend ihrer Ergebnisse die horizontale Bodenreaktionskraft proportional zur Beschleunigung des Körperschwerpunktes, infolgedessen die CoP-basierenden Messungen weiterhin als eine geeignete und gültige Methode der Gleichgewichtsquantifizierung angesehen werden können. Zur Festlegung dieser Relationen bestimmten Hassan et al. (1996) den Verlauf beider Punkte bei unterschiedlichen Haltungsaufgaben gleichzeitig und berechneten dazu das mathematische Modell.

Der Einsatz des Verfahrens der CoP-Messungen, wie es bei zahlreichen Datenerhebungen der Gleichgewichtsfähigkeit bisher angewendet wurde scheint somit berechtigt, zumal dieses Resultat auch von Karlsson & Frykberg (2000) bestätigt wird. Anhand ihrer Ergebnisse konnten sie moderate Korrelationen verschiedener Parameter der Messungen mittels Kraftmessplatte und den Resultaten des Berg- Balance-Test's nachweisen. Bei dem standardisierten Test zur Abbildung der Gleichgewichtsfähigkeit bestehen allerdings erhebliche Einschätzungsspielräume, so dass die Zusammenhänge nicht ohne Hinterfragung angenommen werden sollten.

Bezüglich der Testgütekriterien sportmotorischer Test zeigt sich der Vorteil des Messverfahrens grundlegend in der Objektivität. Anders als bei subjektiver Beurteilung, ist die Objektivität bei der Datenaufnahme grundsätzlich gewährleistet. Die Reliabilität dagegen wird laut den Aussagen von Bös et al. (2001) trotz häufiger Verwendung der Methode weniger systematisch untersucht. Die vereinzelt durchgeführte Test- Retest- Reliabilität für die verwendeten Parameter bringen außerdem nur mäßige bis gute Korrelationskoeffizienten hervor, welche jedoch ausreichend sind. Betrachtet man die unterschiedlichen Testverfahren, so sollte zudem der jeweilige Testaufbau eigenständig betrachtet werden.

Die Validität der Messsysteme kann laut Ekdahl et al. (1989) als gegeben angesehen werden. Beim Vergleich von Messdaten, die mittels Kraftmessplatten erhoben wurden und Daten klinischer Balancetests, stellte die Arbeitsgruppe signifikant negative Korrelationen fest. Auch Riemann et al. (1999) konstatierten diesen Zusammenhang bei ihrem Vergleich. Durch eine ungewöhnliche Verfahrensweise begründen Raschner et al. (2008) die Validität des MFT-S3-Check Gerätes. Die Validität wurde durch die unterschiedlichen Ergebnisse des erhobenen Sensomotorikindex zwischen Rennläufern und den Werten von Normalpersonen begründet. Der Index gibt dabei die Anzahl und Amplitude der Ausgleichsbewegung wieder. Nach Meinung der Autoren werden so sportartspezifische Unterschiede in den Ausprägungen der Regulierungsfähigkeiten aufgedeckt. Bezüglich der Annahme, dass weniger gut skifahrende Personen eine schlechtere Gleichgewichtsfähigkeit besitzen, gilt das Gerät somit als valide. Laut Bös et al. (2001) wird eine Validitätsprüfung in den seltensten Fällen durchgeführt, da das apparative Verfahren in den meisten Fällen als logisch valide betrachtet wird. Für die Autoren um Bös kann die fehlende Validität allerdings als Schwachpunkt gesehen werden. Sie fügten ergänzend jedoch hinzu, dass auf Grund der Individualität der verschiedenen Tests dies nur schwer möglich ist.

Die Daten der CoP-basierenden Messungen werden durch triaxiale Kraftmessplatten (Abbildung 24) generiert, wobei die Koordinaten der einzelnen Punkte des CoP anhand der horizontalen und vertikalen Kraftparameter berechnet werden.



Abb. 24: Mehrkomponenten-Messplattform mit Datenaufnahmerichtung (Kistler®, 2012)

Da bei Messungen des Druckmittelpunktes lediglich die resultierende Kraft bzw. dessen Kraftangriffspunkt auf der Plattform in horizontaler Ebene von Bedeutung ist, rücken somit die x- und y-Koordinaten in den Mittelpunkt des Interesses. Dahingehend können die Datenerhebungen ebenso häufig mit einer zweidimensional messenden Plattform durchgeführt und als ausreichend eingestuft werden. Die Schwankungen des Körpers auf der Standfläche werden in anterior- posteriorer Richtung aufgezeichnet oder medial-lateral. Basierend auf dem piezoelektronischen Effekt kann so die Lage der zeitlich aufeinander folgenden Punkte bestimmt werden. Mittels dieser ist dann beispielsweise die Berechnung der Gesamtwegstrecke, der umschreibenden Fläche oder der Geschwindigkeit des CoP möglich.

Die vielen sportwissenschaftlichen Untersuchungen lassen erkennen, dass die Aufzeichnung der Daten mit recht unterschiedlichen Frequenzen von 5 – 100 Hz erfolgt. Ein Vergleich untereinander ist daher schwer möglich, da sich viele der Parameter von der Wahl der Frequenz abhängig zeigen. Raymakers et al. (2005) konstatieren in diesem Zusammenhang, dass besonders der Weg oder die Geschwindigkeit des CoP wesentlich komplexer erfasst werden, wenn mehr Messzeitpunkte in die Analyse einfließen. Eine Empfehlung zur Aufzeichnungsfrequenz wird im Gegensatz zur Messdauer in der Literatur nicht gegeben. Clair und Riache (1996) befürworten beispielsweise eine Dauer vom 20 – 30 Sekunden, denen sich auch Karlsson & Frykberg (2000) anschließen. Eine Dauer von 15 Sekunden wie bei Goldi et al. (1992) sehen Clair & Riache (1996) möglicherweise als zu kurz an. Auch weitere Autoren favorisieren eine Datenaufzeichnung von ca. 30 Sekunden (Jonsson et al., 2004; Lafond et al., 2004; Ageberg et al., 1998). Bezüglich der Zeitdauer merken die Autoren um Raymakers (2005) allerdings an, dass eine längere Datenaufnahme zu Ermüdungserscheinungen bei den Probanden führen kann.

Die Qualität der posturalen Kontrolle wird mit Hilfe der bereits angesprochenen Parameter bewertet, wobei hohe Werte der CoP- Bewegungen als Indiz für eine schlechtere posturale Kontrolle gesehen werden (Gauffin et al., 1990; Zätterström et al., 1994). Maurer et al. (2004) sehen in einer Reduzierung der Verschiebungsgeschwindigkeit des CoP eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit. Auch Ageberg et al. (1998) oder Fiedén et al. (1989) suggerieren eine erhöhte Amplitude oder höhere Geschwindigkeit der Bewegung des CoP mit einer Beeinträchtigung des posturalen Systems.

In Zusammenfassung der betrachteten Literatur kann daher festgestellt werden, dass die Messung des CoP berechtigt ist und trotz kritischer Anmerkungen als geeignete Methode zur Beurteilung der Gleichgewichtsfähigkeit in dieser Arbeit verwendet werden kann.

4.1.1.2 Theoretische Grundlagen der Passformbewertung

Betrachtet man die Konzepte der Skischuhe so lässt sich feststellen, dass sie sich in den vergangenen Jahrzehnten wesentlich verändert haben. Vor allem durch den in den 70er Jahren vordergründig existierenden Sicherheitsaspekt zum heutigen umfassend auf die Sportart abgestimmten funktionellen Produkt wird dies ersichtlich. Die zahlreichen Weiterentwicklungen liegen folglich in der Fokussierung der individuellen Anforderungen der Nutzer begründet, deren Prinzipien hauptsächlich in der Sportschuhforschung gesehen werden können. Der von Walther und Mayer (2008) beispielsweise postulierte grundlegende Wandel des Sportschuhbaus lässt daher eine stärkere Berücksichtigung der individuellen Faktoren des Sportlers zu. Der sich anhand zahlreicher Forschungsergebnisse erschließende Paradigmenwechsel ist durch eine geringere Bedeutung der Eigenschaften wie Dämpfung oder Pronationsstützung charakterisiert, infolgedessen die bisher in den Hintergrund getretene Passform zunehmend stärker beachtet wird.

Besonders die Anpassung der Schuhe an die individuelle Fußmorphologie steht dabei im Mittelpunkt der Denkweisen, da die Mehrzahl der Laufsportler eine optimale Passform als das entscheidende Merkmal ihrer Schuhe angeben (Kleindienst, 2003). Entsprechend seiner Ergebnisse wird zudem deutlich, dass der Komfort im Zusammenhang mit der Passform gesehen werden muss. Dieser Ansatz findet auch von weiteren Autoren Zustimmung. Neben der Verletzungsprophylaxe und der Sportarttauglichkeit gilt der Komfort für Reinschmidt und Nigg (2000) sogar als das wichtigste funktionelle Kriterium eines Sportschuhs, welches durch die Passgenauigkeit geprägt wird. Auch Schubert et al. (2009) stellten dies bei einer Befragung von 4500 Läufern fest, die die Passform als wichtigste Anforderung an den Laufschuh hervorbrachte. Die Passform beschränkt sich dabei laut zahlreicher Forscher häufig auf die Anthropometrie des Fußes, demnach bei dessen Übereinstimmung mit der Schuhform von einer exakten Passform gesprochen werden kann (Janisse, 1992).

Der Tragekomfort der Schuhe wird daher insbesondere durch den Leisten beeinflusst, womit er als das wichtigste Element bei der Schuhherstellung gilt (Leng & Du, 2006), da er die menschliche Fußform abschätzt und widerspiegelt. Bei Missverhältnissen kommt es entsprechend zu negativen oder positiven Differenzen, die laut Luximon et. al. (2001) in einer zu engen oder zu großen Passform resultieren. Den Autoren zufolge können diese Druckstellen oder sogar Verletzungen hervorrufen.

Die Herstellung der Leisten richtet sich gewöhnlich nach einem Standardfuß (Reinschmidt & Nigg, 2000), wodurch bei Betrachtung der vielfältigen Fußformen die Problematik einer geeigneten Passform deutlich wird. Die Individualität der Füße stellt dabei die größte Herausforderung in der Schuhkonstruktion dar, da die Berücksichtigung einer Vielzahl vorhandener fußanthropometrischer Daten notwendig ist. Die Problematik erschließt sich, weil sich die Fußformen wegen unterschiedlichster Ausprägungen unterteilen lassen. So unterscheidet Schreier (2005) in kurze-gedrungene, grazil-schlanke, athletische Füße oder den Altersfuß bzw. den jugendlichen Erwachsenenfuß. Weiterhin ist eine Differenzierung bezüglich der plantaren Fußmorphologie möglich, wobei einige der Autoren besonders die Ausprägungen des medialen Längsgewölbes zur Typisierung heranziehen. Neben dem Normalfuß kann daher eine Einteilung der unterschiedlichen Fußdeformitäten vorgenommen werden, die beispielsweise nach Robold (1995) in Platt- und Senk-, Knick- oder Hohlfuß erfolgt. Grundsätzliche Unterschiede in der Fußform können aber auch hinsichtlich der Geschlechtsspezifität (Krauss, 2006; Wunderlich & Cavanagh, 2001) nachgewiesen werden oder sind nach Angaben einiger Autoren (Anil et al., 1997; Ashizawa et al., 1997) auf die ethnische Herkunft untersuchter Personen zurückzuführen.

Ebenso sind die im Tagesverlauf und angesichts von sportlicher Aktivität entstehenden Abweichungen zu berücksichtigen, deren ausführliche Betrachtung in Kapitel 4.3 erfolgt. In Erkenntnis dieser Ergebnisse besteht nach Kleindienst et al. (2006) für den Sportschuhbau die Notwendigkeit einer Graduierung von funktionellen Sportschuhparametern, die vier Differenzierungsfelder (Abbildung 25) beinhaltet und unter anderem die angeführten Besonderheiten berücksichtigt.

Abweichungen zeigen sich hauptsächlich in der Fußbreite oder dem Ballenumfang, da Männer typischerweise breitere Füße als Frauen aufweisen (Kraus, 2006) oder aber auch Kinderfüße in diesem Bereich stark differieren (Mauch, 2007). Laut Mauch (2007) können kindliche Füße in voluminös, intermediär sowie schlank unterteilt werden. Zur optimalen Fußversorgung bei Kindern empfiehlt die Autorin demzufolge ein Mehrleistensystem. Auch im Bereich der Sport- oder der Arbeitsschutzschuhherstellung findet dies in ähnlicher Weise als Mehrweitesystem Anwendung (Walther & Mayer, 2008; Walther & Grosse, 2006). Durch die bei gleicher Schuhgröße insbesondere in der Ballenbreite unterschiedlichen Maße der Schuhe könnten so die verschiedenen Fußformen berücksichtigt werden.

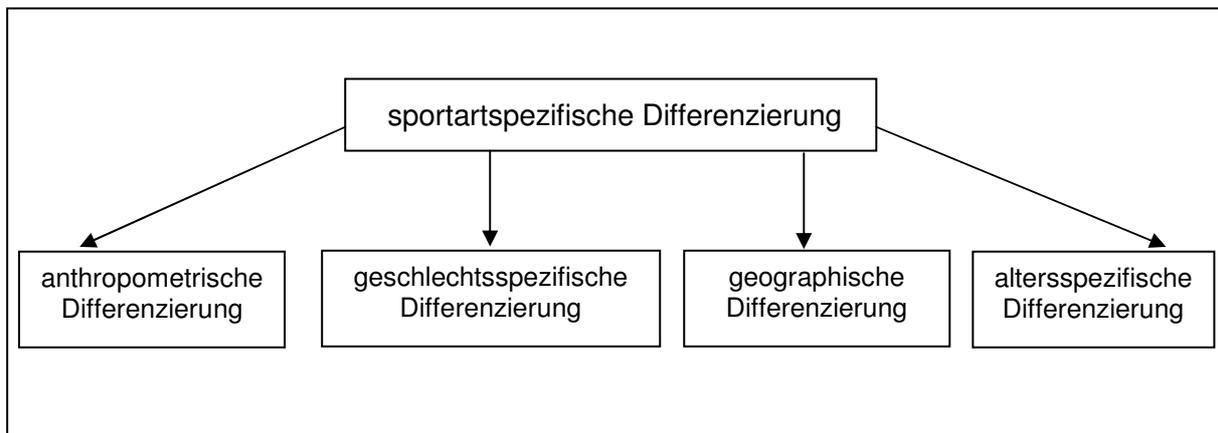


Abb. 25: Differenzierungsfelder für die Graduierung von funktionellen Sportschuhparametern (Kleindienst et al., 2006, S. 20)

Die Bewertung der Passform erfolgt allerdings überwiegend subjektiv, wodurch sie nach Aussagen von Walther und Mayer (2008) im Vergleich zu den mechanischen Eigenschaften eine Sonderstellung einnimmt und eine Interaktion zwischen Schuh und Person voraussetzt. Eine gänzliche Abgrenzung ist jedoch nicht sinnvoll, da Milani et al. (1997) Zusammenhänge zwischen biomechanischen Parametern und der Passformbewertung aufzeigen konnten. Die Probanden waren in der Lage auftretende Stoßbelastungen wahrzunehmen und beurteilten die Schuhe mit hohen Belastungen im Komfort negativ. Die Passform lässt sich somit nicht wie häufig angenommen nur auf Grund der Fußmorphologie beurteilen, sondern sollte auch die Charakteristik persönlicher Präferenzen berücksichtigen (Nácher, 2006), die allgemein entsprechend als Komfort angegeben werden kann.

Für den Begriff des Komforts gibt es in der Literatur allerdings verschiedene Definitionen oder Erklärungsansätze. Häufig wird dieser mit Behaglichkeit, Bequemlichkeit, mit den Gefühlen der Entspannung und des Wohlfühlens in Verbindung gesetzt oder aber auch als Gegenteil von Diskomfort bezeichnet. Zhang et al. (1996) gehen bei diesen beiden Gegensätzlichkeiten jedoch von einem fließenden Übergang aus, wobei sie ihrer Meinung nach auch von unterschiedlichen Variablen beeinflusst werden. Obwohl das von den Forschern aufgestellte Modell (Abbildung 26) sehr kritisch betrachtet wird, dürfte zumindest die von ihnen verwendeten Begrifflichkeiten für die Komfortbewertung von Schuhen zutreffend sein und einen gewichtigen Einfluss in der Bewertung der Passform besitzen.

Insbesondere die mechanischen Eigenschaften der Schuhe oder die der verwendeten Einlegesohlen konnten als Einflussgrößen auf das Komfortempfinden durch zahlreiche Studien identifiziert werden. Chen et al. (1994) konnten beispielsweise feststellen, dass bei den als komfortabel eingeschätzten Einlegesohlen geringere Drücke im medialen Vorfuß auftraten als bei Sohlen die als unkomfortabel bewertet wurden.

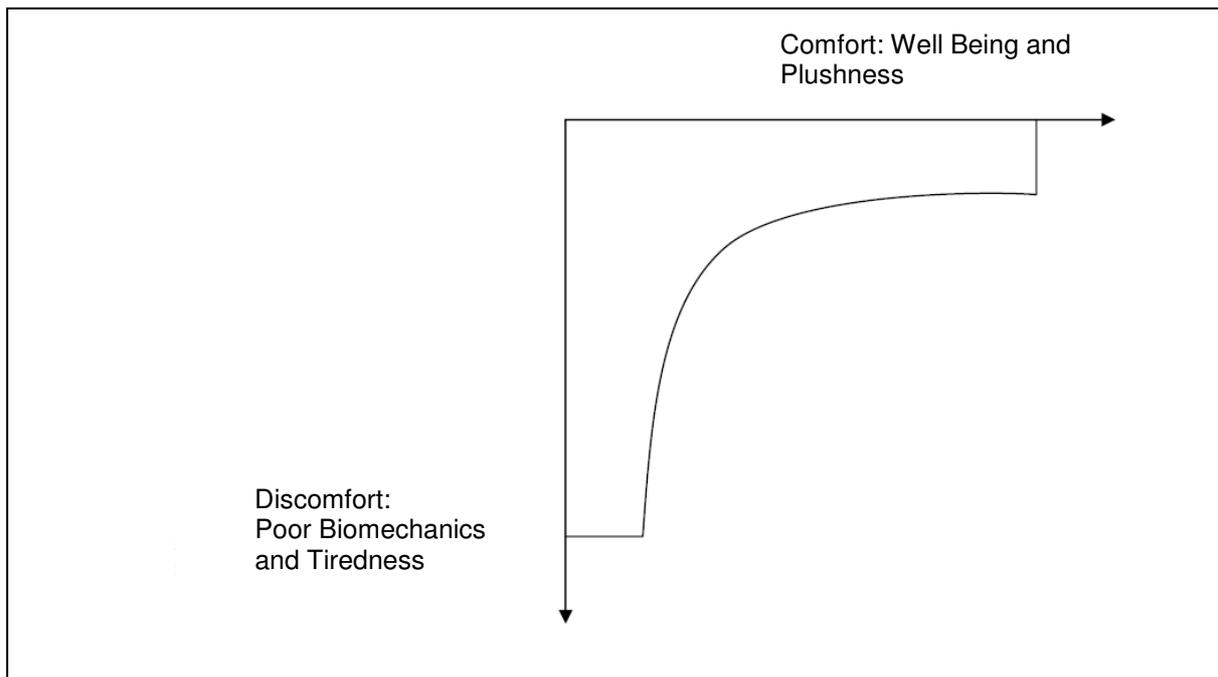


Abb. 26: Modell von Komfort und Diskomfort (Zhang et al., 1996, p. 388)

Lange et al. (2009) kamen ebenso zu diesen Resultaten, als sie das Komfortempfinden hinsichtlich der plantaren Druckverteilung bei Soldaten der Schweizer Armee untersuchten. Sie stellten bei hohem plantarem Druck im Metatarsalbereich eine schlechtere Bewertung des Komforts fest. Dass dies nicht nur für den plantaren sondern auch für den dorsalen Bereich zutreffend ist, wurde durch die Forschergruppe um Jordan (1997) belegt. Die Teilnehmer der Studie bewerteten demnach die Schuhe, bei denen hohe plantare und dorsale Drücke bzw. größere Kontaktflächen auftraten, als unkomfortabel. Verantwortlich für eine derartige Bewertung könnte in diesem Zusammenhang das schmerzverursachende Zusammendrücken des Gewebes sein (Au & Goonetilleke, 2007).

Es muss bei der Betrachtung entsprechender Literatur allerdings festgestellt werden, dass bei Komfortbewertungen ebenso eine individuelle Abhängigkeit besteht. Dementsprechend sind vor allem die morphologischen Gegebenheiten der Füße oder aber auch die Bewegungserfahrungen der Probanden komfortbeeinflussende Kriterien. So bevorzugen beispielsweise Läufer mit weitem Fuß fest sitzende Schuhe, was auf ihre bisherigen Erfahrungen zurückzuführen ist (Kouchi et al., 2005). Auch laut Mündermann et al. (2001) kann eine derartige Abhängigkeit festgestellt werden, da Personen, welche ein flaches mediales Fußgewölbe aufweisen, harte und viskose Sohlen als komfortabler bewerten gegenüber denen, die aus elastischem und weichem Material gefertigt sind. Außerdem favorisierten Personen mit einer hohen plantaren Vibrationssensibilität weiches und viskoses Sohlenmaterial. In der Analyse der Ergebnisse sehen die Autoren um Mündermann et al. (2002) infolge einer weiteren Studie die divergenten Komfortbewertungen zudem in den

Bewegungserfahrungen der Probanden begründet. Diese Tatsache dürfte insbesondere für die Bewertung von Skischuhen bedeutend sein. Nach Aussagen von Pinter et al. (2010) ist gerade dies bei Ski fahrenden Anfängern schwierig, weil diese nicht in der Lage sind, Schmerzstellen zu lokalisieren oder die Intensität dieser wiedergeben können. Die Autoren prüften daher verschiedene Messsysteme auf die Anwendbarkeit der Passformmessung, um wichtige Erkenntnisse für die Herstellung der Schuhschalen erhalten zu können.

Dass eine derartige Vorgehensweise als notwendig erachtet werden kann, zeigt sich in der Betrachtung der Ergebnisse von Wilke et al. (2010). Ihrer Studie zufolge verursacht der Skischuh bei der Vielzahl der befragten Personen Beschwerden, welche in Druckstellen am Schienbein oder in kalten Füßen begründet lagen (siehe Kapitel 2.3.2). Im Zusammenhang mit denen auch bei Schaff (1988) am Vorfuß konstatierten hohen Druckbelastungen, ist eine Präferenzierung komfortabler Schuhe daher nachvollziehbar. Für 46,9 % der Befragten ist somit die Bequemlichkeit das Hauptkriterium beim Kauf eines Skischuhs (Wilke et al., 2010). Für 30,3 % der Studienteilnehmer stellte die Funktionalität der Schuhe das wichtigste Kriterium dar. In der Untersuchung wird allerdings nicht auf die möglichen bestehenden intraindividuellen Unterschiede näher eingegangen, sondern lediglich eine Gesamtanalyse aller Probanden präsentiert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Passformbewertung bei Schuhen von mehreren Faktoren abhängig ist und durch eine Komfortbewertung wesentliche Informationen zur Passform geliefert werden können. Deutlich wird dabei, dass hauptsächlich plantare oder dorsale Drücke die Bewertung beeinflussen, welche zudem von individuellen Präferenzen abhängig sein können. Da derartige Ergebnisse zu alpinen Skischuhen nur ungenügend vorliegen, begründet sich die Absicht der Untersuchung der Passformbewertung mit unterschiedlichen Skischuhen. Im Fokus steht dabei die generelle Wahrnehmungsfähigkeit der Probanden bezüglich bestehender Unterschiede, welche grundsätzlich zwischen verschiedenen Skischuhmodellen konstruktionstechnisch bestehen. Zudem soll die Passformbewertung der Schuhe im Zusammenhang zur Fußmorphologie analysiert werden.

4.1.2 Untersuchungsstichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 51 Probanden teil, davon 33 Männer und 18 Frauen. Alle teilnehmenden Personen waren Skifahrer und bei der Teilnahme frei von Verletzungen. Eine Unterscheidung der Teilnehmer wurde bezüglich ihres Leistungsniveaus vorgenommen. Die Eingruppierung als Anfänger oder fortgeschrittener Skifahrer erfolgte subjektiv durch jeden Probanden selbst. Einteilungskriterien wurden nicht explizit vorgegeben. Von den männlichen Probanden schätzten sich 10 Personen als Anfänger und 23 als fortgeschrittene Skifahrer ein. Unter den weiblichen Teilnehmern waren 12 Anfänger sowie 6 gute Skifahrerinnen (Tabelle 1).

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte über den Mailverteiler des Instituts für Sportwissenschaft sowie über Aushänge an der Technischen Universität Chemnitz. Vor der Datenaufnahme wurde jeder Proband über den Ablauf der Untersuchung detailliert durch den Untersuchungsleiter informiert. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und nur durch die Unterzeichnung der Einverständniserklärung (siehe Anhang) durch die Probanden möglich. An der Re-Test-Messung nahmen 11 Personen teil (Tabelle 2). Von den Teilnehmern waren neun Personen männlichen und zwei Personen weiblichen Geschlechts. Alle besaßen gutes skifahrerisches Niveau.

Tab. 1: Daten der Probanden der Passformbewertung

Anzahl	n	♀/♂	♀	Anfänger	Sportlich	♂	Anfänger	Sportlich
		51	18	12	6	33	10	23
Alter	MW	25,8	23,4	22,2	25,8	27,1	28,1	26,7
	[Jahre] SD	5,6	4,3	3,1	5,4	5,9	6,4	5,7
Größe	MW	177	172,2	172,2	172,3	181,1	180,7	181,3
	[cm] SD	8,2	4,8	5,5	3,3	8,1	9,4	7,6
Gewicht	MW	71,6	65,3	65,2	65,5	75,2	73,5	75,9
	[kg] SD	9,5	6,1	6,3	6,1	9,4	10,6	8,9

Tab.2: Daten der Probanden der Test-Retest-Studie

Anzahl	n	♀/♂	♀ Sportlich	♂ Sportlich
		11	2	9
Alter [Jahre]	MW	33,2	32,5	26,7
	SD	4,8	0,7	5,7
Größe [cm]	MW	178,9	173,5	181,3
	SD	5,6	4,9	7,6
Gewicht [kg]	MW	74	64	75,9
	SD	8	8,4	8,9

4.1.3 Methodisches Vorgehen

Die Abhängigkeit der Passform auf die Gleichgewichtsfähigkeit bei skisportspezifischen motorischen Bewegungssituationen stellte die wesentliche Fragestellung dar. Auf Grund schwer zu standardisierender Versuchsbedingungen, wie sie bei einem Feldversuch zu erwarten wären, fand die Studie im Biomechaniklabor der Technischen Universität Chemnitz unter standardisierten Bedingungen statt. Die Datenerhebung wurde mittels zweidimensionaler Kraftmessplattform GKS 1000® der Firma IMM Elektronik Mittweida durchgeführt.

Zur Simulation der sportartspezifischen Bewegungssituation wurde ein spezieller Messaufbau konstruiert, der die spezifische Gleichgewichtsfähigkeit abbilden soll (Abbildung 27). Die Grundkonstruktion, welche aus zwei beweglich gelagerten Platten besteht, wurde dazu auf der Messplatte befestigt. Die Fixierung des Probanden erfolgte durch eine handelsübliche Skisicherheitsbindung Motion iPT 14.0 der Firma Marker®. Mittels Verriegelung konnten die Bindung auf die unterschiedlichen Schuhgrößen eingestellt werden. Bei der Barfussmessung, die als Referenzwert erhoben wurde, stand der Teilnehmer auf einer Adapterplatte, die in der Skibindung arretiert wurde.

Befestigt wurden die Bindungssysteme ebenfalls auf zwei beweglichen Platten, wobei diese in der horizontalen Richtung variabel auf die unterschiedlichen Standweiten der Studienteilnehmer angepasst werden konnten. Die flexible Lagerung wurde mittels handelsüblicher Elastomere realisiert, infolgedessen die Bewegung der Platte in alle drei Ebenen möglich war. Zur Minimierung des Sturzrisikos befand sich um den Messaufbau ein Sicherheitsgeländer, an dem sich der Proband bei Verlust des Gleichgewichts abstützen konnte.

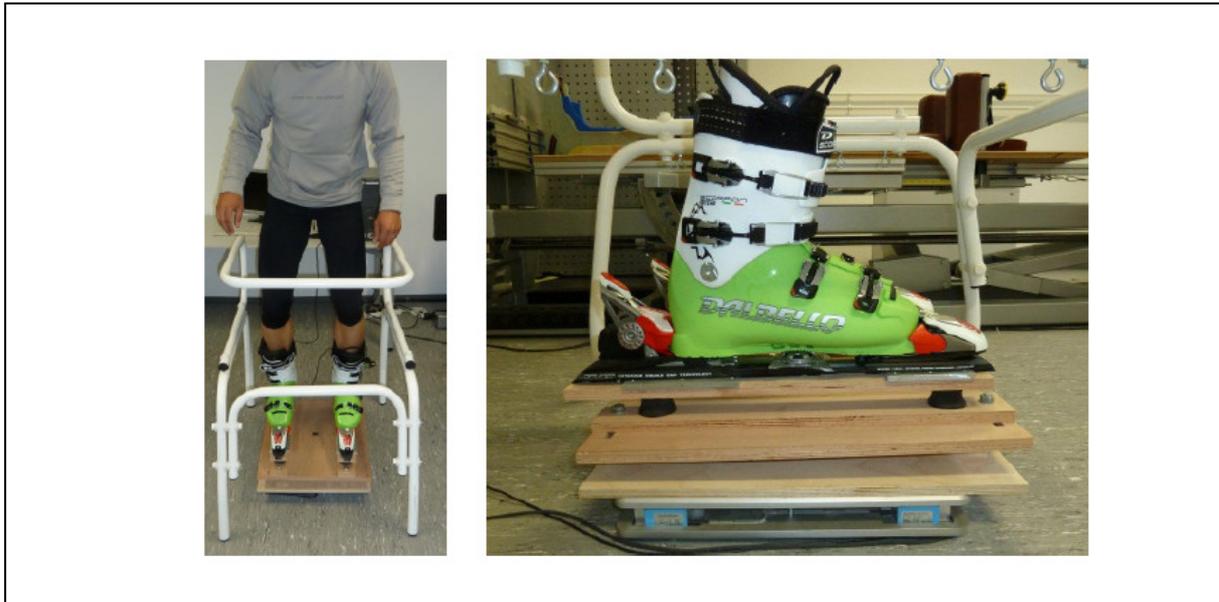


Abb. 27: Messplatz mit Testperson (links), seitliche Ansicht (rechts) (eigene Aufnahmen)

Die Aufnahme­frequenz betrug 1000 Hz. Die Daten wurden mit einem Butterworth-Tiefpassfilter der 4. Ordnung und einer Cutoff-Frequenz von 50 Hz geglättet. Die Rohdaten wurden mit Hilfe der Software MATLAB® (7.7.0) der Firma MathWorks® weiterverarbeitet.

Zur Quantifizierung der Gleichgewichtsfähigkeit wurden die x- und y-Koordinaten des CoP berechnet, um die weiteren Parameter generieren zu können. Zur Datenanalyse wurden der Gesamtweg in Millimetern [mm], die durchschnittliche Geschwindigkeit in Millimeter pro Sekunde [mm s^{-1}] und die Fläche (Area of Sway) in Quadratmillimeter [mm^2] berechnet.

Die Berechnung der Fläche erfolgte ebenso mit der Software MATLAB® (7.7.0). Dabei wird um die in der Ebene vorliegenden Punkte ein konvexes Polygon konstruiert, deren Inhalt berechnet werden kann. Definiert wird diese als konvexe Hülle, welche die kleinste konvexe Menge ist. Sie erfasst alle Punkte und wird mit Hilfe von Algorithmen berechnet (Edelsbrunner, 1987). Demzufolge kann die Bewegung des CoP als Fläche idealisiert abgebildet werden (Abbildung 28).

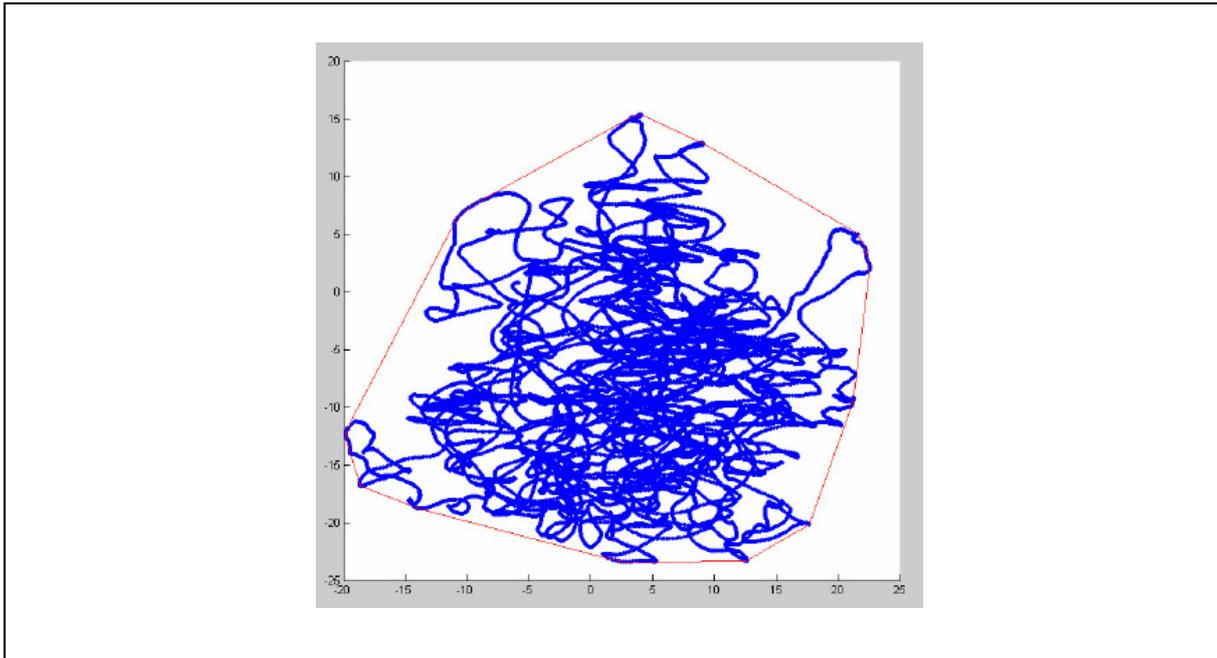


Abb. 28: Konvexe Hülle einer Messung aller CoP-Punkte, Screenshot Auswertungssoftware MATLAB® (eigene Aufnahme)

Die Bewertung der Passform und des Komforts erfolgte anhand visueller Analogskalen (VAS). Entgegen der zur Beurteilung von Passform häufig verwendeten Ordinalskalen können so Unterschiede differenzierter wiedergegeben werden. Zudem bietet sich angesichts des metrischen Skalenniveaus die Möglichkeit der Auswertung mittels parametrischer Tests. Der Bewertungsbereich der Skala beträgt 150 mm. Die Bewertung wurde gemäß der subjektiven Einschätzung durch eine Markierung auf der Skala angegeben. Die beiden Endpunkte geben dabei entsprechend der Bezeichnung minimale und maximale Werte an und können bei Bedarf ebenso markiert werden. Die VAS-Skalen stellen laut Mündermann et al. (2002) ein geeignetes Verfahren zur Passform- und Komfortbewertung dar. Die Reliabilität und Validität ist gegeben und kann als hoch angesehen werden (Ahearn, 1997).

Der Fragebogen gliederte sich in zwei Abschnitte. Entsprechend der funktionellen Eigenschaften alpiner Skischuhe wurde im ersten Teil die Wichtigkeit ausgewählter Funktionen bewertet, bevor im zweiten Teil die Beurteilung der Passform und des Komforts der verschiedenen Schuhbereiche erfolgte. Die Auswahl der Funktionalitätskriterien resultierte in Anlehnung an Ebert (2010).

Zur Beurteilung bestehender Zusammenhänge zwischen subjektiver Beurteilung und fußanthropometrischer Parameter wurden die Füße der Probanden mittels 3D Laserscanner „INFOOT® USB Standart Type“ der Firma „I-Ware Laboratory“ (Osaka, Japan) vermessen, auf deren detailliertere Beschreibung im Punkt 4.3.2 eingegangen wird.

4.1.4 Studiendesign

Gemessen wurde die Gleichgewichtsfähigkeit mit zwei unterschiedlichen Schuhmodellen der Firma Dalbello® an einem Testtermin. Die Schuhe unterschieden sich im Wesentlichen in der Leistenbreite (Tabelle 3). Es wurde ein rennsportlich orientierter Schuh (R-Schuh) und ein komfortorientierter Schuh (K-Schuh) verwendet. Die differenten Schuheigenschaften bestanden zwar ebenso bezüglich der Schaftsteifigkeit, können aber im Zusammenhang mit der Durchführungscharakteristik vorliegender Untersuchung vernachlässigt werden, da sie auf die Ergebnisse der Studie einen geringen oder keinen Einfluss haben.

Es wurden pro Schuhkonfiguration zwei Messversuche in randomisierter Reihenfolge absolviert sowie zusätzlich zwei Messungen barfuß. Um einen eventuell existierenden Übungseffekt ausschließen zu können, wurde danach noch ein weiterer Versuch pro Testsituation durchgeführt. Damit konnten pro Bedingungen insgesamt drei Messwerte aufgezeichnet werden. Der beste Versuch wurde für die statistische Datenanalyse verwendet. Der Proband fixierte während der Messung ein 3 m vor ihm an der Wand hängendes Bild. Die Datenaufzeichnung betrug 45 Sekunden. Währenddessen hatte der Proband die Aufgabe möglichst ruhig zu stehen. Die Pausenzeit zwischen den einzelnen Versuchen betrug zwei Minuten. Zur Gewöhnung an das Testgerät bzw. die Bewegungsaufgabe fand vor den eigentlichen Messungen eine Gewöhnungsphase statt. Die Re-Test-Messung zur Überprüfung der Reliabilität des Testgeräts fand im Abstand von 14 Tagen unter gleichen Ablaufbedingungen statt.

Die Beurteilung der Passform erfolgte mittels der im vorherigen Abschnitt beschriebenen visuellen Analogskalen im Anschluss an die Messung der Gleichgewichtsfähigkeit, wodurch die Studienteilnehmer die Möglichkeit hatten, Empfindungen die während der Bewegung entstanden, mit einfließen lassen zu können. Die Testreihenfolge verwendeter Skischuhe erfolgte randomisiert.

Entsprechend der Notwendigkeit eines standardisierten Bewertungsablaufs wurden die Probanden über die Fragestellungen und deren Antwortmöglichkeiten vor Studienbeginn informiert. Die beiden in der Studie verwendeten Skischuhe waren optisch unterscheidbar, jedoch für alle Schuhgrößen baugleich (Tabelle 3). Die Angaben der Leistenbreite beziehen sich auf die Referenzgröße 26,5 bei Herren und 24,5 bei Frauen und sind vom Hersteller übernommen.

Tab. 3: Verwendete Skischuhe bei der Gleichgewichtsmessung u. Passformbewertung

Schuhmodell	Größen	Flex	Leistenbreite
♂ Dalbello Axion 11 (KS)	26,5 - 29,5	120	103 mm
♂ Dalbello Scorpion SR110 (RS)	26,5 - 29,5	110	98 mm
♀ Dalbello Aspire 75 (KS)	24,5 - 26,5	75	105 mm
♀ Dalbello Scorpion SF 100 (RS)	24,5 - 26,5	100	98 mm

4.1.5 Statistik

Für die statistische Datenanalyse wurde zunächst die Reliabilität des Testgeräts evaluiert. Die Daten wurden mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung geprüft. Es lag bei allen Daten Normalverteilung vor. Zur Berechnung der Test-Retest-Reliabilität wurde auf Grund der vorliegenden intervallskalierten Daten der Produkt-Moment-Koeffizient nach Pearson mit untenstehender Gleichung [1] berechnet. Die Überprüfung der Zuverlässigkeit der Messergebnisse bei wiederholten Messungen wurde außerdem mittels Reliabilitätsanalyse unter Verwendung der Intra-Class-Correlation (ICC) nach dem Model two-way mixed, single measures durchgeführt [2]. Ebenso wurde der zu erwartende Messfehler [3] berechnet. Durch die Berechnung des Root Mean Square Errors (RSME) kann die Zuverlässigkeit der Ergebnisse bewertet werden (Bland & Altman, 1996), die zusätzlich im Zusammenhang zur Inter-Standardabweichung (Inter-SD) interpretiert werden können.

$$[1] r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 * \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$[2] ICC(3,1) = \frac{MS_{zw} - MS_{err}}{MS_{zw} + (k-1) * MS_{err}}$$

Die Berechnung des Messfehlers erfolgte durch die Gleichungen [3] und [4], wobei j die Anzahl der Probanden ist und σ^2 die intrasubjektiven Varianzen bezeichnet, was bei Betrachtung einer vorliegenden einfaktoriellen Analyse der Quadratwurzel aus dem Within Subjekt Mean Square (WMS) entspricht (Bland & Altman, 1996) [4]. Zur Bewertung des Messfehlers zur intersubjektiven Variabilität wurde außerdem die RSME-Norm [5] bestimmt, infolgedessen eine Normierung des RSME im Verhältnis zur Standardabweichung aller Probandenmittelwerte erfolgt (Maiwald, 2008). Bei Annäherung der RSME-Norm an den Wert von 100 % würde der Messfehler und die interindividuelle Variabilität annähernd gleich sein und damit die Differenzierbarkeit der Messwerte unterschiedlicher Probanden wäre eingeschränkt.

$$[3] \text{RSME} = \sqrt{\frac{\sum_1^j \sigma^2}{j}}$$

$$[4] \text{RSME} = \sqrt{\text{WMS}}$$

$$[5] \text{RSME}_{norm} = \left(\frac{\text{RSME}}{SD} \right) * 100$$

Die graphische Darstellung der gemessenen Differenzen erfolgte anhand der Bland-Altman-Diagramme (Bland & Altman, 1986) für die unterschiedlichen Testbedingungen bei Berechnung des CoP-Wegs. Die Testung wurde barfuss mit R- und K-Schuh durchgeführt. Die Schuhe unterschieden sich im Wesentlichen in der Leistenbreite (siehe Kapitel 4.1.4). Durch die Diagramme können Aussagen über die Schwankungsbreite der Messdifferenzen getroffen werden. Die Limits of Agreements wurden wie üblicherweise mit dem 1,96-fachen Wert der Standardabweichung der Mittelwerte der Differenzen festgelegt.

Für die statistische Analyse zur Untersuchung der Mittelwertunterschiede der Gleichgewichtsmessung wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft. Die Prüfung erfolgte durch die Anwendung des Shapiro-Wilk-Tests. Da bei diesen Daten keine Normalverteilung existierte, wurde für die statistische Analyse der Mann-Whitney-Test zur Prüfung eventuell vorliegender Gruppenunterschiede verwendet. Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests wurden die Mittelwertunterschiede der gepaarten Stichproben auf Signifikanz geprüft. Entsprechend der Fragestellungen erfolgte eine alpha-Adjustierung ($\alpha/3 = 0,016$). Die Signifikanzschwelle betrug $p = 0,016$.

Die Daten der Passformbewertung erwiesen sich ebenso als nicht hinreichend normalverteilt, so dass bei der Inferenzstatistik analog zur Gleichgewichtsmessung verfahren wurde. Entsprechend der Fragestellungen bei der Passformbewertung erfolgte eine alpha-Adjustierung ($\alpha/8 = 0,006$). Für alle Parameter ist eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,006$ festgelegt.

Um die Zusammenhänge zwischen Passform- und Komfortbewertung bewerten zu können, wurden für die einzelnen Bereiche der Korrelationskoeffizient nach Spearman berechnet. Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde SPSS 19.0 (statistical packet for social science) verwendet.

4.1.6 Ergebnisse und Diskussion der Reliabilitätsstudie

Die Betrachtung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson zeigt für alle drei Testbedingungen eine signifikante ($p < 0,05$) Korrelation der Messwerte bei wiederholter Messung. Sowohl bei der Barfussmessung ($r = 0,86$) als auch bei den Messungen der Gleichgewichtsfähigkeit unter Benutzung der beiden differenten Schuhkonfigurationen (R-Schuh: $r = 0,88$, K-Schuh: $r = 0,85$) korrelieren die Messungen untereinander. Die Produkt-Moment-Koeffizienten der jeweiligen Testbedingungen (Tabelle 4) zeigen somit eine gute Reproduzierbarkeit der Messparameter, was auch durch die ICC bestätigt wird. Mittels dieser Ergebnisse kann das Messgerät als reliabel angesehen werden.

Tab. 4: Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse

	r	ICC(3,1)	MW der Differenzen [mm]	inter SD [mm]	RSME [mm]	Verhältnis mittlerer CoP-Weg u. $1,96 \cdot SD$ [%]
ohne Schuh	0,86	0,86	-34,9	328	181	18,4
K-Schuh	0,85	0,84	40,6	239	140	18,9
R-Schuh	0,88	0,85	46,4	189	171	21,2

Laut Grouven et al. (2007) ist eine hohe Korrelation jedoch nicht gleichbedeutend mit einer hohen Übereinstimmung, so dass für die praktische Relevanz die Differenzen der beiden Messungen mittels Bland-Altman-Plot analysiert wurden. Entscheidend bei der Betrachtung ist dabei die Streuung der Differenzen der einzelnen Messwertpaare, welche in den jeweiligen Diagrammen (Abbildung 29 - 31) graphisch dargestellt sind.

Für die Barfussmessung (Abbildung 29) bedeutet dies, dass der Mittelwert aller Differenzen -34,9 mm beträgt und auf Grund der Standardabweichungen die Schwankungen zwischen -388 mm und 320 mm liegen können. Setzt man diese in das Verhältnis zum Mittelwert ergibt sich eine Differenz des mittleren Weges des CoP von 18,4 %. Das bedeutet, dass die Schwankungen der Daten mit einem Betrag um den Mittelwert der beiden Messungen liegen können. Für die $RSME_{norm}$ erhält man einen Wert von 55,2 %. Der Messfehler (RSME) beträgt 181 mm und ist damit gegenüber dem Wert der Inter-SD von 328 mm geringer. Für die Messung ohne Benutzung alpiner Skischuhe liegen die Differenzen der aufeinander folgenden Datenerhebung innerhalb des zu erwartenden Messfehlers, demzufolge die Reliabilität des Messaufbaus als gegeben angesehen werden kann.

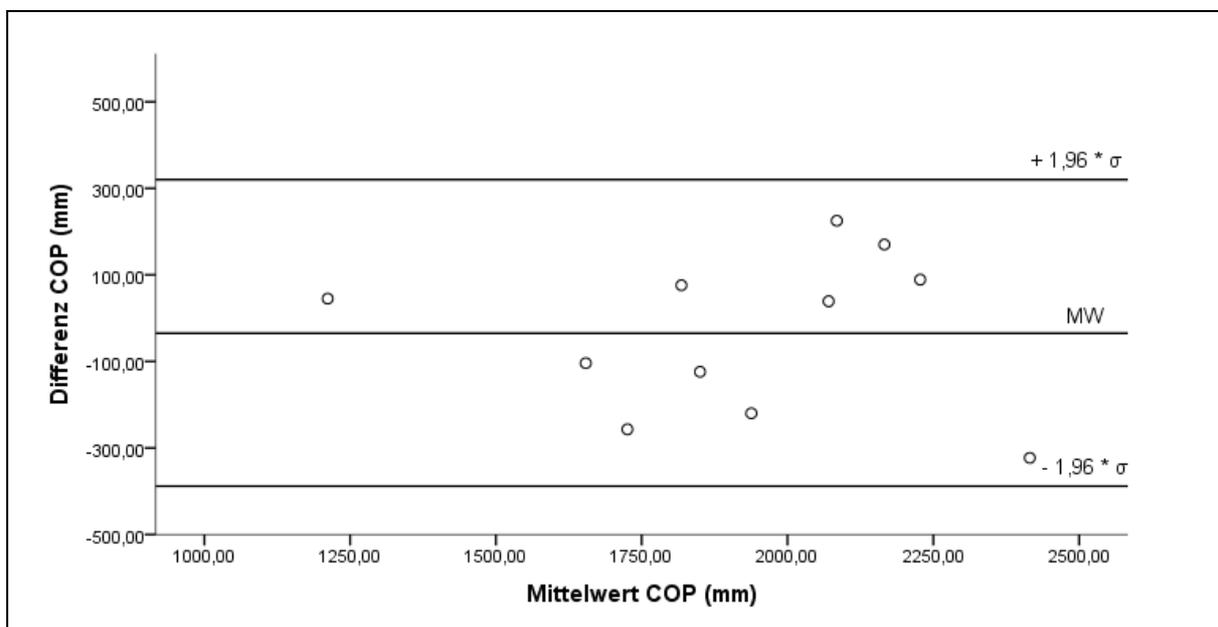


Abb. 29: Bland & Altman Diagramm für CoP-Weg-Messung ohne Schuh

Ausgehend davon, dass der wahre gemessene Wert einer Person in 95 % aller Fälle innerhalb eines Intervalls der $\pm 1,96$ mal der Standardabweichung der Differenzen liegen muss, können die betrachteten und wiederholten Messungen von Zeitpunkt 1 und 2 bei der Messung ohne Schuhbenutzung als übereinstimmend interpretiert werden. D. h. da die Differenzen innerhalb der Limits of Agreements liegen, kann davon ausgegangen werden, dass die aufgetretenen Messabweichungen auf den vorhandenen Messfehler zurückzuführen sind (Bland & Altman, 1986) und keine echten Veränderungen darstellen. Für die Bewertung der Studienergebnisse im Abschnitt 4.1.7 müssen die Resultate bei der Interpretation bezüglich der praktischen Relevanz berücksichtigt werden. Die zur Festlegung der Reliabilität notwendige geringere intrasubjektive Differenz eines Probanden gegenüber der intersubjektiven Differenz aller Probanden ist vorhanden.

Die Datenanalyse bei Nutzung des komfortablen Skischuhs zeigt ähnliche Ergebnisse (Abbildung 30), da der Mittelwert der Differenzen 40,6 mm beträgt. Demzufolge waren die Ergebnisse der 2. Messung durchschnittlich um diesen Betrag kleiner. Auf Grund der Festsetzung der Limits of Agreements beim 1,96-fachen Wert der Standardabweichung ist die Schwankungsbreite durch das Intervall von -233 mm bis 314 mm festgelegt, in dessen Grenzen alle Messdifferenzen liegen.

Die Abweichungen können somit 18,9 % des mittleren CoP-Wegs betragen. Der RSME ist mit 140 mm ebenfalls geringer als die Inter-SD, welche einen Wert von 239 mm besitzt, demnach auch die wiederholten Messungen bei Nutzung breiterer Skischuhe als reliabel angesehen werden können. Im Verhältnis zur Standardabweichung der Mittelwerte beider folgender Messungen beträgt somit die $RSME_{norm}$ 58 %.

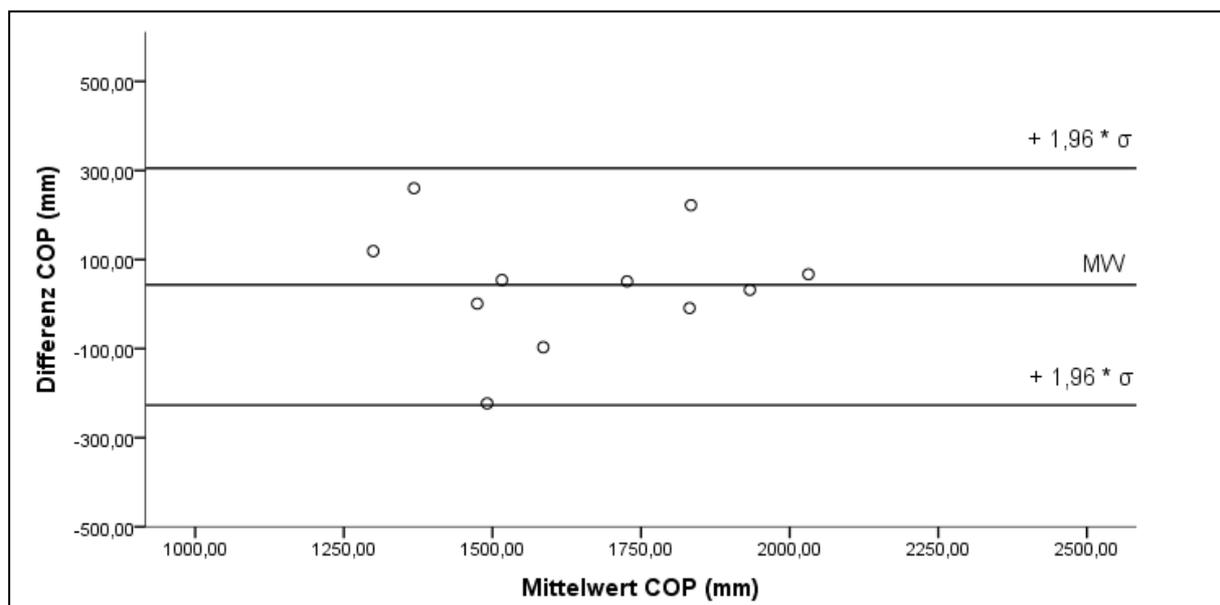


Abb. 30: Bland & Altman Diagramm für CoP-Weg-Messung mit K-Schuh

Im Vergleich zu den beiden bisherigen Messkonfigurationen zeigen die Ergebnisse bei Nutzung der R-Schuhe (Abbildung 31) bezüglich des Messfehlers und der Inter-SD geringere Unterschiede, da der RSME einen Wert von 171 mm besitzt und die Inter-SD 189 mm beträgt. Die Forderung nach einer höheren intrasubjektiven gegenüber der intersubjektiven Differenz ist dennoch gegeben.

Entsprechend hoch ist mit einem Wert von 90 % die $RSME_{norm}$. Die Schwankungen sind den beiden vorhergehenden Messkonfigurationen ähnlich und können bis zu 21,3 % des CoP-Wegs betragen. Der Mittelwert der Differenzen von Messung 1 und 2 hat einen Betrag von 46,4 mm, so dass die Limits of Agreements bei einer Breite von -335 mm bis 381 mm liegen.

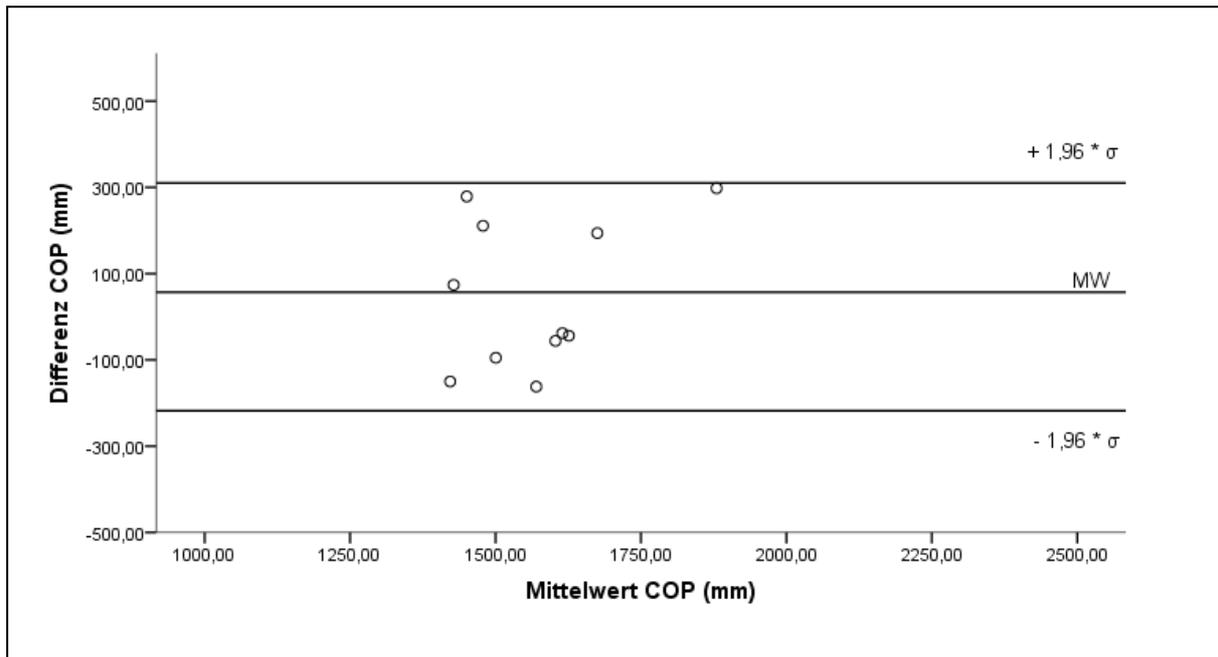


Abb. 31: Bland & Altman Diagramm für CoP-Weg-Messung mit R-Schuh

Diskussion

Im Ergebnis der Reliabilitätsanalyse zeigt sich durch die Betrachtung der jeweiligen Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) in Anlehnung an Fleiss (1986) eine sehr hohe Reproduzierbarkeit der Messwerte. Bezüglich dieser und der durch die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson erhaltenen Resultate liefert der verwendete Messaufbau reliable Daten. Wie bereits angegeben, muss das Resultat unter Einbeziehung der Ausführungen von Grouven et al. (2007) jedoch mit Einschränkung betrachtet werden, da die Autoren in beiden Analyseverfahren keine geeignete Methode zur Reliabilitätsprüfung sehen. Unter Berücksichtigung der Bewertung der Ergebnisse scheint die Anwendung der Verfahrensweise dennoch sinnvoll zu sein, da nur so ein Vergleich zu Reliabilitätsanalysen von ähnlichen Testgeräten möglich ist. Häufig werden dabei nur die Korrelationskoeffizienten angegeben. Der ICC wird ebenfalls in den Studien von Pinsault und Vuillerme (2009), Bauer et al. (2009), Geldhof et al. (2006), Lin et al. (2008) oder Benvenuti et al. (1997) verwendet, um nur einige zu nennen.

Die Reproduzierbarkeit der Studienergebnisse bei wiederholter Messung sind dabei meist moderat bis sehr gut, wobei nach Benvenuti et al. (1997) die ICC-Werte bei Messungen innerhalb eines Tages größer waren als wenn die Messwiederholung an aufeinander folgenden Tagen durchgeführt wurde. Bezüglich der Messdauer wird eine Datenaufnahme von 30 Sekunden empfohlen (Samson & Crowe, 1996).

Die hier beim Test-Retest verwendete Dauer der Messung von 45 Sekunden ist somit ausreichend, was auch bezüglich der einmal durchgeführten Messung angegeben werden kann. Mehrere Messwiederholungen pro Zeitpunkt erhöhen den ICC lediglich (Pinsault & Vuillerme, 2008). Auf Grund der annähernd übereinstimmenden Koeffizienten der betrachteten Studien und der vorliegenden Reliabilitätsanalyse kann die Vorgehensweise als ausreichend angesehen werden. Raschner et al. (2008) entsprechen dieser Vorgehensweise und begründen die Reliabilität des MFT-S3-Check Geräts mittels Intraklassen-Korrelation und erhielten je nach Testsituation ähnliche Korrelationswerte.

Grouven et al. (2007) oder Atkinson und Nevill (1998) zufolge kann jedoch selbst bei einem hohen Korrelationskoeffizienten nicht unbedingt auf eine ausreichende Reliabilität geschlossen werden, da dieser beispielsweise durch heterogene Probandenwerte beeinflusst wird. Nach ihren Aussagen ist auch eine Übertragbarkeit der Zuverlässigkeitsbeurteilung auf andere Studien nicht ratsam. Insbesondere im Hinblick auf die unterschiedlich verwendeten Messprotokolle ist ein Vergleich nicht zu empfehlen. Eine Beeinflussung der Ergebnisse erfolgt zudem durch die ungleiche Anzahl der Studienteilnehmer. Nach zusammenfassenden Erkenntnissen empfehlen die Autoren daher ergänzend zu relativen Methoden die Anwendung absoluter Reliabilitätsüberprüfungen, da diese die tatsächliche Übereinstimmung der individuellen Messwerte wiedergeben. Bei der Beurteilung der Reliabilität ist es somit entscheidend, ob die Differenzen innerhalb der Limits of Agreements liegen, was graphisch mit Hilfe der Bland- und Altman-Diagramme abgebildet werden kann. D. h. wenn 95 % aller Messwerte innerhalb dieses Intervalls liegen, kann davon ausgegangen werden, dass die wiederholten Messungen reliabel sind und das Wiederholbarkeitskriterium erfüllt ist. Bei allen in dieser Studie durchgeführten Messbedingungen der vorliegenden Reliabilitätsanalyse ist dieses Kriterium gegeben. Die Beurteilung der praktischen Relevanz muss letztendlich durch den Testleiter erfolgen.

Die in den Abbildungen 29 – 31 dargestellten Ergebnisse deuten im Mittelwert der Differenzen durchweg auf eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Messwerte bei wiederholter Messung hin, da sie bezogen auf die gemessene Gesamtwegstrecke des CoP als niedrig eingeschätzt werden können. Bezüglich der errechneten Standardabweichungen muss dies aber relativiert werden. Die Unterschiede bei wiederholten Messungen können demnach 18,4 – 21,2 % der mittleren Wegstrecke betragen. Hierbei zeigt sich vor allem bei der Analyse der einzelnen Messbedingungen scheinbar eine Abhängigkeit der Differenzen von der individuellen Präferenz des jeweiligen Schuhmodells. Entsprechend der vorliegenden Ergebnisse (SD_{diff}) könnte eine Abweichung dahingehend schon auf Grund persönlicher Vorerfahrungen begründet und von bisher eigenen genutzten Skischuhen abhängig sein. Die Reliabilität wird hierbei jedoch nicht beeinflusst und in Frage gestellt, da die Abweichungen innerhalb der Limits of Agreements liegen und im Verhältnis zu den tatsächlich gemessenen

CoP-Werten praktisch akzeptabel sind. Diese sollten jedoch in der weiteren Analyse beachtet werden. Die Bewertungen der zu erwartenden signifikanten Mittelwertunterschiede sind somit entscheidend, um einen praktischen Nutzwert abzuleiten. Auf Grund der ungenügenden Studienlage vergleichbarer Erhebungen bzw. deren divergenten Messprotokolle wurde eine Gegenüberstellung mit anderen Studien für nicht sinnvoll erachtet und nicht durchgeführt, da diese laut Hopkins (2000) aus den bereits genannten Gründen sehr schwierig ist.

4.1.7 Ergebnisse der Untersuchungen

4.1.7.1 Ergebnisse der Gleichgewichtsmessung

Die Ergebnisse der Gleichgewichtsmessung zeigen für alle drei Testbedingungen keine signifikanten Unterschiede bezüglich des gemessenen Gesamtwegs des CoP zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern der Studie. Die Resultate zeigen zudem, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Anfängern und fortgeschrittenen Skifahrern existiert, demzufolge im weiteren Verlauf die Probandengruppe gemeinsam betrachtet wurde. Die erhaltenen Mittelwertunterschiede sind sowohl für die Messung ohne Schuhe als auch für die beiden Schuhbedingungen (R- und K-Schuh) statistisch nicht bedeutsam.

Da in der Fragestellung 1 der Unterschied zwischen den Skifahrergruppen untersucht werden sollte, erfolgt die graphische Darstellung auch nur für diesen Gruppenvergleich und ist für den Weg des CoPs dargestellt (Abbildung 32).

Betrachtet man die Gruppen gemeinsam erhält man signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Messbedingungen, deren Mittelwerte in Tabelle 5 zusammengefasst sind. Deutlich wird dabei der erhöhte CoP-Weg bei der Barfussmessung (oS), der bei der Betrachtung gegenüber den Schuhbedingungen (R- und K-Schuh) hochsignifikant ($p < 0,001$) größer ist (Abbildung 33). Die gemessene Länge des CoPs ist bei der Barfussmessung im Mittel um 374 mm gegenüber dem R-Schuh und 254 mm gegenüber dem K-Schuh größer. Für den Vergleich der beiden Schuhbedingungen ergibt sich ebenso eine hochsignifikant ($p < 0,001$) differente Länge des CoP. Bei Verwendung der R-Schuhe ist diese durchschnittlich 121 mm geringer. Auffällig sind dabei die hohen Standartabweichungen, denen bei Ergebnisinterpretation Beachtung geschenkt werden muss.

Tab. 5: Ergebnisse der Mittelwerte bei unterschiedlichen Testbedingungen MW \pm SD

Variablen	Einheit	ohne Schuhe (oS)	rennsportlicher Schuh (RS)	komfortabler Schuh (KS)
CoP _S	[mm]	1951 \pm 643	1576 \pm 424	1697 \pm 484
CoP _V	[mm/s]	43,57 \pm 14,31	34,85 \pm 9,16	37,58 \pm 10,61
CoP _A	[mm ²]	1627 \pm 586	1640 \pm 501	1968 \pm 786

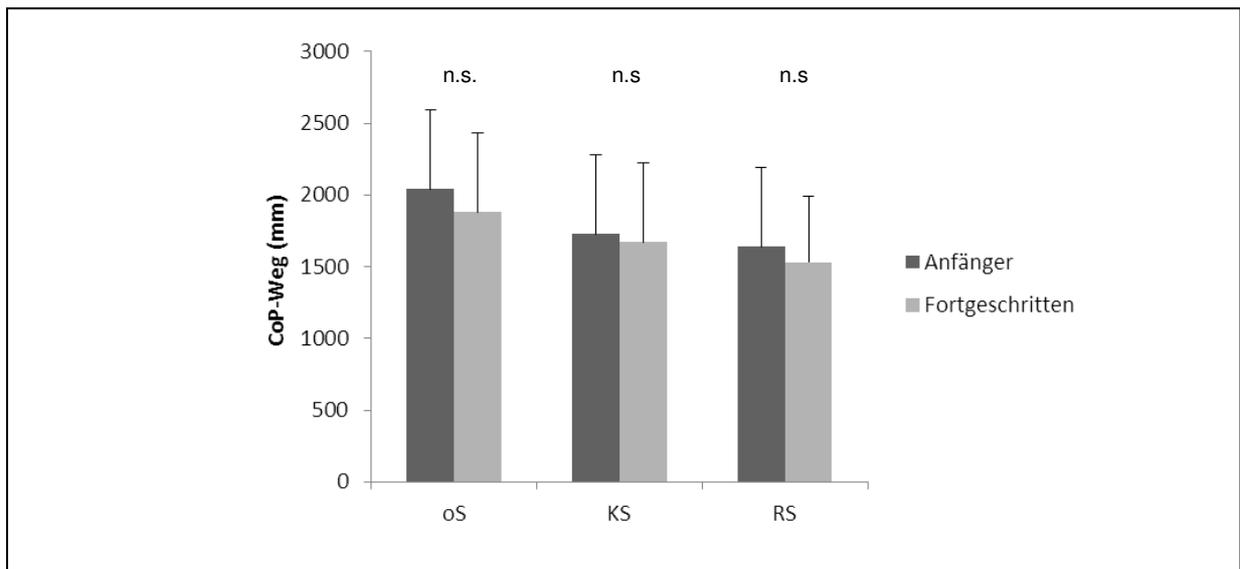


Abb. 32: CoP-Weg Gruppenvergleich Anfänger und Fortgeschrittene (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS)

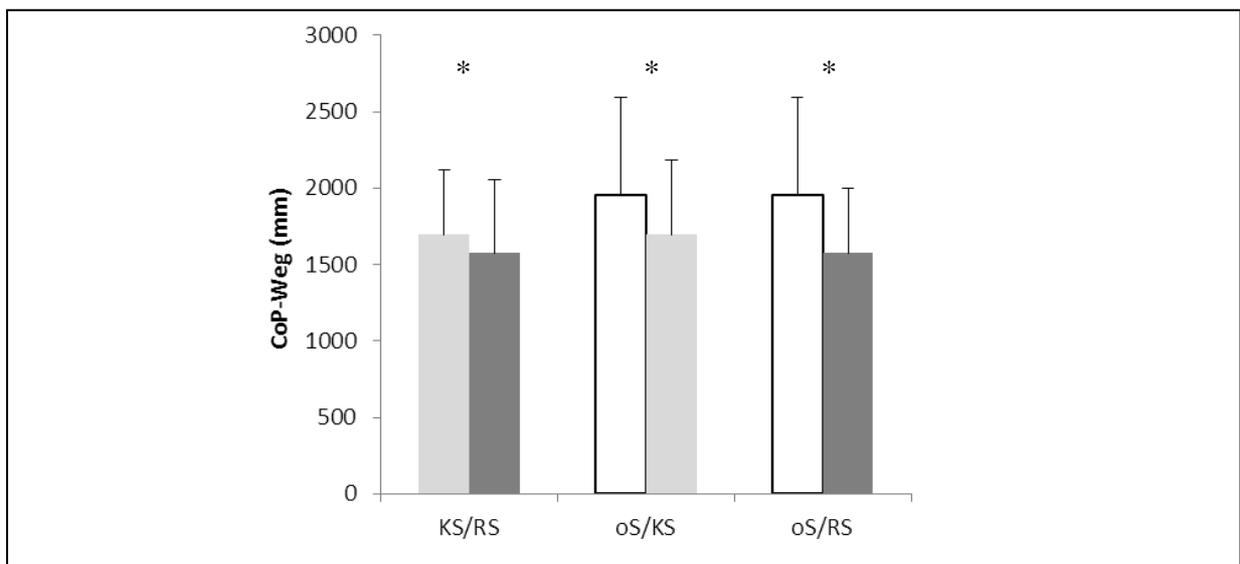


Abb. 33: CoP-Weg-Mittelwertvergleich bei Testung unterschiedlicher Schuhbedingungen (ohne Schuh = os, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS)

Der Vergleich der durchschnittlichen Geschwindigkeit des CoPs zeigt ebenso einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abbildung 34). Die Angabe der durchschnittlichen Geschwindigkeit erfolgt in mm s^{-1} . Auch bei diesem Parameter konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Anfängern und fortgeschrittenen Skifahrern bzw. zwischen männlichen und weiblichen Probanden festgestellt werden, demzufolge alle Probanden gemeinsam betrachtet wurden.

In der Gegenüberstellung der beiden Schuhbedingungen kommt es zu einer signifikant ($p < 0,001$) geringeren Geschwindigkeit des CoPs bei Durchführung der Tests unter Verwendung des R-Schuhs ($34,85 \pm 9,16 \text{ mm s}^{-1}$) von $2,73 \text{ mm s}^{-1}$ gegenüber der Messung mit komfortablem Schuh ($37,58 \pm 10,61 \text{ mm s}^{-1}$). Auch der Vergleich der beiden Schuhmessungen zur Testung barfuss ($43,57 \pm 14,31 \text{ mm s}^{-1}$) erweist sich jeweils signifikant ($p < 0,001$) unterschiedlich.

Zusammenfassend kann auch durch Betrachtung dieses Parameters auf eine veränderte Gleichgewichtsfähigkeit bei Nutzung enger Skischuhe gegenüber den beiden anderen Testbedingungen konstatiert werden.

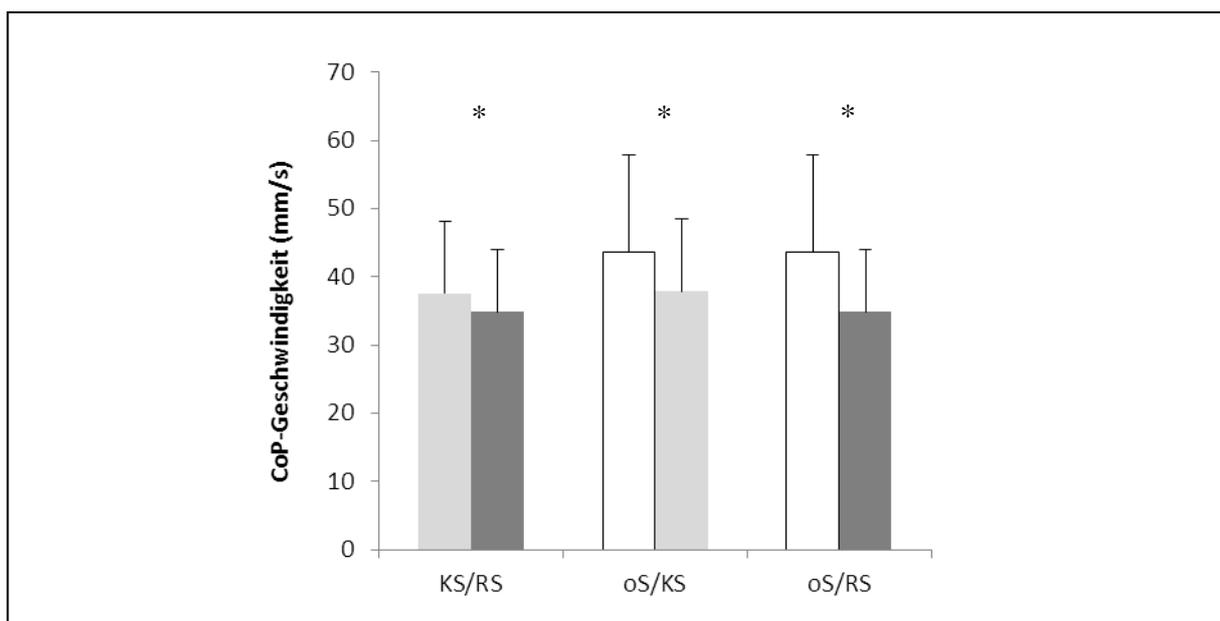


Abb. 34: CoP-Geschwindigkeit Mittelwertvergleich bei Testung mit Schuhbedingung (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS)

Bei der Analyse der Gleichgewichtsfähigkeit anhand der Fläche konnten ebenfalls keine Unterschiede zwischen Frauen und Männern festgestellt werden. Ebenso bestanden zwischen Anfängern und fortgeschrittenen Skifahrern keine Unterschiede, infolgedessen das Probandenkollektiv gemeinsam betrachtet wurde. Wie in Abbildung 35 dargestellt ist, konnte lediglich beim Vergleich der beiden Schuhbedingungen ein signifikanter ($p = 0,015$) Unterschied festgestellt werden. Im Mittel lag der Unterschied der Fläche bei 328 mm^2 . Da die Messwerte bei Nutzung des R-Schuhs geringer waren, kann somit auf eine bessere Gleichgewichtsfähigkeit mit diesem Schuh geschlossen werden. Die Vergleiche zwischen den beiden Schuhbedingungen und der Messung ohne Schuh unterscheiden sich statistisch nicht signifikant. Für die Gegenüberstellung der Barfussmessung zum R- bzw. K-Schuh ist der p-Wert größer 0,016. Allerdings sind hier gegenüber der CoP-Weg-Messung die Ergebnisse umgekehrt, da der Mittelwert der Messung ohne Schuhe geringer ist.

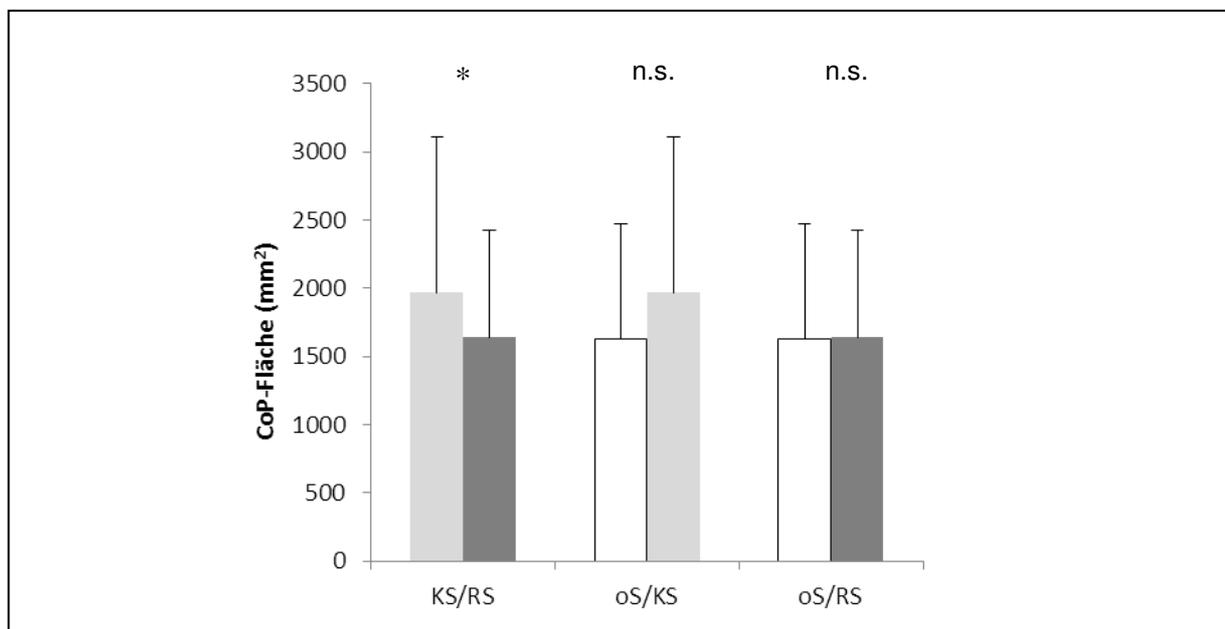


Abb. 35: CoP-Fläche Mittelwertvergleich bei Testung unterschiedlicher Schuhbedingung (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS)

4.1.7.2 Ergebnisse der Passformbewertung

Anhand der in Tabelle 6 dargestellten Ergebnisse wird deutlich, dass in der Beurteilung der Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften Unterschiede bestehen. In der Rangfolge beurteilten die Probanden die Passform als wichtigste funktionelle Eigenschaft gefolgt vom Halt im Skischuh und der Kraftübertragung. Der Komfort wird als die vierte wichtigste Eigenschaft beurteilt. Ein leichter Einstieg dagegen ist ebenso unwichtig wie die Geheigenschaft, welche die beiden letzten Plätze bilden. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bezüglich des Leistungsniveaus können als gering eingeschätzt werden. In Tabelle 7 wird dabei deutlich, dass signifikante Unterschiede lediglich im Komfort und in der Geheigenschaft bestehen, welche graphisch in Abbildung 36 dargestellt werden. Bei allen weiteren Eigenschaften sind die bestehenden Mittelwertunterschiede statistisch nicht signifikant. Ein Unterschied der auf Grund des skifahrerischen Niveaus zu erwarten gewesen wäre, ist in der Rangfolge der Plätze 1 – 4 nicht belegbar, obwohl dieser in den Mittelwerten, d. h. in der Höhe der Bewertung besteht. Ab Platz 4 der angeführten Eigenschaften sind die Platzierungen differenzierter anzusehen.

Im Vergleich von Anfängern und fortgeschrittenen Skifahrern ergeben sich folglich unterschiedliche Gewichtungen (Tabelle 6). Gegenüber Skianfängern ist für fortgeschrittene Skifahrer die Steifigkeit des Skischuhs wichtiger als das Schuhinnenklima. Für Anfänger sollte der Skischuh gute Geheigenschaften besitzen. Ein einfacher Schuheinstieg bildet dagegen den unwichtigsten Faktor. Bei fortgeschrittenen Skifahrern sind diese Eigenschaften in der Rangfolge vertauscht.

Tab. 6: Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften des Skischuhs

Rangplatz gesamt	Rangplatz Anfänger	Rangplatz Fortgeschritten
1. Passform	1. Passform	1. Passform
2. Halt im Skischuh	2. Halt im Skischuh	2. Halt im Skischuh
3. Kraftübertragung	3. Kraftübertragung	3. Kraftübertragung
4. Komfort	4. Komfort	4. Komfort
5. Schuhinnenklima	5. Schuhinnenklima	5. Steifigkeit des Skischuhs
6. Steifigkeit des Skischuhs	6. Steifigkeit des Skischuhs	6. Schuhinnenklima
7. Schuheinstieg	7. Geheigenschaft	7. Schuheinstieg
8. Geheigenschaft	8. Schuheinstieg	8. Geheigenschaft

Tab. 7: Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften mit MW u. SD im Vergleich Skifahrertyp

	Anfänger		Fortgeschritten		p
	MW	SD	MW	SD	
Passform	17,95	13,51	14,66	16,41	.204
Komfort	29,32	23,10	48,79	26,78	.014*
Kraftübertragung	28,27	27,23	17,59	17,30	.179
Halt im Skischuh	26,36	32,95	16,66	18,92	.350
Steifigkeit des Skischuhs	58,00	25,85	51,48	33,96	.365
Schuhinnenklima	43,18	28,43	55,86	31,92	.215
Schuheinstieg	76,00	34,60	81,55	35,78	.529
Geheigenschaft	73,64	33,81	92,28	36,43	.013*

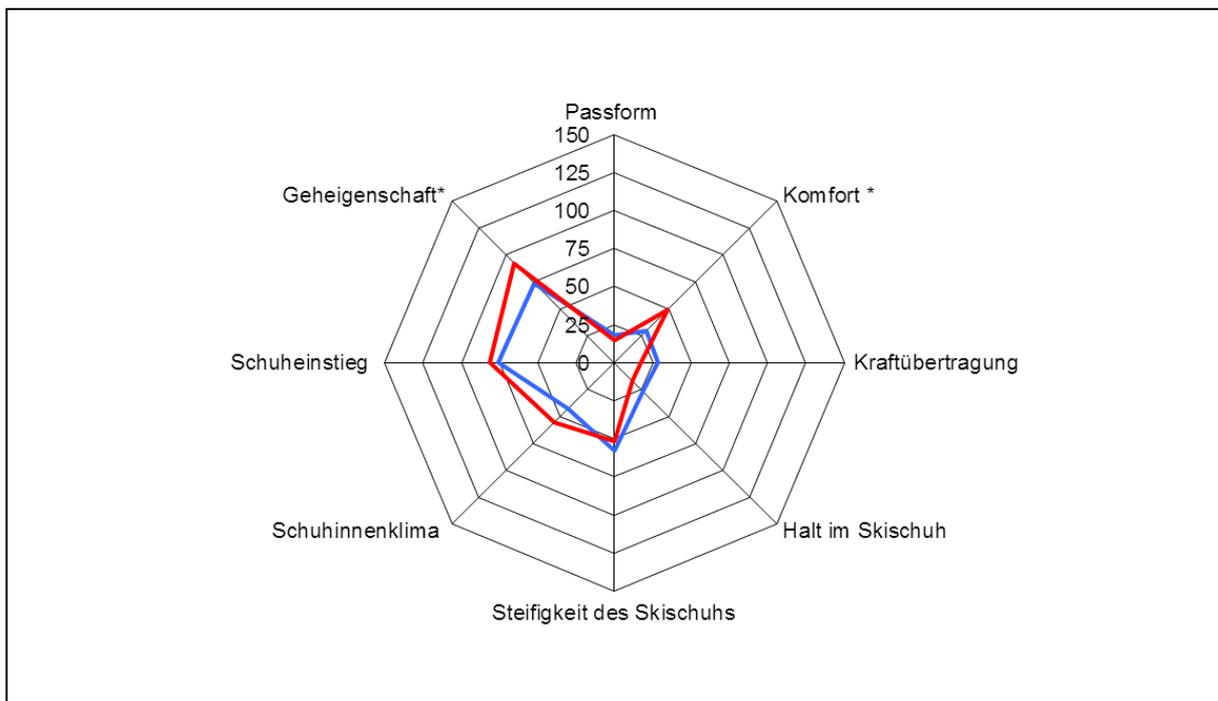


Abb. 36: Deskriptive Darstellung der Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften (dunkel – fortgeschrittener Skifahrer, hell – Anfänger)

Da bei der Passform- und Komfortbewertung keine Unterschiede zwischen den Gruppen feststellbar waren, erfolgte die Betrachtung für alle Teilnehmer der Studie gemeinsam. In Abbildung 37 ist ersichtlich, dass in der Bewertung der Passform beider Schuhe (KS, RS) signifikante ($p < 0,001$) Unterschiede in allen Schuhbereichen bestehen. Anhand der graphischen Darstellung der Beurteilung kann festgestellt werden, dass der rennsportlich orientierte gegenüber dem komfortorientierten Modell mittels visueller Analogskala als enger bewertet bzw. wahrgenommen wurde. Größere Abweichungen in der Beurteilung bestehen hauptsächlich für den Bereich der Schuhbreite, Schaftweite und in der Bewertung der Passform allgemein. Die Angaben der Schuhbreite differieren dabei im Mittel um 2,2, die der Schaftweite um 2,3 und die der Passform sogar um 3,4 Bewertungspunkte. Für alle anderen

Bereiche zeigen sich geringe Differenzen (Fußlänge 1,6, Risthöhe 1,8 und Fersenweite 1,6). Die Angaben beziehen sich dabei auf den Gesamtwert der VSA von 150 mm, wobei ein Bewertungspunkt in Anlehnung an Mündermann et al. (2002) mit 10 mm gleichgesetzt werden kann.

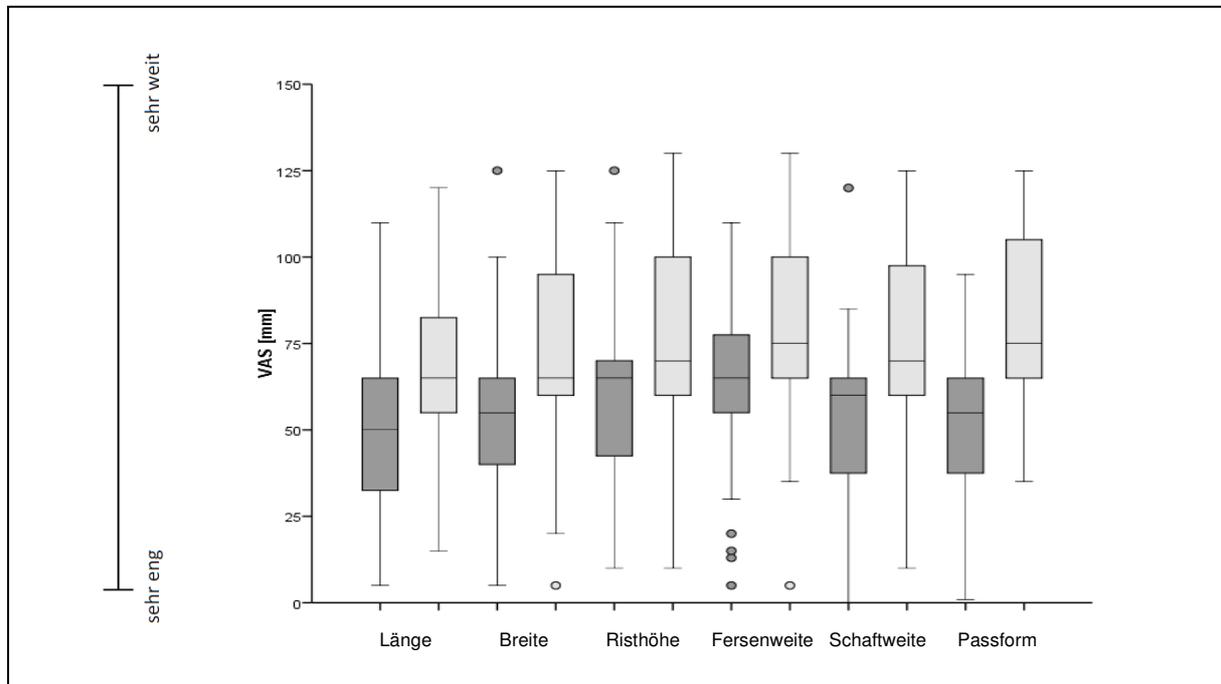


Abb. 37: Passformbewertung unterschiedlicher Skischuhe (dunkel R-Schuh, hell K-Schuh)

Bei der Bewertung des Komforts sind ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den beiden Schuhen (Abbildung 38) sichtbar. Allerdings treten diese nur in den Bereichen der Schuhbreite ($p = 0,004$) und für die Passform ($p = 0,002$) allgemein auf. Für die Komfortbewertung der Schuhbreite beträgt der Unterschied jedoch nur 0,8 Bewertungspunkte. Für die Passform erhält man mit 0,9 Punkten Unterschied ein ähnliches Ergebnis. Für alle weiteren Bereiche in denen eine Bewertung durchgeführt wurde sind die Unterschiede nicht existent. Der K-Schuh wurde von den Probanden entsprechend als komfortabler eingeschätzt.

Von einem praktisch bedeutsamen Zusammenhang zwischen Passform- und Komfortbewertung (Tabelle 8) kann bei dem getesteten komfortablen Schuh allerdings nicht ausgegangen werden. Für den rennsportlichen Schuh sind Korrelationen nur in der Schuhbreite, der Schaftweite und der Passform nachweisbar, welche nach Brosius (2011) als schwach bis mittel einzustufen sind.

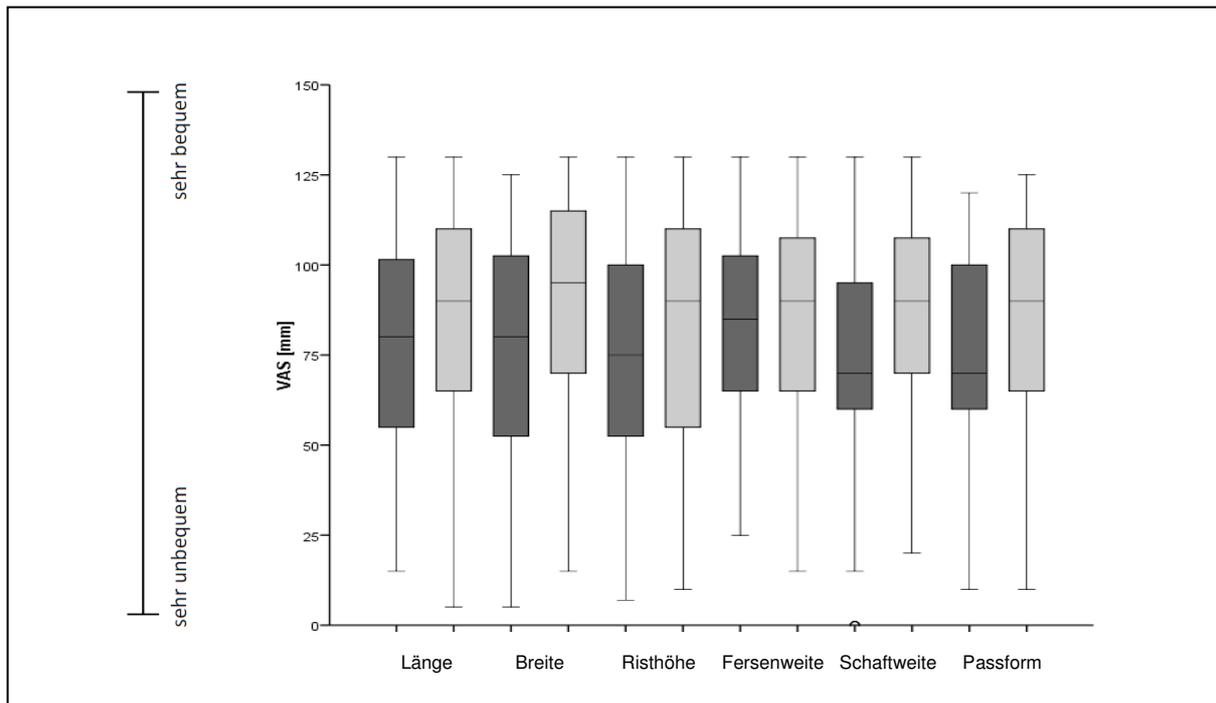


Abb. 38: Komfortbewertung unterschiedlicher Skischuhe (dunkel R-Schuh, hell K-Schuh)

Tabelle 8: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Passform- u. Komfortbewertung in den jeweiligen Fußbereichen für R- und K-Schuh

	R-Schuh	K-Schuh
	r	r
Schuhlänge	0,21	0,15
Schuhbreite	0,28	0,16
Risthöhe	0,45	0,17
Fersenweite	0,06	0,03
Schaftweite	0,47	0,07
Passform allgemein	0,42	0,02

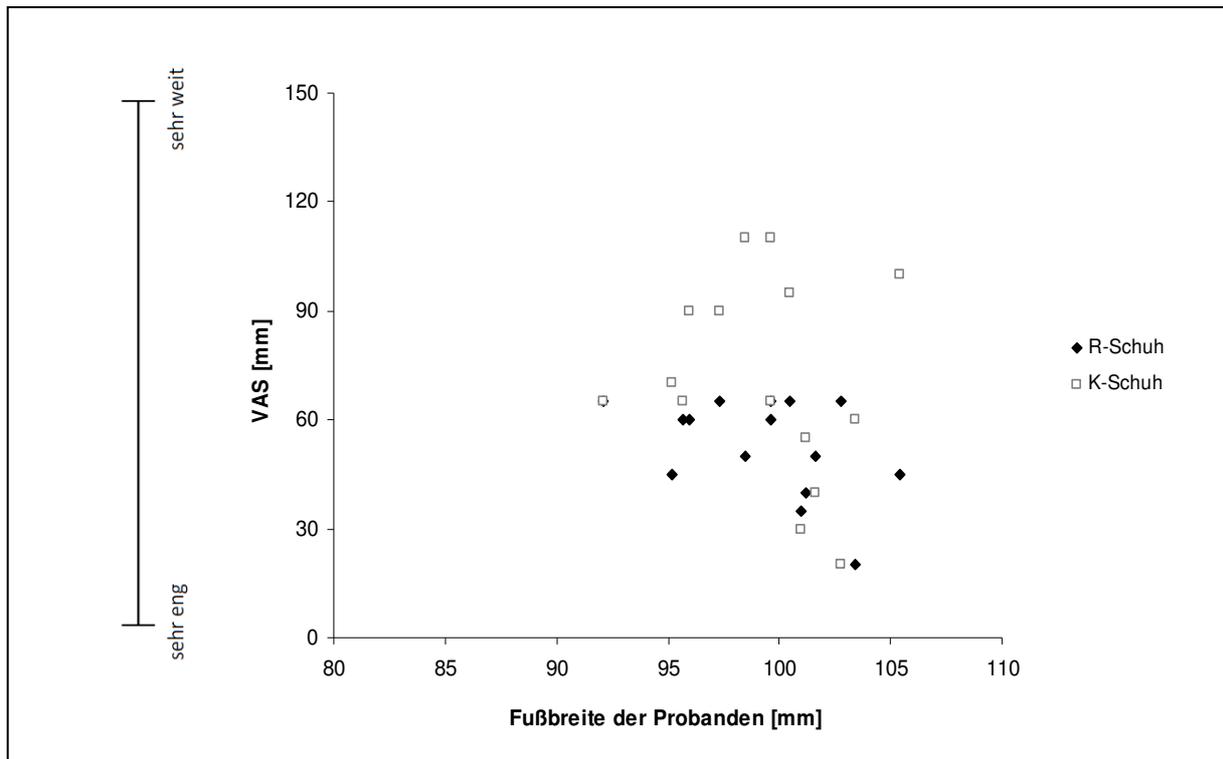
Ein Zusammenhang der Passformbewertung zu fußanthropometrischen Messgrößen kann mittels der durchgeführten Korrelationsanalyse nur bedingt festgestellt werden, da diese nur in einigen Bereichen sehr schwach nachweisbar sind oder nicht existieren. Sowohl beim R-Schuh (Tabelle 9) als auch beim K-Schuh (Tabelle 10) ist die Bewertung der Passform somit nicht von der Fußanthropometrie abhängig, was besonders anhand der graphischen Darstellung für die Schuhbreite (Abbildung 39) deutlich wird. Da die Unterschiede der Schuhe vordergründig auf die Angaben in der Leistenbreite bestehen, ist der vermutete Zusammenhang nur für die Fußbreite abgebildet. Die Ergebnisse beziehen sich auf Grund der Graduierung alpiner Skischuhe nur auf die Schuhgröße 27.5. Für alle anderen Schuhgrößen wurde die Analyse nicht durchgeführt, da die Anzahl der Probanden als zu gering eingeschätzt wurde.

Tabelle 9: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Fußmaßen und Passformbewertung in den jeweiligen Fußbereichen für die Schuhgröße 27,5 (R- Schuh)

	MW ± SD	Passformbewertung	Zusammenhang
	[mm]	[mm]	r
Fußlänge	271,6 ± 2,8	50,3 ± 18,1	-0,12
Fußbreite	99,3 ± 3,5	52,6 ± 13,6	-0,39
Fußhöhe	69,3 ± 4,9	62,7 ± 23,7	-0,34
Schaftweite	255,3 ± 19,1	43,0 ± 23,6	-0,21

Tabelle 10: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Fußmaßen und Komfortbewertung für die Schuhgröße 27,5 (K-Schuh)

	MW ± SD	Komfortbewertung	Zusammenhang
	[mm]	[mm]	r
Fußlänge	271,6 ± 2,8	59,7 ± 23,1	-0,03
Fußbreite	99,3 ± 3,5	71,0 ± 27,9	-0,31
Fußhöhe	69,3 ± 4,9	71,7 ± 27,9	0,27
Schaftweite	255,3 ± 19,1	70,5 ± 27,1	-0,06



4.1.8. Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

4.1.8.1 Interpretation Ergebnisse der Gleichgewichtsfähigkeit

Entsprechend der Fragestellung 1 galt es zu überprüfen, ob die Gleichgewichtsfähigkeit durch die Nutzung verschiedener Skischuhe beeinflusst wird. Im Ergebnis der Studie zeigen sich signifikante Unterschiede, demnach die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 4-1: »Die Leistung der skisportspezifischen Gleichgewichtsfähigkeit unterscheidet sich beim Tragen unterschiedlicher Skischuhe«, bestätigt werden kann.

In Anlehnung an Gauffin et al. (1990), Zätterström et al. (1994) oder Maurer et al. (2004), welche einen geringeren Wert (CoP-Weg, CoP-Geschwindigkeit oder Area of Sway) mit einer besseren Gleichgewichtsleistung gleichsetzen, zeigt sich die Gleichgewichtsfähigkeit bei Nutzung des rennsportlichen Skischuhs gegenüber dem komfortableren Modell leicht verbessert. Gemessen an den Mittelwerten des CoP-Wegs ist beispielsweise eine Verbesserung von 7,7 % bei Nutzung der sportlichen Schuhe gegenüber dem in der Passform weiteren, komfortableren Schuhe feststellbar. Auch auf Grund der geringeren Durchschnittsgeschwindigkeit sowie der kleineren Fläche kann eine bessere Gleichgewichtsfähigkeit durch Nutzung fest sitzender Schuhe geschlussfolgert werden. Die Veränderungen betragen 20 % (Fläche) und 7,8 % (Geschwindigkeit). Hinsichtlich der Tatsache, dass eine gute Bewegungsregulation allgemein als wichtiger Aspekt der Verletzungsprävention gesehen werden kann (Kallinen et al., 1995), könnte ein in der Passform engerer Skischuh auch die Sicherheit aktiv beeinflussen. Eine Reduzierung der Verletzungsrate könnte somit auch im alpinen Skisport erreicht werden, zumal der Verlust des Gleichgewichts die häufigste Sturzursache darstellt (Wölfel et al. 2003). Da auch White und Johnson (1993) eine Abhängigkeit der Verletzungshäufigkeit von der Balancefähigkeit feststellten, sollte die Auswahl eines geeigneten Skischuhs angestrebt werden.

Bezüglich der im Abschnitt 4.1.6 durchgeführten Reliabilitätsstudie muss jedoch die praktische Relevanz der Ergebnisse hinterfragt werden. Die Unterschiede der Mittelwerte liegen innerhalb der Limits of Agreements und können folglich so auch auf Grund der individuellen Unterschiede bei wiederholter Messung zu Stande gekommen sein. Die Höhe der tolerierten intraindividuellen Abweichung bei Test-Rest-Messung wurde wie üblicherweise mit dem 1,96 fachen Wert der Standardabweichung festgelegt und kann somit je nach Bedingung der Datenerhebung 18,4 % - 21,3 % vom Messwert betragen. Die erhaltenen Verbesserungen könnten demnach als praktisch ungenügend interpretiert werden. Außerdem lassen die hohen Standardabweichungen eine Individualität der beeinflussenden Faktoren deutlich werden. Je nach Proband zeigen sich entsprechend personenbezogen abhängige Resultate, welche durch bisherige Tragegewohnheiten alpiner Skischuhe beeinflusst sein könnten.

Bezüglich der möglichen intraindividuellen Differenzen bei Wiederholungsmessung muss die praktische Relevanz der Ergebnisse beim Vergleich beider Schuhbedingungen in Frage gestellt werden. Eine generelle Aussage zur Beeinflussung der Gleichgewichtsfähigkeit ist daher nur bedingt möglich, zumal eine generelle Angabe über die Höhe der zu erwartenden Unterschiede nicht vorliegt. Außerdem ist der Vergleich dieser Studienergebnisse mit Resultaten bisherig durchgeführter Untersuchungen nur bedingt möglich, was in der teilweise unterschiedlichen Messdauer oder Nutzung anderer Testgeräte begründet liegt. Allerdings sind nach Pinsault und Vuillerme (2008) die messbaren Unterschiede bei Test-Retest-Messungen von der Anzahl wiederholt durchgeführter Messungen abhängig, wodurch die zu tolerierenden Messabweichungen beeinflusst werden. Eine Bewertung der praktischen Relevanz erhaltener signifikanter Unterschiede ist demzufolge von verschiedenen Bedingungen abhängig und bedarf möglicherweise weiterer Tests, wobei besonders der Transfer der Ansätze auf Studien im Feld in den Mittelpunkt des Interesses gestellt werden sollte.

Mobile Einlegesohlen wie das Pedar® -System der Firma Novel® wären hierbei ein geeignetes Messinstrument der Datenaufnahme vorherrschender Belastungsverteilung. Auch Kennwerte energetischer Belastungen dürften von Interesse sein. Somit könnte beispielsweise die Annahme von Schaff et al. (1988) geprüft werden, die als Folge einer ungenügenden Passform eine schnellere Gesamtermüdung des Skifahrers postulieren. Die Verknüpfung von subjektiver und objektiver Datenaufnahme scheint dabei unausweichlich zu sein, da die notwendige Standardisierung bei einer alleinigen Betrachtung biomechanischer Messgrößen als sehr schwierig eingeschätzt werden kann. Die Voraussetzung eines normierten Messprotokolls, das zum Vergleich erhobener Daten unentbehrlich ist, könnte sich somit als schwierigstes Hindernis erweisen. Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse ist die hier ausschließlich im Labor durchgeführte Messung deshalb kritisch zu sehen.

Betrachtet man die Unterschiede der Schuhmessungen zur barfuss durchgeführten Datenerhebung, so sind die Leistungen der Gleichgewichtsfähigkeit bezüglich der Weg- und Geschwindigkeitsmesswerte ohne Schuhe signifikant schlechter. Durch die mittlere Wegdifferenz vom 374 mm ergibt sich im Vergleich zum R-Schuh ein praktisch relevanter Unterschied. Die Abweichung liegt knapp außerhalb der Limits of Agreements, demzufolge sie nicht auf mögliche Differenzen bei reproduzierten Messungen zurückzuführen sind.

Die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit durch das Tragen von Skischuhen gegenüber der Barfussmessung ist somit konträr zu den Ergebnissen von Mildner et al. (2010), da die Autoren eine bessere Leistung ohne Schuhnutzung feststellen konnten. Ein unmittelbarer Vergleich ist jedoch nicht zweckmäßig, da in der Studie ausschließlich Sportstudenten und aktive Skirennläufer verglichen wurden, was für die vorliegende Studie mit Probanden aus dem Anfänger- und Fortgeschrittenbereich nicht zutreffend ist. Auch der Vergleich zu Noé

und Pillard (2005) scheint unzweckmäßig, da auch sie alpine Rennläufer mit unterschiedlichem Leistungsniveau verglichen. Bei ihnen waren die Ergebnisse allerdings mit den bei dieser Studie erhaltenen Resultaten konform. Die Gleichgewichtsfähigkeit der vermeintlich besseren Skifahrer war ohne Schuhe sogar schlechter als die der weniger gut fahrenden Athleten. Außerdem muss bezüglich einer Vergleichbarkeit mit angeführten Studien festgehalten werden, dass teilweise sehr unterschiedliche Messaufbauten verwendet und Parameter aufgezeichnet werden. Divergente Ergebnisse könnten auch dadurch begründet sein, demnach Bös et al. (2001) einen Vergleich nicht empfehlen.

Eine Abhängigkeit der Gleichgewichtsfähigkeit vom Leistungsniveau kann durch die vorliegenden Ergebnisse folglich nicht konstatiert werden. Die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 1-2: *»Die skisportspezifische Gleichgewichtsfähigkeit beim Tragen unterschiedlicher Skischuhe wird vom Leistungsniveau der Probanden beeinflusst«* kann nicht bestätigt werden. Die Abhängigkeit vom skifahrerischen Niveau, die einige Autoren (Mildner et al., 2010; Cresswell und Mitchel, 2009; Noé et al., 2009) postulieren ist nicht nachweisbar. Die Ursachen könnten darin begründet liegen, dass die teilnehmenden Personen als nicht leistungssportlich ambitionierte Skifahrer eingestuft werden müssen und demgemäß durch eine größere Unterstützungsfläche, die durch die Nutzung der Skischuhe entsteht, eine bessere Leistung in der Gleichgewichtsfähigkeit erreichen. Eine mögliche hohe Adaptationsfähigkeit an die veränderte Anforderung, wie sie Noé et al. (2009) auf Grund ihrer weiterführenden Studien bei sehr guten Skifahrern vermuteten, scheint im vorliegenden Vergleich keinen Einfluss zu besitzen.

Die bestehenden Leistungsunterschiede der Studienteilnehmer in Bezug auf deren skifahrerische Fertigkeiten sind scheinbar zu gering, um signifikante Auswirkungen auf die überprüften Parameter zu erhalten. Eine Gruppeneinteilung basierend auf einer Selbsteinschätzung scheint dahingehend zu unpräzise und nicht empfehlenswert zu sein. Die nicht vorhandenen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen könnten aber auch durch das allgemeine Niveau der koordinativen Fähigkeiten der Studienteilnehmer beeinflusst worden sein. Ein niedrigerer Testwert von Personen mit einer guten allgemeinen Gleichgewichtsfähigkeit wäre daher ebenso denkbar.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Unterschiede trotz signifikanter Abweichungen individuell sehr verschieden sind, jedoch tendenziell ein engerer Schuh bessere Gleichgewichtsleistungen hervorbringt. Besonders im Hinblick auf die zu schlussfolgernde Reduzierung der Verletzungshäufigkeit sollte dies beachtet werden. Die persönliche Präferenz muss dabei als ein gewichtender Faktor beachtet werden, welcher in weiteren Studien einer genaueren Fokussierung bedarf.

4.1.8.2 Interpretation der Ergebnisse der Passformbewertung

Entsprechend der Fragestellung 2 galt es durch die Teilstudie zu überprüfen, ob Unterschiede bei der Beurteilung hinsichtlich der Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften alpiner Skischuhe bestehen. Im Resultat der Studie zeigt sich die Passform als wichtigste Eigenschaft der Skischuhe. Vor allem Anfänger stuften sie als bedeutend ein. Nichtsdestotrotz ist die Passform auch für die Gruppe der fortgeschrittenen Skifahrer am wichtigsten. Die in der Rangliste folgenden Eigenschaften liegen gemessen am Mittelwert jedoch näher zusammen. Mittels der Werte kann für diese Gruppe die Kraftübertragung als ebenso wichtig angesehen werden, was teilweise konträr zu den Ergebnissen von Wilke et al. (2004) steht. Die von ihnen befragten sportlichen Skifahrer gaben mit 46 % die Bequemlichkeit als Haupteigenschaft beim Kauf eines Skischuhs an und mit 30,3 % die Funktionalität. Aus der Studie sind allerdings keine Rangliste oder weiteren Auflistungen ersichtlich, demnach die Vergleichbarkeit nur bedingt zulässig ist.

Annähernde Resultate werden für die Gruppe der Anfänger ersichtlich. Die Positionierung der Merkmale in der Rangliste ist zwar gleich mit denen der guten Skifahrer, allerdings in der Bewertung anhand der visuellen Analogskalen weniger gewichtet. Für die Interpretation der Ergebnisse sind daher die Messwerte der Einschätzungen aussagekräftiger und den Ranglisten vorzuziehen. Somit ist auch für alpine Skischuhe die bei Sportschuhen allgemein konstatierte Wichtigkeit der Passform nachweisbar (Schubert et al. 2009, Michel et al., 2009; Kleindienst, 2003). Diese sollte jedoch vor allem unter dem Aspekt der Funktionalität gesehen werden, da eine geeignete Passform zur Ausführung funktioneller Bewegungsabläufe notwendig ist (Schaff & Hauser, 1987). Zudem können nach Schaff (1988) durch eine ungenügende Passform erhöhte Gesamtkräfte im Schaftbereich auftreten und Druckstellen hervorbringen. Nach Ebert (2010) ist die Passform daher auch als Basismerkmal anzusehen, in deren Kategorie laut ihm ebenso die Kraftübertragung sowie der Fersenhalt eingruppiert werden. Die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 2-1: *»In der Wichtigkeit der einzelnen funktionellen Eigenschaften alpiner Skischuhe bestehen Unterschiede in der Beurteilung«*, kann somit bestätigt werden, wobei die in diesem Zusammenhang weiterhin formulierte Hypothese 2-2: *»Die Beurteilung der Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften wird vom Leistungsniveau der Probanden beeinflusst«*, nur für einige Eigenschaften zutreffend ist.

Im Gegensatz zu den bisher genannten Funktionen, welche im Gruppenunterschied des skifahrerischen Niveaus als statistisch nicht bedeutsam angesehen werden können, ist der Komfort des Schuhs für Anfänger signifikant wichtiger als für gute Skifahrer. Gleiches gilt auch für die Geheigenschaft der Skischuhe. Sie stellt allerdings einen unbedeutenden Faktor dar, was somit konträr zu den Forderungen von Heller und Godlington (1988), da die Autoren

diese Eigenschaft als bedeutend ansehen. Es muss in dieser Hinsicht jedoch angemerkt werden, dass ihre Forderungen veraltet sein dürften. Durch die in den vergangenen Jahren wesentlichen Material- und Konzeptweiterentwicklungen kann ein gewisser Komfort heute zumindest vorausgesetzt werden. Die weiteren Eigenschaften wie Schuhinnenklima, Steifigkeit des Schuhs oder der Schuheinstieg spielen dagegen eine untergeordnete Rolle und zeigen eine ähnliche Tendenz in der Bewertung durch beide Gruppen. Statistisch bedeutsame Differenzen sind nicht erkennbar. Die Ergebnisse bestätigen somit bisherige Erkenntnisse ähnlicher Studien, was besonders durch die Einordnung der Wärmefunktion oder des Schuheinstiegs als Begeisterungsmerkmal bei der Studie von Ebert (2010) deutlich wird. Diese Merkmale lösen im Gegensatz zu Basismerkmalen beim Nichtvorhandensein keine Unzufriedenheit aus und sind somit als weniger bedeutend zu charakterisieren (Malzer et al., 2009).

Die im weiteren Verlauf der Studie durchgeführte Passform- und Komfortbewertung stellt somit einen berechtigten Forschungsansatz dar, der sich in Konsequenz betrachteter Wichtigkeit funktioneller Eigenschaften legitimiert. Die Resultate lassen dabei deutlich erkennen, dass die konstruktionstechnischen Unterschiede durch die Probanden subjektiv wiedergegeben werden können. Da die Bewertungen beider Schuhe signifikant unterschiedlich sind, ist die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 3-1: *»Probanden können unterschiedliche Passformen alpiner Skischuhe in unterschiedlichen Schuhbereichen wahrnehmen und unterscheiden diese im Komfort differenziert«*, zutreffend. Die Unterschiede der Passformbewertung können allerdings als gering charakterisiert werden. Außerdem machen die Interquartilsabstände eine große Streuung in der Bewertung deutlich. Zu größeren Differenzen kommt es lediglich im Bereich der Schuhbreite und der Passform allgemein. Die Interpretation der Bewertung erfolgte nach Mündermann et al. (2002). Vor allem für den Bereich der Schuhbreite ist dies nicht unerwartet, da die Lage der Ballenlinie (Rossi & Tennant, 1984) individuell differiert und entsprechend häufig Probleme in diesem Bereich auftreten (Pinter 2010).

Auch bei der Untersuchung von Ebert (2010) konnten die Probanden bautechnisch bedingte Unterschiede alpiner Skischuhe feststellen, was er allerdings bezüglich der Funktionalität in verschiedenen Fahrsituationen untersuchte. Im Ergebnis werden bei ihm ebenso unterschiedliche Bewertungen hinsichtlich allgemeiner Passform oder im Komfort deutlich. Nicht übereinstimmend erweisen sich die vorliegenden Resultate mit der Passformbewertung von Laufschuhen, die von Kunde (2010) mit selbstkonstruierten Schuhen durchgeführt wurde. Obwohl die Skischuhe beispielsweise in der Leistenbreite ähnliche Unterschiede aufwiesen wie die der Sportschuhe, konnten die Teilnehmer keine Veränderungen wahrnehmen, was in den verschiedenen Materialeigenschaften begründet sein dürfte. Im Gegensatz zu Sportschuhen ist das Material des Skischuhs weniger elastisch.

Uneinheitlich stellen sich die Angaben beim Komfortempfinden dar, da nicht in allen Bereichen ein signifikanter Unterschied in der Bewertung auftrat. Lediglich für die Passform allgemein und die Ballenbreite sind die Ergebnisse divergent, wobei der in der Bauform breitere Schuh als komfortabler eingestuft wurde. Interessanterweise treten die unterschiedlichen Bewertungen in den Bereichen auf in denen sich die Schuhe wesentlich unterscheiden, deren hohe Streuung allerdings eine Individualität der Komfortbeurteilung sichtbar macht.

Deutliche Zusammenhänge zur Passformbewertung bestehen jedoch weder für den R- noch für den K-Schuh und spricht für eine in der Literatur überwiegend nachgewiesene individuelle Komfortempfindung (Kouchi et al., 2005; Mündermann et al., 2001). Die durch verschiedene Autoren festgestellten beeinflussenden Faktoren scheinen bei den Bewertungsprozessen alpiner Skischuhe somit ebenso einen gewichtigen Faktor zu bilden. Besonders plantare und dorsale Druckverteilungen (Chen et al., 1994; Lange et al., 2009; Jordan, 1997) dürften entsprechend beeinflussend wirken und bei den Probanden unterschiedliche Bewertungen hervorbringen. Die von Mündermann et al. (2001) oder Kouchi et al. (2005) nachgewiesene Abhängigkeit der Bewertung des Komforts von der Bewegungserfahrung der untersuchten Personen ist jedoch nicht erkennbar. Bewertungsunterschiede zwischen Anfängern und fortgeschrittenen Skifahrern sind diesbezüglich nicht nachweisbar. Auch hier könnte die Begründung in der Vorgehensweise der Gruppeneinteilung liegen, da diese scheinbar die tatsächlichen skifahrerischen Erfahrungen der Probanden ungenügend berücksichtigt. Die beim alpinen Skischuh angenommenen Zusammenhänge zwischen Passformbewertung und fußmorphologischen Daten können durch die Ergebnisse der Korrelationsanalyse nicht bestätigt werden. Die diesbezüglich formulierte Hypothese 2-2: *»Zwischen subjektiver Beurteilung der Passform und den fußanthropometrischen Maßen besteht ein Zusammenhang«*, kann somit nicht bestätigt werden. Die Bewertung der Passform erfolgt daher ohne eine Verknüpfung zu den tatsächlichen Fußmaßen. Auch hier zeigt sich demzufolge die in der Literatur konstatierte individuelle Passform- und Komfortbewertung.

In der Gesamtbetrachtung aller Resultate lässt sich für die Passformbewertung alpiner Skischuhe somit schlussfolgern, dass die verschiedenen Schuhe nur geringe Differenzen in der Bewertung bewirken. Gleiches ist für die Komfortbewertung feststellbar. Allerdings lassen die großen Streuungen eine persönliche Präferenz deutlich werden. Die Ergebnisse sind daher konform zur allgemeinen Literatur (Nácher, 2006, Kouchi et al., 2005). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Resultate durch eine Laborstudie und nicht im Feldversuch erzielt wurden. Außerdem dürften die Modelle nicht die Gesamtheit der Passformen aller Schuhe von verschiedenen Herstellern abbilden. Die Ergebnisse sind somit nicht ohne weiteres auf die praktischen Verhältnisse übertragbar, was demgemäß als wesentlicher Kritikpunkt angemerkt werden muss.

4.2 Fußsensibilität beim Tragen alpiner Skischuhe

Die Übertragung von Bewegungen und Kräften zur Steuerung der Ski zählt zu den wesentlichsten Aufgaben alpiner Skischuhe. Die scheinbar elementarste funktionelle Eigenschaft der Schuhe wird dabei durch den Kontakt der Füße zum Schuh realisiert. Die Schnittstelle zwischen Mensch und Sportgerät charakterisiert sich dabei durch eine mehr oder weniger geeignete Passform, welche vordergründig durch den Haut- Schuhkontakt bestimmt ist. Die Wechselbeziehungen von Schuh und Fuß nehmen Einfluss auf die Passform- oder Komfortbewertung und wurden bereits im Abschnitt 4.1. deutlich herausgestellt. In der folgenden Studie soll daher die Frage beantwortet werden, inwieweit der Skischuh die Qualität der Übertragung sensorischer Informationen beeinflusst und ob diese vom Schuhmodell abhängig ist.

4.2.1 Theoretische Grundlagen

Entsprechend den meisten Sportarten ist auch beim alpinen Skisport eine umfassende Reizaufnahme aus der Umwelt zur Ausführung der Sportart notwendig. Neben visuellen oder vestibulären Reizen sind laut Maurer et al. (2000) vor allem die somatosensorischen Rückmeldungen des plantaren Fußbereichs von besonderer Bedeutung, da deren Informationen wesentlich an der Steuerung der Körperhaltung und Bewegungsregulation beteiligt sind. Vor allem den Rezeptoren der Haut wird dabei nach Angaben zahlreicher Autoren eine besondere Bedeutung zugesprochen, da sie essentiell für die Regulation und die Kontrolle von Bewegung sind (Kavoundias et al., 2001; Nurse & Nigg, 2001; Mayer et al., 2004; Van Deusern et al., 1998).

Der Fuß übernimmt somit neben seiner mechanischen auch eine sensorische Funktion (Sterzing et al., 2006), welche durch unterschiedliche Sinnesorgane realisiert wird. Die kutanen Mechanorezeptoren der plantaren Kontaktfläche des Fußes liefern dabei durch den direkten Bodenkontakt zahlreiche sensorische Rückkopplungen demzufolge effektive Haltungs- und Bewegungsmuster generiert werden können (Nurse & Nigg, 2001). Die Haut des Fußes ist dabei mit einer Vielzahl an Sinnesorganen ausgestattet, die wie folgt in vier unterschiedliche Mechanorezeptoren bezüglich ihrer Empfindlichkeiten klassifiziert werden können: Eine Differenzierung wird prinzipiell in langsam adaptierende („slowly adapting“, SA) und schnell adaptierende Mechanorezeptoren („rapidly adapting“, RA) sowie das „Pacini Korpuskel“ (PC) vorgenommen. Zudem erfolgt eine Unterteilung der SA-Rezeptoren in Typ I und II Fasern (Schmidt et al., 2004). Bezüglich der Wahrnehmung psychophysiologischer Qualitäten wie Druck, Berührung und Vibration werden die verschiedenen Mechanorezeptoren den Strukturen der Haut zugeordnet (Tabelle 11), deren Lage in der Abbildung 40 graphisch dargestellt ist.

Tab. 11: Physiologische Klassifikation, Lage und Reizqualität der Mechanorezeptoren (in Anlehnung an Schneider, 2006, S. 15)

Histologische Rezeptorenstruktur	Physiologische Klassifikation	Lage des Rezeptors in der Haut	Reizqualität
Merkel Nervenendigungen	SA I Rezeptor	Stratum basale der Epidermis	Intensität der Hautdeformation (Druck)
Ruffini Korpuskel	SA II Rezeptor	Stratum reticulare der Dermis	Intensität der Hautdeformation (Dehnung der Haut)
Meissner Korpuskel	RA Rezeptor	Stratum papillare der Dermis	Druck u. Vibration (geringe Frequenzen)
Vater-Pacini Korpuskel	PC Rezeptor	Tiefe Dermissschichten und Tela Subcutanea	Druck u. Vibration (hohe Frequenzen)

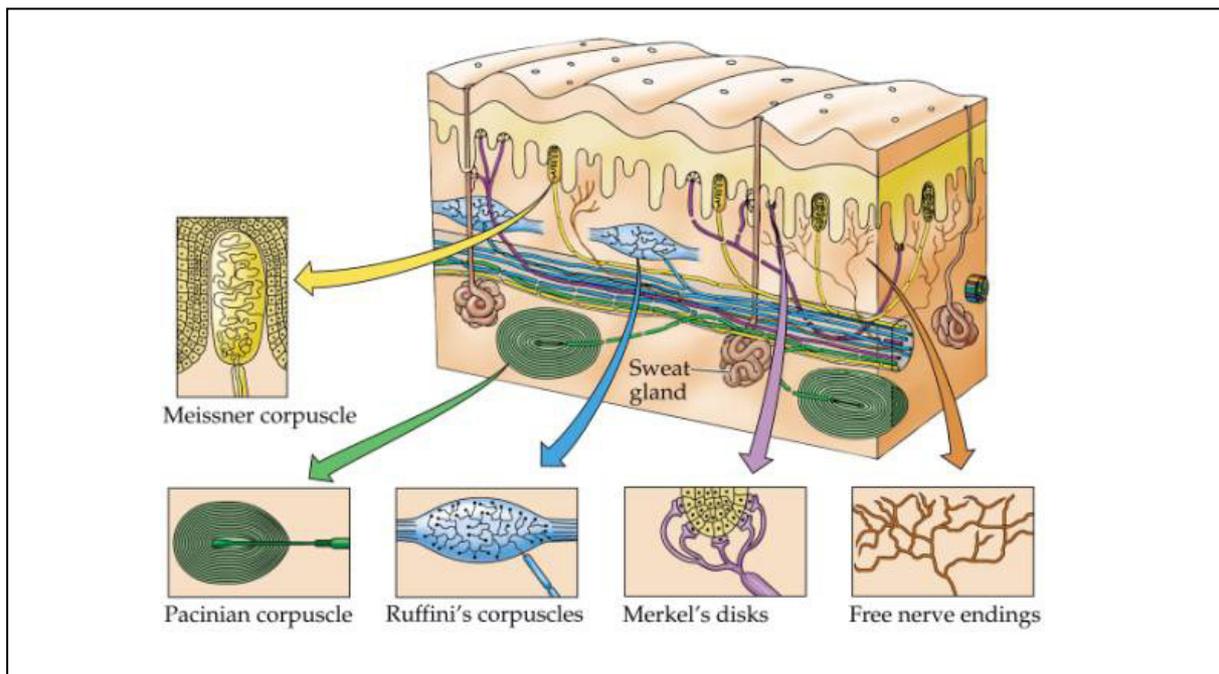


Abb. 40: Lage der Mechanorezeptoren in der Haut (Rutgers, 2012)

Über die Anzahl der einzelnen Mechanorezeptoren und deren Verteilung im plantaren Bereich des Fußes gibt es in der Literatur bisher nur wenige Informationen, die darüber hinaus mit unterschiedlichen Verfahren ermittelt wurden. Kennedy und Inglis (2002) beispielsweise untersuchten die Verteilungsmuster der Rezeptoren mittels mikroneurographisch abgeleiteter Aktionspotentiale. Schneider (2006) dagegen nutzte ein immunhistochemisches Färbeverfahren, welches er an zwei, infolge maligner Erkrankungen amputierten Füßen durchführte.

Die Ergebnisse zeigen sich in der Anzahl und in der Verteilung vorhandener Mechanorezeptoren allerdings recht konträr, da sowohl die Anzahl als auch die Verteilungsmuster wesentlich differieren. So ist die Menge der Rezeptoren bei Schneider (2006) beispielsweise wesentlich größer als bei Kennedy und Inglis (2002), welche wiederum eine zufällige Anordnung im plantaren Fußbereich im Gegensatz zu Schneider (2006) angeben. Laut den Erkenntnissen von Schneider (2006) ist die Anzahl der Meissner-Korpuskeln im Bereich der End- und Mittelphalanx (Ausnahme Großzehe) besonders groß, dagegen im Areal des Calcaneus gering. Auch für die Verteilung der Pacini-Korpuskeln erweist sich eine ähnliche Konstellation, wobei diese häufiger im Bereich der Grundphalanx und Ossa metatarsalia auftreten (Abbildung 41).

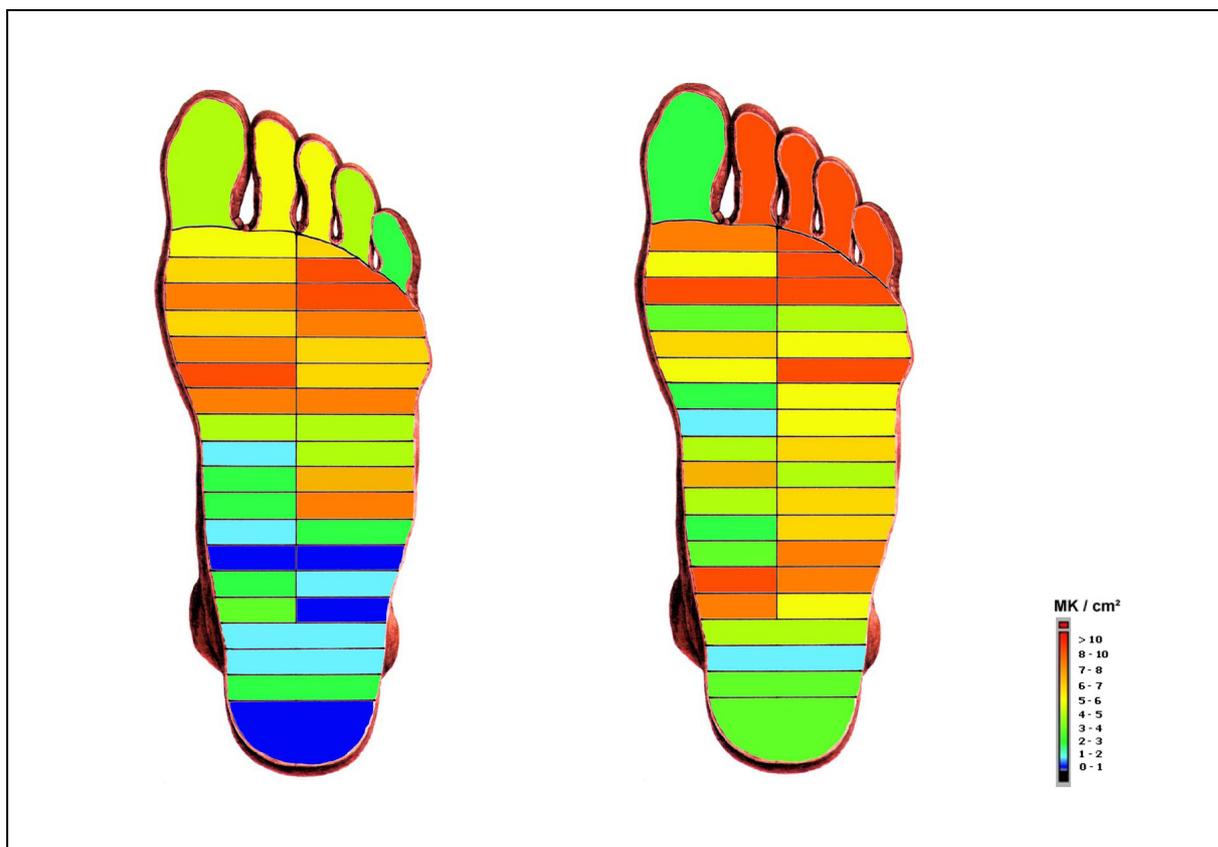


Abb. 41: Häufigkeitsverteilung der Pacini-Korpuskeln (li.) und Meissner-Korpuskel (re.) (Schneider, 2006, S. 47 und 34)

Die Ergebnisse der Häufigkeitsverteilung von Schneider (2006) sollten allerdings mit Vorsicht interpretiert werden, da sie lediglich auf zwei Probanden zurückzuführen sind und umfangreiche Datenerhebungen diesbezüglich nicht existieren. Interessanterweise zeigen sie sich aber konform mit denen, die durch Vibrationsmessungen gewonnen wurden, da auch durch diese Art der Untersuchungen unterschiedlich sensible Stellen an der Fußsohle festgestellt wurden. So konnten Nurse und Nigg (1999) entsprechend eine hohe Vibrationsempfindlichkeit für die Bereiche der Fußsohle nachweisen, für die Schneider (2006) eine hohe Konzentration an Rezeptoren feststellte. Auch Sterzing et al. (2006) konstatierten eine niedrige Vibrationsreizschwelle für diese Bereiche. Die Schwellen zur Reizaufnahme waren demnach im distalen Bereich der Phalanx besonders hoch, die Schwellen am Caput Os Metatarsale V besonders niedrig.

Unterschiede in der Sensibilität bestehen aber nicht nur zwischen den einzelnen Bereichen der Füße, sondern müssen auch als individuell verschieden angesehen werden (Sterzing et al., 2006; Nurse & Nigg, 1999; Kekoni et al., 1989) oder können von der jeweilig ausgeübten Sportart abhängig sein. Schlee et al. (2007) konnten zumindest zwischen Gymnastinnen und Volleyballspielerinnen einen Unterschied nachweisen. Die Volleyballerinnen hatten dabei in der Gesamtbetrachtung eine höhere Vibrationsreizschwelle, was die Autoren auf die technischen Anforderungen der Sportart sowie dem Nutzen von Schuhen zurückführen.

Grundsätzlich wird die Sensibilität nach Angaben zahlreicher Autoren vor allem aber durch das Alter beeinflusst (Bernard-Demanze et al., 2007; Hilz et al., 1998), wodurch konsequenterweise Störungen der Körperhaltung hervorgerufen werden können (Speers et al., 2001). Laut Perry (2006) sind demzufolge die Vibrationsreizschwellen bei 70-jährigen Personen doppelt so hoch wie die der jüngeren Studienteilnehmer. Die Symptome sind jedoch nicht nur für ältere Personen typisch, sondern können auch bei degenerativen Erkrankungen des Nervensystems wie z. B. Morbus Parkinson auftreten (Konczak et al., 2009; Prätorius et al., 2003; Van Deursen et al., 1998). Auch hierbei ist eine Störung des Gleichgewichts nachweislich bekannt, die laut Prätorius et al. (2003) im direkten Zusammenhang mit der Vibrationsreizschwelle steht. Je größer die Auffälligkeiten motorischer Beeinträchtigungen waren, umso höher zeigte sich bei den Patienten nachweislich die Reizschwelle.

Defizite wurden auch bei Patienten mit einer Polyneuropathie, die häufig als Folgeerscheinung beispielsweise von Diabetes Mellitus auftritt in der posturalen Kontrolle auf Grund verringerter Fußsensibilität nachgewiesen (Cavanagh et al., 1993; Inglis et al., 1994). Die Ursachen können dabei in der verringerten Durchblutung peripheren Gewebe gesehen werden (Greenman et al., 2005), die zudem auch bei kurzzeitiger Ischämie von Schlee et al. (2009c) nachgewiesen werden konnte. Die Autoren um Schlee reduzierten dazu vor der Messung den Blutfluss um 4 Minuten mit einem Druck von 150 mmHg und konnten eine

signifikant erhöhte Vibrationsschwelle an den drei untersuchten plantaren Fußbereichen feststellen. Die Relevanz der Ergebnisse könnte besonders für den alpinen Skisport von Interesse sein, da eine reduzierte Blutzufuhr durch einen sehr festen Schnallenschluss oder durch eine ungenügende Passform der Schuhe existent sein könnte.

Die somatosensorischen Informationsprozesse können aber auch durch vorherrschende Umgebungsbedingungen beeinflusst werden, da sich diese Prozesse zum Beispiel temperaturabhängig zeigen. Eine Reduzierung der Fußtemperatur um bis zu 10° Celsius gegenüber der Normaltemperatur führt demnach schon zu einer Verringerung der Vibrationssensibilität, was zahlreiche Autoren feststellten (Magnusson et al., 1990; Nurse & Nigg, 1999; Perry et al., 2000). Auch Schlee et al. (2009b) konnten bei einer Reduktion der Fußtemperatur um 6° Celsius eine Verringerung der Sensibilität, bei Erhöhung der Temperatur dagegen eine Verbesserung nachweisen.

Weiterhin spielen materielle Faktoren in Form von unterschiedlichen Schuh- oder Sohlenmaterialien bei der Informationsaufnahme eine Rolle. Auch durch deren Charakteristik erfolgt oftmals nur eine ungenügende sensorische Rückmeldung. Vor allem durch zu weiche Zwischensohlen, wie sie in vielen Sportschuhen zur Dämpfung eingesetzt werden, scheint die sensorische Feedbackgestaltung zur Bewegungsregulation ungenügend zu sein. Laut Robbins et al. (1994) werden durch sie die notwendigen taktilen Reize gedämpft. In den Ergebnissen seiner Untersuchung waren die Gleichgewichtsleistungen älterer Personen (> 60 Jahre) bei Verwendung von Laufschuhen mit weicher Zwischensohle gegenüber Schuhen mit härterer Sohle signifikant schlechter. Gleiche Ergebnisse konnten die Autoren auch durch eine mit verschiedenen Polymerschaumschichten belegte Kraftmessplatte nachweisen (Robbins & Waked, 1997). Die Resultate beziehen sich allerdings auf die Gleichgewichtsleistung, nicht aber auf die Reizsensibilität, demnach die Qualität der Übertragung nur vermutet werden kann.

Eine Beeinträchtigung sensorischer Informationen, welche durch das Tragen von Schuhen hervorgerufen werden könnte, ist bislang allerdings nur sporadisch untersucht worden. Die bisherigen Vergleiche lassen jedoch deutlich werden, dass die Fußsensibilität barfuß grundsätzlich höher ist als beim Tragen von Schuhen (Schlee et al., 2009a; Sterzing et al., 2009). Der Vergleich unterschiedlicher Schuhe ist dagegen nicht umfassend nachweisbar und scheint in Abhängigkeit der für die jeweilige Sportart spezifischen Schuhe zu stehen. Schlee et al. (2009a) konnten bei einer Frequenz von 30 Hz eine geringere Vibrationsschwelle barfuß gegenüber dem Tragen von Formel-1 Schuhen feststellen. Im Gegensatz dazu konnten hinsichtlich der bei den Schuhen verwendeten verschiedenen Sohlenmaterialien keine Unterschiede nachgewiesen werden, was auch Sterzing et al. (2008) bei verschiedenen Fußballschuhen konstatierten.

Zusammenfassend zeigt sich eine vielfältige Abhängigkeit der Reizsensibilität in Verbindung wahrzunehmender somatosensorischer Informationen der Fußsohle. In der Konsequenz kann dies zu einer Beeinträchtigung der Bewegungsregulation führen, deren Auswirkung sich beispielsweise in einem veränderten Leistungsniveau ausdrücken könnte. Insbesondere bei der Ausübung von Sportarten, deren Leistungsfähigkeit durch umfangreiche regulative Bewegungshandlungen gekennzeichnet ist, kann so der Übertragung von Reizen aus der Umwelt eine elementare Bedeutung in der Bewegungsregulation zugesprochen werden. Vor allem für den alpinen Skisport ist daher die Qualität des Feedbacks entscheidend. Dabei könnten nicht nur die Leistungen der Informationsaufnahme beeinflusst werden, sondern dürften auch Auswirkungen auf die Sicherheit bestehen.

Die zentrale Fragestellung der durchgeführten Teilstudie lautet daher, ob die Passform alpiner Skischuhe die plantare Fußsensibilität beeinflusst, respektive sich zwischen zwei Schuhmodellen unterscheidet.

4.2.2 Untersuchungsstichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 27 Probanden teil (♀/♂ - 6/21) (Tabelle 12). Alle teilnehmenden Personen waren gute Skifahrer und frei von Verletzungen.

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte durch den Mailverteiler des Instituts für Sportwissenschaft. Vor der Datenaufnahme wurde jeder Proband über den Ablauf der Untersuchung detailliert durch den Studienleiter informiert. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und nur nach Unterzeichnung der Einverständniserklärung durch die Probanden möglich.

Tab. 12: Daten der Probanden der Fußsensibilitätsmessung

		♀/♂	♀ weiblich	♂ männlich
Anzahl	n	27	6	21
Alter [Jahre]	MW	29,2	29	29,3
	SD	6,1	5,2	6,3
Größe [cm]	MW	180,2	173	181,6
	SD	6,7	2,1	6,4
Gewicht [kg]	MW	75,9	68	77,4
	SD	8,5	6,9	8,2

4.2.3 Methodisches Vorgehen

Die zur Beurteilung der Fußsensibilität gemessenen Vibrationsreizschwellen plantarer Mechanorezeptoren wurden mittels eines Vibrationserzeugers der Firma TIRA® (Modell TV 51075) erhoben. Die Regelung der Frequenz sowie der Amplitude der Vibration erfolgten dabei mittels eines Voltcraft Oscillators der Firma Conrad (Modell FG 506). Die Vibrationen wurden bei der Barfußmessung durch einen abgerundeten Metallstab (Durchmesser 7,8 mm) auf die Haut der plantaren Fußareale appliziert. Bei den Schuhmessungen wurde der Metallstab auf der Schuhsohle angesetzt. Analog zur Barfußmessung saß der Proband dazu auf einer individuell positionierten Fläche (Abbildung 42), so dass der Winkel zwischen Ober- und Unterschenkel 90 Grad betrug. Bei beiden Messbedingungen wurde der Druck des Aufsatzes nur durch das Eigengewicht des Fußes oder der Fuß- Schuhkombination bestimmt. Bei einer gleich bleibenden Frequenz von 50 Hz wurde die Amplitude stufenweise bis zur Wahrnehmung des Reizes erhöht. Die Einstellung der Vibrationsfrequenz erfolgte in Anlehnung an die Studienergebnisse von Nigg et al. (1997) und Nissen et al. (1997), welche an Ski fahrenden Personen Frequenzen je nach Körperregion von 35 – 50 Hz feststellten. Die Bewertung der Passform erfolgte anhand visueller Analogskalen (VAS), deren Beschreibung bereits im Kapitel 4.1.4 erfolgte.



Abb. 42: Messplatz der Fußsensibilitätsmessung, li. Messplatz gesamt, re. Vibrationserzeuger TV 51075 der Firma TIRA® (eigene Aufnahmen)

4.2.4 Studiendesign

Gemessen wurde die Vibrationsreizschwelle beim Tragen von zwei unterschiedlichen Schuhmodellen der Firma Dalbello® und Tecnica® an einem Testtermin. Die Schuhe unterschieden sich im Wesentlichen in der Leistenbreite (Tabelle 13), demnach ein rennsportlich orientierter (RS) und ein komfortorientierter Schuh (KS) verwendet wurden. Ebenso differierten die Eigenschaften der Schuhe bezüglich der Schaftsteifigkeit. Im Zusammenhang mit der Durchführungscharakteristik der vorliegenden Untersuchung kann dies aber vernachlässigt werden, da die Vibrationsreize an einer genormten Schuhsohle appliziert wurden (vgl. Kapitel 2.3.2). Sowohl männliche als auch weibliche Probanden nutzten die gleichen Modelle in ihrer jeweilig passenden Größe. Es wurden pro Schuhkonfiguration fünf Messversuche absolviert sowie zum Vergleich gegenüber den Schuhbedingungen zusätzlich fünf Messungen barfuss. Ebenso erfolgten für beide Schuhe fünf Messungen mit teils geöffneten Schnallen. Die Reihenfolge der Datenerhebung wurde randomisiert durchgeführt. Aus den jeweiligen Messreihen wurde zur statistischen Analyse der Mittelwert berechnet. Die Messung der Fußsensibilität erfolgte barfuss an der Stelle Caput Os Metatarsale I plantar. Für die Schuhbedingungen war die Stelle ähnlich, konnte allerdings wegen der unterschiedlichen Position der Füße im Schuh nicht zweifelsfrei festgelegt werden. Der Skischuh wurde daher mit seiner Grundfläche innerhalb einer auf der Plattform befindlichen Markierung positioniert, demzufolge die Vibration bei beiden Schuhbedingungen gleich appliziert werden konnten. Zur Ermittlung der Reizschwelle erfolgte ausgehend von einem Grundwert eine Steigerung der Höhe der Amplitude, bei deren Wahrnehmung der Proband sich akustisch bemerkbar machte. Zur Ausschaltung von evtl. beeinflussenden Umgebungsgeräuschen trugen die Teilnehmer der Studie einen handelsüblichen Gehörschutz.

Tab. 13: Liste genutzter Skischuhe (komfortabler Schuh - KS, rennsportlicher Schuh = RS)

Schuhmodell	Größen	Flex	Leistenbreite
♂/♀ Dalbello Boss 11 (KS)	26,5 – 29,5	90	103 mm
♂/♀ Tecnica Inferno (RS)	26,5 – 29,5	130	98 mm

4.2.5 Statistik

Für die statistische Analyse zur Untersuchung der Mittelwertunterschiede wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft. Die Prüfung erfolgte durch die Anwendung des Shapiro Wilk Tests. Da bei den Daten der Vibrationsmessungen eine Normalverteilung existierte, wurden für die Inferenzstatistik parametrische Verfahren zur Prüfung bestehender Unterschiede angewendet. Die Analyse der Gruppenunterschiede erfolgte mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben. Für die Prüfung der Mittelwertunterschiede bei abhängigen Stichproben wurde der abhängige t-Test eingesetzt. Die Analyse bestehender Zusammenhänge zwischen der Vibrationsschwelle und subjektiver Passformbewertung wurde mittels der Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson durchgeführt. Entsprechend der Fragestellungen erfolgte eine alpha-Adjustierung ($\alpha/4 = 0,0125$). Für alle Parameter wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,0125$ festgelegt.

Da bei den betrachteten Daten der Passformbewertung keine Normalverteilung existierte, wurden für die Inferenzstatistik nichtparametrische Tests eingesetzt. Für die Analyse der Gruppenunterschiede wurde der Mann-Whitney-Test verwendet. Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests wurden die Mittelwertunterschiede der gepaarten Stichproben auf Signifikanz geprüft. Entsprechend der Fragestellungen bei der Passformbewertung erfolgte eine alpha-Adjustierung ($\alpha/8 = 0,006$). Für alle Parameter wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,006$ festgelegt. Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde SPSS 19.0 (statistical packet for social science) verwendet.

4.2.6 Ergebnisse der Untersuchung

Es konnten keine Gruppenunterschiede festgestellt werden. Deutliche Unterschiede zeigen sich bei der wahrgenommenen Vibrationsschwelle zwischen den einzelnen Messbedingungen. Gegenüber der Barfußmessung ist die Schwelle beim Tragen von alpinen Skischuhen erhöht (Abbildung 43). Die Fußsensibilität ist bei der Barfußmessung im Verhältnis zum rennsportlich orientierten Skischuh den Mittelwerten entsprechend ($16,7 \mu\text{m} / 84 \mu\text{m}$) um das 5-fache signifikant ($p < 0,001$) höher. Zum komfortorientierten Schuh ist die Sensibilität Vibrationen wahrzunehmen ebenfalls signifikant ($p < 0,001$), sogar um das 5,7-fache erhöht ($16,7 \mu\text{m} / 96 \mu\text{m}$). Der Unterschied zwischen den beiden Schuhbedingungen beträgt 14,3 % ($p = 0,003$), dementsprechend mit dem R-Schuh Vibrationen um diesen Betrag besser wahrgenommen werden können (Abbildung 43). Im Vergleich zwischen offenen und geschlossenen Skischuhen (Abbildung 44) ist der Unterschied beim R-Schuh ebenfalls sichtbar. In der Gegenüberstellung ergibt sich ein Unterschied von 14,7 % ($p = 0,005$). Bei geschlossenem Schuh ist die wahrnehmbare Vibrationsschwelle um diesen Betrag geringer. Beim K-Schuh sind keine signifikanten ($p = 0,17$) Unterschiede feststellbar.

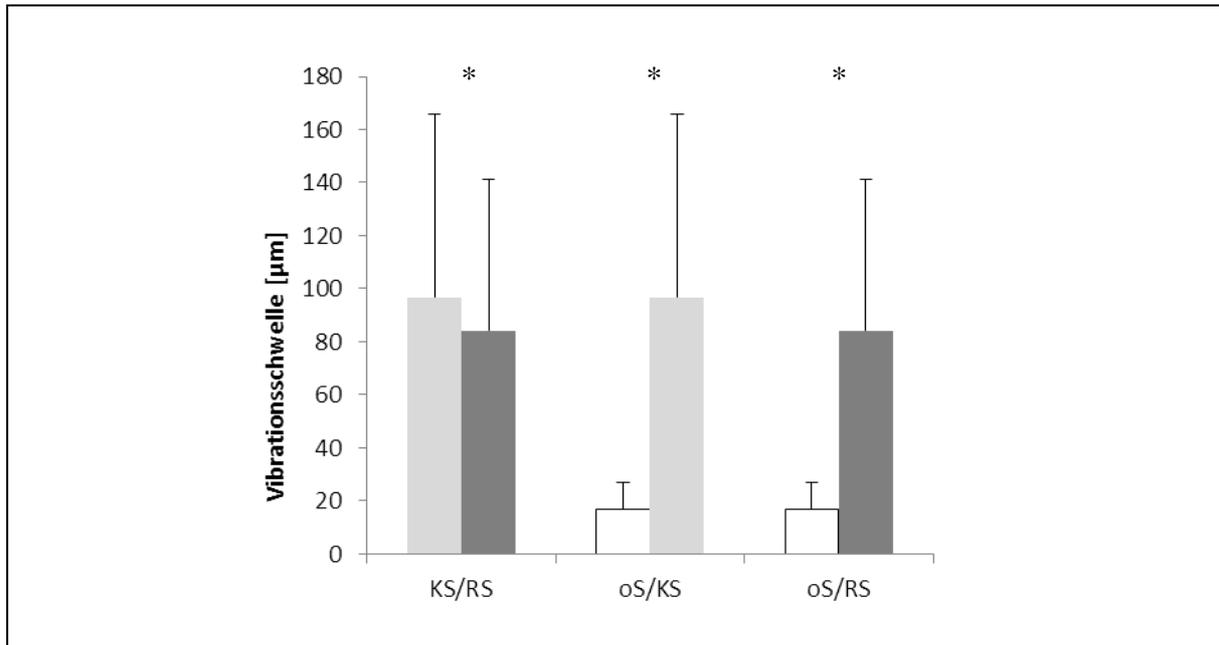


Abb. 43: Vibrationsschwellen im Mittelwertvergleich bei Testung mit unterschiedlichen Schuhbedingungen (ohne Schuh = oS, komfortabler Schuh = KS, rennsportlicher Schuh = RS)

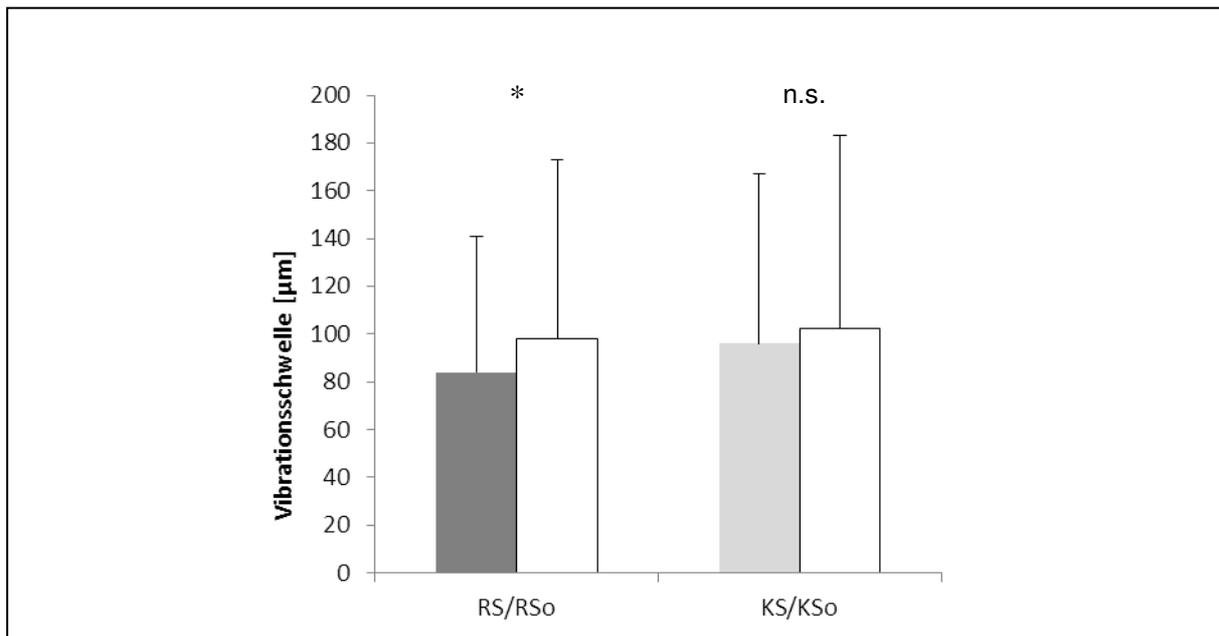


Abb. 44: Vibrationsschwelle im Mittelwertvergleich bei Testung mit unterschiedlichen Schuhbedingungen (rennsportlicher Schuh= RS, geöffneter R-Schuh = RSo, komfortabler Schuh = KS, geöffneter K-Schuh = KSo)

Die in dieser Studie für beide Schuhbedingungen vermuteten Zusammenhänge zwischen subjektiver Passformbewertung und der Höhe der Vibrationsschwelle sind nicht existent (Tabelle 14).

Die Bewertung der Passform (Abbildung 45) genutzter Schuhe macht deutlich, dass die bestehenden Unterschiede in den einzelnen Bereichen von den Probanden wahrgenommen werden. Der R-Schuh wird bis auf die Fersenweite ($p = 0,021$) als signifikant enger eingestuft. Für alle anderen Bereiche ist $p < 0,001$. Da beide Schuhe in der gleichen Schuhgröße genutzt wurden, zeigt sich der Unterschied ($p = 0,079$) logischerweise ebenso nicht in der Schuhlänge.

Tab. 14: Korrelationsanalyse zwischen Passformbewertung und Vibrationsschwelle für R- u. K-Schuh

	R-Schuh	K-Schuh
	r	r
Schuhlänge	0,08	-0,13
Schuhbreite	-0,25	-0,11
Risthöhe	0,03	-0,27
Fersenweite	-0,21	-0,51
Schaftweite	-0,24	-0,31
Passform allgemein	-0,13	-0,35

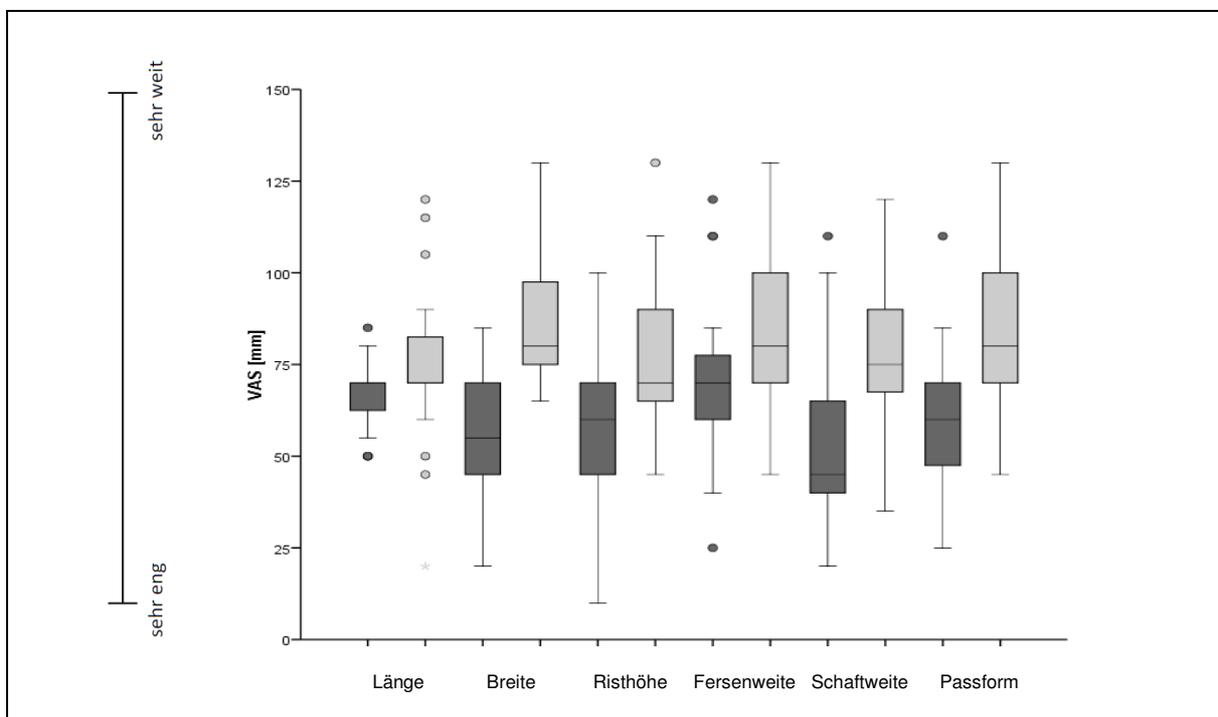


Abb. 45: Passformbewertung unterschiedlicher Skischuhe (dunkel R-Schuh, hell K-Schuh)

4.2.7 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Entsprechend der Fragestellung 4 galt es durch die Teilstudie zu überprüfen ob die plantare Fußsensibilität durch die Passform beeinflusst wird. Die Ergebnisse der untersuchten Fußsensibilität offenbaren, dass die Wahrnehmung der applizierten Vibrationen von der Bauform des Skischuhs beeinflusst wird. Die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 4-1: »Die plantare Fußsensibilität wird durch die Charakteristik verschiedener alpiner Skischuhe beeinflusst«, kann somit bestätigt werden. Es ist diesbezüglich feststellbar, dass mit dem in der Breite schmaleren Schuh die Wahrnehmung einer geringeren Vibrationsschwelle erfolgt. Im Vergleich zur barfuss durchgeführten Messung kann eine deutliche Reduktion der Wahrnehmungsfähigkeit konstatiert werden. Allerdings lassen die großen Standardabweichungen auf die von verschiedenen Autoren (Sterzing et al., 2006; Nurs & Nigg, 1999) konstatierte individuelle Abhängigkeit der Fußsensibilität schließen. Grundsätzlich dämpft der Skischuh den auf der Fußsohle eingeleiteten Reiz, was konform zu den Ergebnissen von Schlee et al. (2009a) gesehen werden kann. Auch sie stellten eine Reduzierung der Fußsensibilität bei Nutzung von sportartspezifischen Schuhen fest. Gegenüber den von Ihnen verwendeten Formel 1-Schuhen ist mit Skischuhen allerdings die wahrnehmbare Vibrationsschwelle noch größer, d.h. die Sensibilität Vibrationsreize aufzunehmen geringer. Nicht vergleichbar zu den Ergebnissen von Schlee et al. (2009a) sind dagegen die in dieser Studie gewonnenen Resultate im Hinblick auf die veränderten Schuhbedingungen, da sich bei ihnen diese nicht von der Veränderung der Schuhsohle abhängig zeigte. Die Autoren modifizierten jedoch nur das Sohlenmaterial, demzufolge sich in der hier mit alpinen Skischuhen durchgeführten Studie eine Abhängigkeit der Ergebnisse von der Passform vermuten lässt. Ein eng anliegender Schuh ist somit für die Weiterleitung von Informationen besser geeignet, was zudem durch den Vergleich zwischen offenen und geschlossenen Schuhen bekräftigt werden dürfte. Dies konnte jedoch nur für den R-Schuh festgestellt werden. Diesbezüglich könnten auch bei geöffnetem Schuh die für die motorischen Regulationsprozesse sensorischen Informationsprozesse beeinträchtigt sein.

Dass die Informationen durch die Mechanorezeptoren im plantaren Bereich des Fußes aufgenommen werden, geht aus zahlreichen Studien verschiedener Autoren hervor (Kavoundias et al., 2001; Nurse & Nigg, 2001; Mayer et al., 2004; Van Deusern et al., 1998; Sterzing et al., 2006). Bei einer Einschränkung der Reizaufnahme könnte insbesondere die Gleichgewichtsfähigkeit negativ beeinflusst werden, da die somatosensorischen Rückmeldungen wesentlich an der Steuerung der Körperhaltung und Bewegungsregulation beteiligt sind (Maurer et al., 2000).

Eine verringerte zeitweilige Blutzirkulation, die infolge von zu festem Schnallenschluss vermutet hätte werden können, kann dagegen nicht konstatiert werden, da dies in Anlehnung

an Schlee et al. (2009c) zu einer Verringerung der Fußsensibilität geführt hätte. Bei normalem Schnallenschluss tritt dieser Effekt somit nicht zu Tage. Es sollte aber diesbezüglich angemerkt werden, dass die von Wilke et al. (2004) festgestellten Probleme beim Tragen alpiner Skischuhe dazu führen könnten. Immerhin klagten 24,1 % der von Ihnen befragten Skifahrer über kalte und 16,6 % über eingeschlafene Füße. Ein zu fester Schnallenschluss, der womöglich einen zu großen Skischuh kaschieren soll ist daher nicht zu empfehlen. Da besonders die Temperatur einen Einfluss auf die Fußsensibilität (Schlee et al., 2009c) hat, muss in Anlehnung an verschiedene Autoren (Magnusson et al., 1990; Nurse & Nigg, 1999; Perry et al., 2000) auch von einer Beeinflussung der Gleichgewichtsfähigkeit ausgegangen werden. Entsprechend dieser Tatsache können die Vermutungen somit nicht ohne weiteres auf die Praxis projiziert werden, da die Messungen bei Raumtemperatur durchgeführt wurden.

Ein Zusammenhang der Fußsensibilität mit der Bewertung der Passform konnte dagegen nicht nachgewiesen werden. Die Begründung dürfte zum einen in der individuellen subjektiven Passformbewertung zu sehen sein, die bereits im Kapitel 4.1.7.2 festgestellt wurde. Zum anderen könnte auch hier die individuelle Fußsensibilität gewichtend sein, was beispielsweise von Sterzing et al. (2006), Nurse & Nigg, (1999) oder Kekoni et al. (1989) festgestellt wurde. Die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 4-2: *»Es besteht ein Zusammenhang zwischen plantarer Fußsensibilität und der Beurteilung der Passform«*, kann somit nicht bestätigt werden. Die in dieser Studie durchgeführte Passformbewertung der Schuhe macht allerdings deutlich, dass die bestehenden bautechnischen Differenzen vom Probanden in fast allen Bereichen subjektiv wahrgenommen werden. Bis auf den Bereich der Fußlänge und der Fersenweite zeigen alle in der Bewertung eingeschlossenen Bereiche signifikante Bewertungsunterschiede, wodurch die im Kapitel 4.1.7.2 gewonnenen Erkenntnisse teilweise bestätigt werden.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass die Fußsensibilität durch die charakteristische Eigenschaft verschiedener Skischuhe unterschiedlich stark beeinflusst wird. Besonders durch die in der Leistenbreite differierenden Modelle könnte somit die individuelle Fahrperformance beeinträchtigt werden, da speziell gleichgewichtsbeeinflussende Steuer- und Regelprozesse durch eine zu weite Passform vermindert sein könnten. Es ist allerdings unklar, inwieweit sich die gewonnenen Ergebnisse tatsächlich auf die Qualität der Bewegungen auswirken. Die infolge der Laboruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sind außerdem durch weitere, vor allem praxisbezogene Feldstudien zu ergänzen. Ebenso wurden in dieser Studie Modelle von nur zwei Herstellern verwendet.

4.3 Fußmorphologieveränderung beim Tragen alpiner Skischuhe

So wie viele der auf dem Markt befindlichen speziellen Sportschuhe, ist auch der alpine Skischuh durch besondere Funktionen gekennzeichnet, die laut Maxwell und Hull (1989) vordergründig in der Übertragung von Kräften zur Steuerung der Ski zu sehen sind. Die Funktionalität der Skischuhe kann aber auch anhand der notwendigen Verletzungsprophylaxe oder durch den Schutz der Füße vor äußeren Einwirkungen charakterisiert werden. Die allgemeinen Anforderungen müssen dabei mit einer adäquaten Passform in Übereinstimmung gebracht werden, wodurch sich im Kontext der Begriff der funktionellen Passform verwenden lässt (Kunde et al., 2009). Der sich so ergebende Kompromiss ist jedoch bei alpinen Skischuhen nicht immer zur Zufriedenheit der Nutzer gestaltet, da diese häufig komfortablere Schuhe fordern (Wilke et al., 2004). Wie sich in diesem Zusammenhang der Skischuh auf die Fußmorphologie auswirkt ist jedoch unklar und soll in der in diesem Abschnitt durchgeführten Studie untersucht werden.

4.3.1 Theoretische Grundlagen

Wie bereits im Kapitel 4.1.1.2 näher betrachtet wurde, kann die Beurteilung einer geeigneten Passform im Wesentlichen durch den Grad der Übereinstimmung des Schuhs mit der individuellen Fußmorphologie (Janisse, 1992) erfolgen. Demzufolge wird der Schuh laut Hawes und Sovak (1994) als besonders komfortabel wahrgenommen, wenn diesbezüglich eine hohe Gleichheit vorliegt. Die so durchgeführte Betrachtungsweise kann jedoch häufig als nicht ausreichend angesehen werden, da die Vorgehensweise eine Einschätzung der Funktionalität nur bedingt beinhaltet und somit als kontraproduktiv für die Funktionalität eingeschätzt werden muss. Neben den gebräuchlichen subjektiven Tragetests ist daher laut Hennig (1993) eine Eignungsfeststellung von Schuhen zusätzlich anhand biomechanischer Parameter notwendig, welche sich aus den Anforderungen der Sportarten ergeben. Unterschieden werden sollte dabei in Merkmale zur Leistungsverbesserung und der Prävention von Beschwerden am Bewegungsapparat. Letzterem wird eine besondere Priorität zugesprochen, da die Vermeidung von Verletzungen als Voraussetzung für eine Leistungssteigerung gilt.

Besonders bei Sportarten, welche spezielle Anforderungen an den Schuh stellen, ist der Komfort nicht immer mit einer Funktionalität zu vereinbaren oder zielführend. Als besonders unkomfortabel können in diesem Zusammenhang beispielsweise Kletterschuhe angeführt werden. Diese verursachen laut einer Studie von Van der Putten und Snijders (2001) zufolge typischerweise Schmerzen und Fußverletzungen. Die Beeinträchtigung der Füße nimmt gemäß ihren Ergebnissen mit steigendem Leistungsniveau der Sportler zu und liegt in der

Funktionalität begründet, wobei die Schmerzen auf zu enge Schuhe zurückzuführen sind. An dieser Stelle können zum alpinen Skisport Parallelen gezogen werden. So nutzen vor allem leistungssportlich orientierte Skifahrer Skischuhe, welche in der Passform sehr eng sind und folglich auch der Skischuh im Kontext weniger komfortabler Sportschuhe genannt werden kann. Bei Breitensportlern tritt dieses Phänomen ebenso auf, da besonders bei einer ungenügenden Anpassung an den Fuß Druckstellen oder erhöhte Belastungen entstehen können (Schaff et al., 1988). Demnach traten wesentlich höhere Druckwerte im Vorfußbereich bei Schuhen auf, welche den Versuchspersonen im Ristbereich weniger gut angepasst waren. Ursächlich erweist sich hier eine Deformation der Schuhplastikschale, durch die der Fuß offensichtlich stark komprimiert wird. Die Hauptursache auftretender Druckwerte dürfte demzufolge durch die Veränderung der Fußdimensionen hervorgerufen werden, welche in Anlehnung an Tsung et al. (2003) schon bei unterschiedlichen Gewichtsbelastungen entstehen können. Die Autoren stellten eine Vergrößerung in der Fußlänge und -breite und eine Verringerung der Höhe des Fußlängsgewölbes bei unterschiedlichen Gewichtsbelastungen fest, was ebenso von Xoing (2009) konstatiert wurde. Entsprechend der bestehenden Schuhmaße könnte der Fuß so in seiner Veränderung behindert werden und Schmerzen verursachen, das ferner auch Schaff et al. (1988) bei Skischuhen herausfand. Laut den Autoren können schmerzhaftes Fußveränderungen ebenso bei zu großen Skischuhen auftreten.

Dabei sind Fußbeschwerden in unserer Gesellschaft weit verbreitet (Garrow et al., 2004). Immerhin leiden mit zunehmendem Alter bis zu 90 % der Personen an Fußschmerzen (Benvenuti et al., 1995), deren Ursachen vielfältig sein können und unter anderem auch auf häufiges Tragen eines unzureichenden Schuhwerks zurückzuführen sind (Menz & Morris, 2005). Insbesondere zu enge Schuhe rufen gemäß den Autoren schmerzhaftes Beschwerden hervor und können darüber hinaus zu Fehlstellungen oder zu negativen Einflüssen auf den gesamten Bewegungsapparat führen. Die Forderung, dass der Schuh möglichst den anthropometrischen Verhältnissen des Fußes angepasst sein sollte, gestaltet sich jedoch äußerst schwierig bzw. ist bei der Vielzahl der existierenden individuellen Unterschiede nicht immer möglich. Neben den bereits im Kapitel 4.1.1.2 vorgestellten Einteilungen von fußmorphologischen Unterschieden dürfte für die Passform des Skischuhs vor allem die unterschiedliche Lage der Ballenlinie, wie sie von Rossi und Tennant (1984) aufgezeigt wurden, essentiell sein. Die Anpassung der harten Außenschale an die individuelle Charakteristik der Füße kann deshalb nicht immer gewährleistet werden, demnach auch das Komfortempfinden beeinträchtigt sein dürfte. Eine umfassende Annäherung der Schuhinnenmaße an die Fußform ist auf Grund seiner individuellen Ausprägung nicht immer gegeben. Zudem können die Fußdimensionen zeitweiligen Schwankungen unterliegen. Diese können im Tagesverlauf auftreten oder aber zudem durch allgemeine Bewegungen

und sportliche Aktivitäten hervorgerufen werden und in der Konsequenz Auswirkungen auf die Funktionalität oder die Passform haben. Die Untersuchungsergebnisse sind diesbezüglich allerdings recht konträr. So stellten Noddeland et al. (1988) eine Erhöhung des Fußvolumens um 5,7 % nach achtstündigem Sitzen fest. Dagegen kamen Moholkar und Fenelon (2001) zu keinen signifikanten Ergebnissen, an denen eine Änderung der Fußmorphologie nachweisbar gewesen wäre. Eine Volumen-zunahme der Wade um 1,1 % konstatierten auch Stick et al. (1985) nach 20minütigem Stehen. Eine Erhöhung des Volumens konnte bei körperlicher Aktivität, die in einer weiteren Studie dieser Arbeitsgruppe untersucht wurde, nur bedingt beobachtet werden. Lediglich bei schnellerem Laufen war ein Anstieg des Wadenvolumens um 2,5 % innerhalb der ersten 7 Minuten sichtbar, ehe sich ein Rückgang des Volumens einstellte (Stick et al., 1992). Bei Messungen, die auf einem Radergometer durchgeführt wurden, war dagegen ein Rückgang von 1,1 % (bei 20°C) zu verzeichnen, der sich jedoch abhängig von der jeweiligen Umgebungstemperatur zeigte. Bei erhöhter Temperatur von 36°C konnte dieser nicht mehr konstatiert werden (Stick et al., 1993).

Bei den vorliegenden Studienergebnissen wurden allerdings zum Teil sehr unterschiedliche Messverfahren angewendet, infolgedessen eine vergleichende Gegenüberstellung nur bedingt möglich ist. So nutzten Noddeland et al. (1988) die in den vergangenen Jahren zur Volumenmessung häufig verwendete Wasserverdrängungsmethode, die Arbeitsgruppe um Stick dagegen ein Verfahren bei dem mittels Dehnungsmessstreifen der Wadenumfang gemessen wurde. Kunde et al. (2009) generierten die Daten mit einem 3D Scanner und konnten sowohl eine Volumenzunahme beim Stehen nach vorangegangenem 15minütigem Liegen um 1,4 %, als auch bei körperlicher Aktivität feststellen. Nach 30minütigem Ausdauerlauf erhöhte sich das Volumen um durchschnittlich 2,2 %, was somit konform zu weiteren Studienergebnissen anderer Autoren einhergeht. Auch McWorther et al. (2003) stellten eine Volumenvergrößerung fest und beobachteten eine Erhöhung des Volumens um 1,5 % nach 10minütigem Gehen und um 3 % nach Laufen von gleicher Dauer, deren Resultate ebenfalls von Cloughley und Mawdsley (1995) bestätigt wurden. Laut Aussage der Wissenschaftler ist die Höhe der Volumenänderung vom jeweilig genutzten Schuh abhängig, da bei engeren Schuhen geringere Abweichungen auftraten. Auch die Autoren um Chalk et al. (1995) begründeten damit ihre Ergebnisse. Bei Volleyballspielerinnen ergaben sich demnach keine Volumenabweichungen.

Einen anderen Ansatz verfolgten indes Kouchi et al. (2009), indem sie die Betrachtungsweise auf die zu erwartende Deformationen verschiedener Fußbereiche während des Laufens erweiterten. Die Autoren konnten anhand vertikaler Querschnittsveränderungen signifikante Erhöhungen oder Verringerungen im Fersen- und Ballenbereich je nach Fußaufsatzphase feststellen. Dazu verwendeten sie ebenfalls einen Fußscanner.

Die Auswirkungen vorliegender sportwissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse werden von den einzelnen Autoren hinsichtlich vorbeugender Sichtweise möglicher entstehender Ödeme oder bezüglich einer korrekten Schuhauswahl für unterschiedliche Personengruppen (McWorther et al., 2003) diskutiert. Direktere Zusammenhänge werden allerdings nur sporadisch betrachtet, so dass der Leser auf die Notwendigkeit weiterführender Studien hingewiesen wird. Auch Kunde et al. (2009) sehen in ihren Ergebnissen die Erfordernis zur Notwendigkeit einer geeigneten Passformauswahl, thematisieren aber gleichzeitig eine mögliche sensorische Relevanz. In Anlehnung an Sterzing et al. (2006), die für unterschiedliche Bereiche der plantaren Fußregion unterschiedliche Reizschwellen bei Druck- und Vibrationsreizen feststellten, wird jedoch die Beeinträchtigung oder Veränderung sensorischer Informationsprozesse in Abhängigkeit der Passform nicht weiter diskutiert.

Obwohl die plantaren Hautrezeptoren als ein zentraler Bestandteil in der Regelfunktion der posturalen Stabilitätskontrolle fungieren, sind diesbezüglich keine geeigneten Studien bekannt. Vor allem unter dem Aspekt, dass bei deren Beeinträchtigung eine Störung des Gleichgewichts hervorgerufen werden kann (Duysens et al., 2000), wäre ein Erkenntnisgewinn hinsichtlich beeinflussender Veränderung der Fußmorphologie notwendig und somit nicht nur im Hinblick auf bisherige Komfort- oder Passformbewertungen relevant. Eine Minderung der plantaren Fußsensorik konnte bisher lediglich im Zusammenhang mit einer verringerten Durchblutung auf Grund einer zu engen Passform festgestellt werden, da diese laut den Autoren um Schlee (2009c) eine Verringerung der Sensibilität hervorbringt. Ob ein derartiger Effekt allerdings bei Sportschuhen allgemein und speziell beim Skischuh auftreten kann, scheint fraglich bzw. stand noch nicht im Fokus wissenschaftlicher Arbeiten. Ein Interesse am Erkenntnisgewinn fußmorphologischer Veränderungen beim Tragen alpiner Skischuhe dürfte aber auch unter dem Aspekt entstehender Fußdeformitäten bestehen, da diese als Ursache entstehender Schmerzen genannt werden können. So sind oftmals zu kleine Schuhe Auslöser von Fußdeformitäten wie beispielsweise Hallux Valgus (Menz et al., 2005).

Im Mittelpunkt der Studie steht daher die Fragestellung, ob sich die Morphologie des Fußes durch das Tragen alpiner Skischuhe ändert. Genauer gilt es die Frage zu beantworten, inwieweit und vor allem in welchen Bereichen Veränderungen auftreten.

4.3.2 Untersuchungsstichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 38 Probanden teil, davon 24 Männer und 14 Frauen (Tabelle 15). Alle teilnehmenden Personen waren Skifahrer und bei der Teilnahme frei von Verletzungen. Eine Unterscheidung der Teilnehmer bezüglich ihres Leistungsniveaus wurde durchgeführt und erfolgte in Anfänger, fortgeschrittene und sportliche Skifahrer. Die Angaben wurden mittels Fragebogen erhoben und brachten keine Unterschiede hervor, da sich alle Teilnehmer als sportliche Skifahrer einschätzten.

Die Probanden wurden aus den Teilnehmern eines Skitest's rekrutiert. Dieser fand im März 2012 statt und wurde von der Zeitschrift „Ski-Magazin“ in Zusammenarbeit mit dem Institut Sportwissenschaft der Technischen Universität München in Sölden am Ortler (ITA) durchgeführt. Vor der Datenaufnahme wurde jeder Proband über den Ablauf der Untersuchung detailliert durch den Untersuchungsleiter informiert. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und nur nach Unterzeichnung der Einverständniserklärung durch die Probanden möglich.

Tab. 15: Daten der Probanden der Fußmorphologiemessung

		♀/♂	♀ weiblich	♂ männlich
Anzahl	n	38	14	24
Alter [Jahre]	MW	41,7	36,5	44,8
	SD	4,8	12,5	11,9
Größe [cm]	MW	175,7	168,8	179,82
	SD	7,9	4,4	6,7
Gewicht [kg]	MW	79,2	68,9	85,2
	SD	11	4,4	6,6

4.3.3 Methodik der Fußmorphologiemessung

Zur Datenerhebung wurde ein 3D Laserscanner „INFOOT® USB Standart Type“ der Firma „I-Ware Laboratory“ (Osaka, Japan) als Messsystem eingesetzt.

Der zur Messung des menschlichen Fußes konzipierte Scanner besteht aus 4 Laseremittern und 8 Kameras, demzufolge er Gegenstände mit Maßen von 400 mm Länge, 200 mm Weite und 150 mm Höhe abbilden kann. Die Digitalisierung erfolgt, indem der Laser eine dünne Linie auf das zu scannende Objekt projiziert, welche gleichzeitig von den Kameras aufgezeichnet wird. Wie in Abbildung 46 dargestellt ist, befinden sich die einzelnen Kameras und Laser als Scannereinheit auf einer Schiene. Während des Scannvorgangs bewegt sich die Einheit innerhalb einer Zeitspanne von ca. 10 Sekunden am Fuß entlang und erhebt die relevanten Daten. Nach der Konvertierung dieser können die 3D Fußscans anschließend mit der Software Centiped® vermessen und ausgewertet werden.

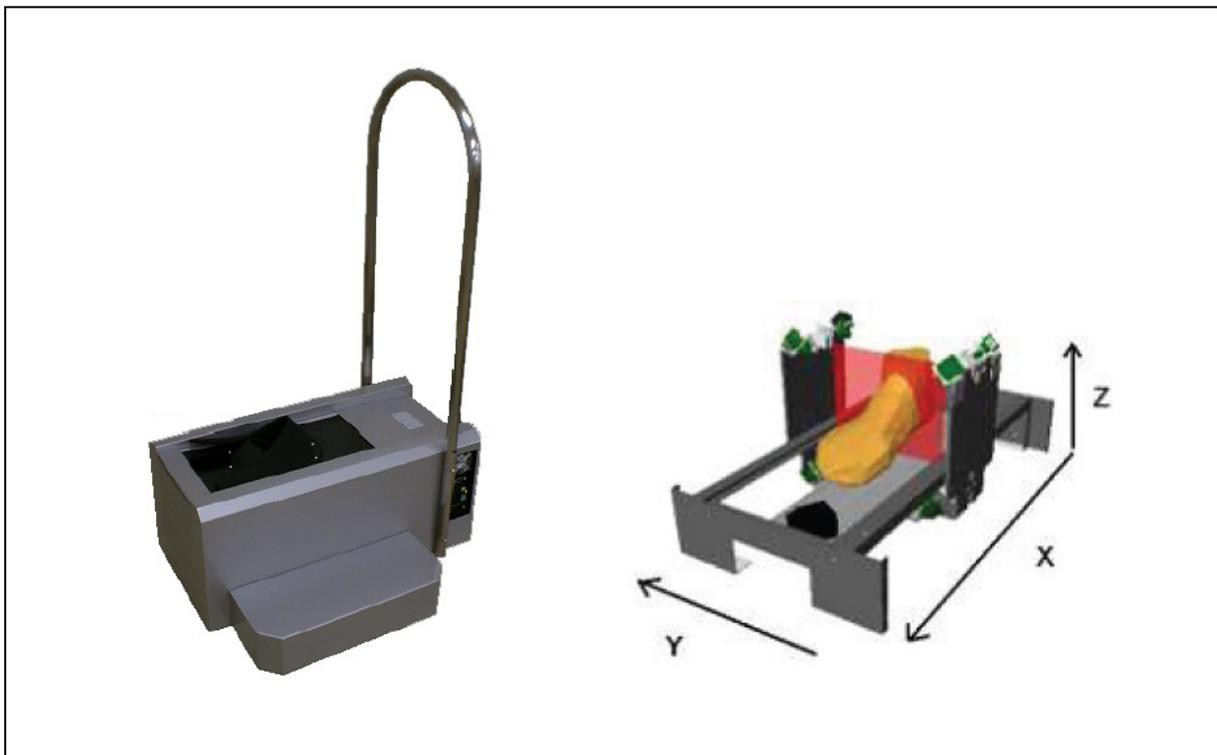


Abb. 46: INFOOT USB Scanner (li) mit Abbildung der Scannereinheit (re) (I-Ware Laboratory's, 2005)

Zur statistischen Analyse wurde jeweils die Fußlänge (FL) und Fußbreite (FB) ermittelt. Die Angaben sind dabei Messwerte der längsten und breitesten Stelle des Fußes. In Anlehnung an Richter und Schaefer (2009) wurden außerdem die technische Ballenbreite und deren Fläche (FA) an der Schnittebene berechnet, welche bei 65 % der Fußlänge liegt. Ebenso wurde die Risthöhe (RH) bei der Fußlänge bestimmt (Abbildung 47). Weiterhin wurden bei 50 % der Fußlänge die Risthöhe und die Fläche bestimmt sowie die Ballenbreite bei 75 % der Fußlänge, gedreht um 15 Grad. Bei Betrachtung der Scans stimmt diese Schnittebene mit der anatomischen Ballenbreite überein (Richter & Schaefer, 2009).

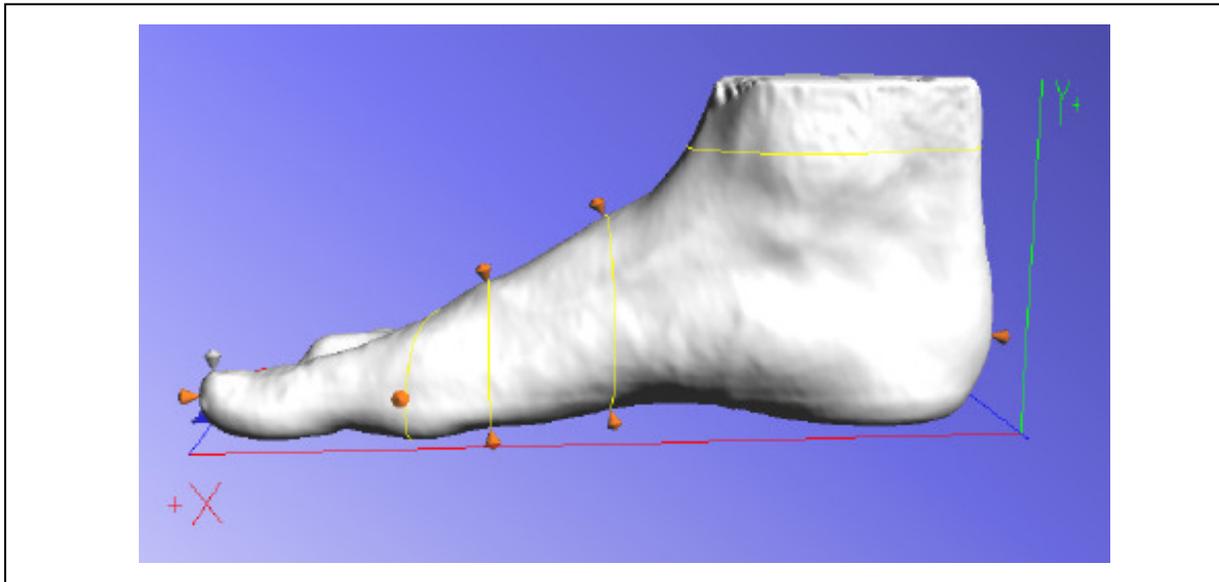


Abb. 47: Berechnete Fußmaße, Screenshot der Software Centiped® (eigene Aufnahme)

4.3.4 Studiendesign

Zur Beurteilung der Fußdimensionen wurde der rechte Fuß der Probanden im Tagesverlauf zweimal zu unterschiedlichen Tageszeiten gemessen. Die erste (Prä-) Messung wurde vor dem Skifahren durchgeführt, die zweite (Post-) Messung unmittelbar nach dem Skifahren. Die Ausgangsmessung fand dementsprechend morgens statt, bevor die Teilnehmer ihre Skischuhe anzogen. Am Nachmittag erfolgte die zweite Messung, so dass zwischen den beiden Messzeitpunkten der Skischuh mindestens acht Stunden getragen wurde. Die Studienteilnehmer absolvierten dazwischen einen normalen Skitag. Um eine Verfälschung der Messwerte zu verhindern, folgte die zweite Messung unmittelbar nach dem Ausziehen der Schuhe. Die maximale Zeitspanne betrug eine halbe Minute. Die Messungen fanden unter Raumtemperatur im Hotel statt. Die Studienteilnehmer nutzten ihre eigenen Skischuhe. Im Anschluss an die Messung wurden die Personen zu ihren Schuhen bezüglich der Passform in verschiedenen Bereichen anhand visueller Analogskalen befragt (vgl. Kapitel 4.1.4.).

4.3.5 Statistik

Für die statistische Analyse zur Untersuchung der Mittelwertunterschiede wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft. Die Prüfung erfolgte durch die Anwendung des Shapiro Wilk Tests. Da bei allen Daten eine Normalverteilung existierte, wurden für die Inferenzstatistik parametrische Verfahren zur Prüfung bestehender Unterschiede angewendet. Die Analyse der Gruppenunterschiede erfolgte mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben. Für die Prüfung der Mittelwertunterschiede der einzelnen Parameter beim Prä- und Postvergleich wurde der abhängige t-Test eingesetzt. Entsprechend der Fragestellungen erfolgte eine alpha-Adjustierung ($\alpha/2 = 0,025$). Die Signifikanzschwelle betrug $p = 0,025$. Die Prüfung der Zusammenhänge zwischen fußmorphologischen Parametern (Ballenbreite u. Fußhöhe) und der subjektiven Beurteilung erfolgte mittels der Korrelationsanalyse nach Spearman. Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde SPSS 19.0 (statistical packet for social science) verwendet.

4.3.6 Ergebnisse der Untersuchung

Die Ergebnisse der Fußmorphologiemessung zeigen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der gemessenen Parameter zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern der Studie, demnach im weiteren Verlauf die Probandengruppe ($n = 38$) gemeinsam betrachtet wurden. Der Vergleich bezüglich eines unterschiedlichen Leistungsniveaus erfolgte nicht, da die Probanden sich alle als sportliche Skifahrer einschätzten.

Für die Mittelwertunterschiede im Prä- und Post- Vergleich können für alle betrachteten Parameter signifikante Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 16). Das Signifikanzniveau ist bei allen Parametern hoch ($p < 0,001$). Lediglich beim Vergleich der Fußlänge (FL) ist es verringert ($p = 0,004$). Im Vergleich zur Messung vor dem Skifahren wird entsprechend der gemessenen Mittelwerte der Fuß um 0,5 mm länger. In der Breite kommt es zu einer Verringerung um 1,01 mm. Auch die morphologischen Parameter der Fußbreite bei 65 % und bei 75% der Fußlänge lassen einen Unterschied erkennen. Bei 65 % der Fußlänge verringert sich die Breite um 0,8 mm und um 1 mm bei 75 % der Fußlänge. Die Differenzen der Risthöhe zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt ergeben bei der technischen Ballenlinie (65 % der FL) einen Wert von 1,98 mm und bei 50 % der Fußlänge einen Wert von 1,83 mm. Gegenüber der Ausgangsmessung kommt es durch das Tragen alpiner Skischuhe demnach zu einer Verringerung um 3,98 % bzw. 2,6 %. Betrachtet man die Änderung der Fläche an den beiden Schnittebenen bei 65 % und 50 % der Fußlänge, ist ebenfalls eine Verringerung um 93 mm^2 (65 % FL) und 140 mm^2 (50 % FL) im Mittel festzustellen. Prozentual nimmt somit die Größe der Schnittfläche um 2,6 % (bei 65 % FL) und 3,3 % (bei 50 % FL) ab.

Tabelle 16: Vergleich der Fußdimensionen, Mittelwerte prä/post

Parameter	prä MW	post MW	Differenz MW	Differenz max / min	p
Fußlänge [mm]	261,76	262,36	-0,59	-2,2 / 3,3	= 0,004
Fußbreite [mm]	98,97	97,96	1,01	-1,7 / 3,14	< 0,001
Fußbreite 65 % [mm]	95,78	94,96	0,81	-1,7 / 3,0	< 0,001
Risthöhe 65 % [mm]	49,73	47,75	1,98	-0,5 / 4,1	< 0,001
Fläche 65 % [mm ²]	3462	3333	93,0	- 198 / 357	< 0,001
Risthöhe 50 % [mm]	69,48	67,46	1,83	-1,0 / 4,7	< 0,001
Fläche 50 % [mm ²]	4249	4109	140	-52 / 374	< 0,001
Fußbreite 75 % [mm]	100,0	99,0	1,0	-1,3 / 3,2	< 0,001

Bei Betrachtung der Resultate der Korrelationsanalyse kann zwischen keinem der ausgewählten gemessenen Parametern und der subjektiv beurteilten Passform ein Zusammenhang festgestellt werden. Für die Daten der Ballenbreite ($r = -0,22$) und Risthöhe bei 65 % ($r = 0,09$) existierten keine Korrelationen zu der von den Studienteilnehmern in diesen Bereichen angegebenen Beurteilung der Passform. Anhand der graphischen Ergebnisdarstellung wird aus den Abbildungen 48 und 49 somit deutlich, dass die Änderungen der Fußdimensionen keinen unmittelbaren Einfluss auf die Passformbewertung der Schuhe besitzen, d. h. die Beurteilung somit in keinem Zusammenhang zu den tatsächlich existierenden Schuhmaßen steht.

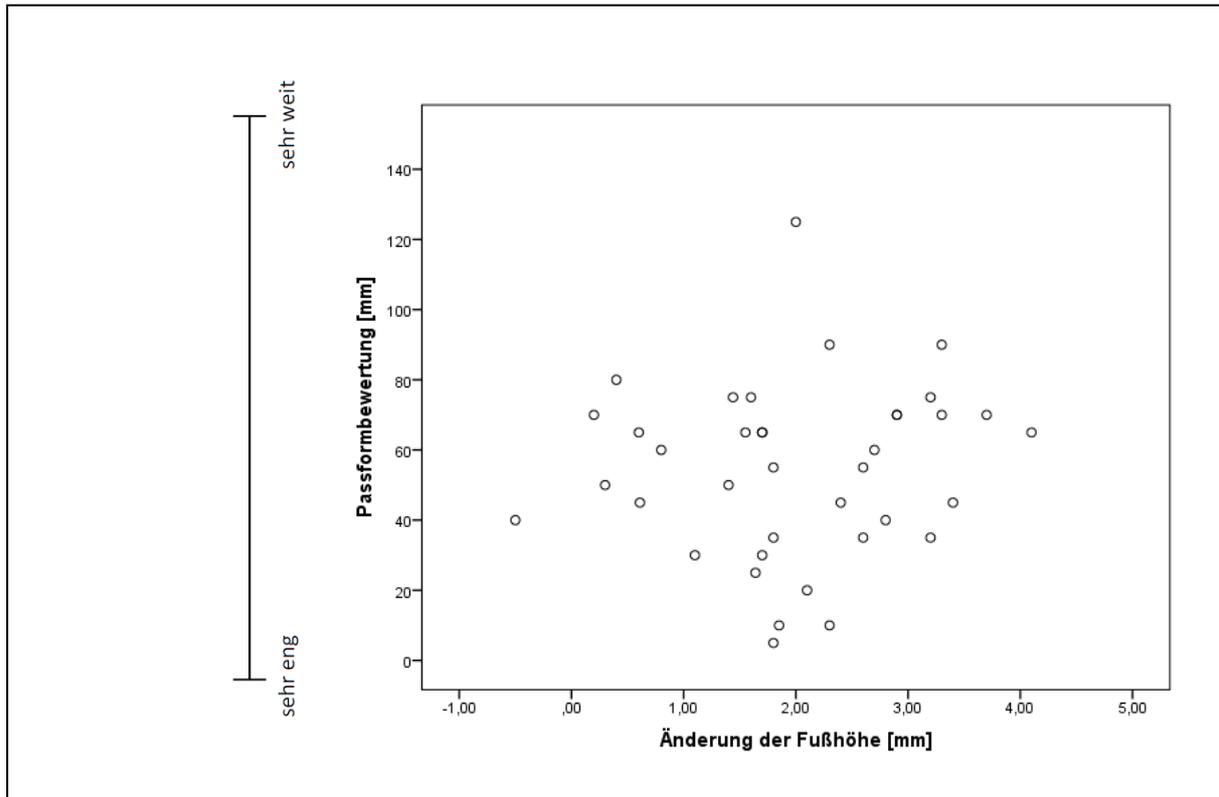


Abb. 48: Passformbewertung der Fußhöhe im Vergleich zur Fußhöhenänderung bei 65 %

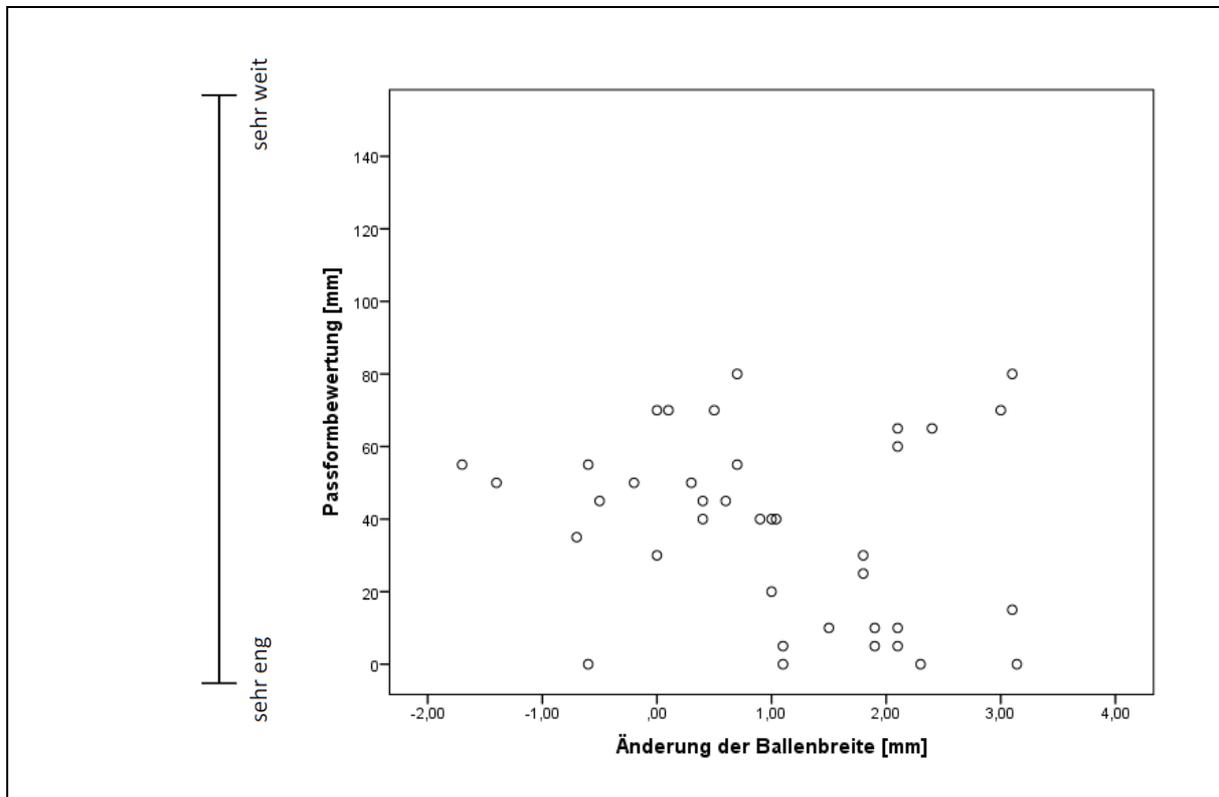


Abb. 49: Passformbewertung der Ballenbreite im Vergleich zur Ballenbreitenänderung

4.3.7 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Entsprechend der Fragestellung 5 galt es durch die Teilstudie zu überprüfen, ob sich die Fußdimensionen Fußlänge, -breite, -höhe beim Tragen alpiner Skischuhe im Tagesverlauf ändern. Entsprechend der Ergebnisbetrachtung bestehen in allen gemessenen Parametern signifikante Unterschiede zwischen der Ausgangsmessung am Morgen und der Messung die nach dem Skitag erfolgte. Die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 5-1: *»Es wird angenommen, dass sich die Dimensionen Fußlänge, -breite, -höhe und -fläche während eines Skitages verändern«*, kann somit bestätigt werden.

Da die Messgenauigkeit des 3D-Scanners bei 1 mm liegt, muss die praktische Relevanz der Ergebnisse allerdings differenziert betrachtet werden und kann für einige Parameter nicht konstatiert werden. Es ist anzunehmen, dass es trotz statistisch signifikanter Unterschiede der Mittelwerte vor allem in der Fußlänge und in der Fußbreite zu keiner echten Veränderung kommt. Die aufgetretenen Unterschiede liegen innerhalb der Messtoleranz des Gerätes.

Vergleichbar mit der Begründung von McWorther et al. (2003) oder Chalk et al. (1995), die eine Veränderung in Abhängigkeit der genutzten Schuhe sehen, ist somit auch bei alpinen Skischuhen keine bedeutsame Veränderung der Fußmorphologie feststellbar. Die Begründung dürfte in der Verwendung einer harten Kunststoffschale zu sehen sein. Eine Vergrößerung der Fußmaße, wie sie bei sportlichen Aktivitäten beispielsweise von Kunde et al. (2009) oder McWorther et al. (2003) konstatiert wurde, lässt sich allerdings ausschließen. Es ist offensichtlich, dass der Skischuh eine Längen- und Breitenveränderung verhindert. Bezüglich der in Tabelle 16 angegebenen minimalen und maximalen Werte ist aber von einer individuellen Abweichung auszugehen. Da die im Tagesverlauf auftretende Verringerung der Fußbreite bis zu 3,14 mm betragen kann, ist eine Abhängigkeit vom Schuh annehmbar. Je nach Schalenbreite und der im Zusammenhang von Rossi und Tennant (1984) konstatierten unterschiedlichen Lage der Ballenlinie könnte beispielsweise eine mehr oder weniger hohe Reduzierung der Fußbreite auftreten.

Die Annahme diesbezüglich ist jedoch rein spekulativ, da die Maße der Breite der genutzten Schuhe nicht bekannt sind und auch nicht aus der Typenbezeichnung hervorgehen. Eine Vermessung konkreter Schuhbereiche anstatt der Passformbeurteilung durch den Teilnehmer selbst, wäre diesbezüglich zielführender gewesen. Im Gegensatz zu den geringen und teilweise durch die Messtoleranz erklärbaren Differenzen der Breite und Länge ergibt sich für den Bereich der Risthöhe eine deutliche Abweichung, die außerhalb des Gerätemessfehlers liegt. Für das Fußlängsgewölbe ist dabei eine Verringerung der Höhe von durchschnittlich 1,98 mm bei 65 % und 1,83 mm bei 50 % der Fußlänge feststellbar. Entsprechend dieser Werte kommt es auch zu einer Verringerung der berechneten Fläche an der Schnittebene um 2,6 % und 3,3 %. Das Tragen alpiner Skischuhe beeinflusst somit

die Fußhöhe nachweislich. Vergleichbar mit den Studienergebnissen der Autoren um Schaff (1988) könnte in Abhängigkeit des Schnallenschlusses das Fußgewölbe mehr oder weniger deformiert und somit im Skischuh zusammengedrückt werden. Auch hierbei kann ein Zusammenhang zum getragenen Skischuh jedoch nur vermutet werden, da die exakten Beziehungen statistisch nicht nachweisbar sind. Hinsichtlich der Extremwerte, welche eine Reduzierung des Fußlängsgewölbes von bis zu 4,7 mm bedeuten, ist aber davon auszugehen, dass sie maßgeblich vom entsprechenden Schuhmodell beeinflusst werden. Um die Größe des Effektes genauer beschreiben zu können, wären allerdings weitere Untersuchungen notwendig. Der unmittelbare Vergleich zwischen mehreren verschiedenen Schuhmodellen bei ein und demselben Probanden könnte diesbezüglich genauere Erkenntnisse hervorbringen. Im Hinblick der von Pinter et al. (2010) bei alpinen Skischuhen konstatierten Problemstellen können aber auch so Rückschlüsse gezogen werden. Die von ihm im Bereich der Mittelfußknochen festgestellten Druckstellen sind zum Beispiel eventuell auf einen zu engen Schuh zurückführbar. Je nach Skischuhmodell ist eine konstitutionelle Veränderung des Fußes daher denkbar, durch die Druckstellen hervorgerufen werden könnten.

Nicht nachweisbar ist der in dieser Untersuchung angenommene Zusammenhang einer Abhängigkeit der Fußmorphologieveränderung in Beziehung zur Passformbewertung. Die im Kapitel 3 formulierte Hypothese 5-2: *»Dabei besteht zwischen der Passformbewertung und den Veränderungen der Fußmorphologie in der Ballenbereite und der Fußhöhe ein Zusammenhang«*, kann nicht bestätigt werden. Eine von den Probanden in den jeweiligen Bereichen als besonders eng empfundene Passform des Skischuhs ist allgemein nicht mit einer Verringerung der Fußbreite oder -höhe gleichzusetzen. Als Ursache kann eine zu geringe Differenzierung in der Wahrnehmungsfähigkeit der Probanden angenommen werden.

Diesbezüglich ähnliche Resultate wurden auch von Kunde (2010) konstatiert und interpretiert. Auch sie stellte geringe Differenzen der Passformbewertungen unterschiedlicher Schuhe fest. Ähnlich den Skischuhen unterschieden sich die Schuhe ihrer Studie in der Leistenbreite ebenso um bis zu 5 mm. Zudem ist die Sensibilität verschiedener Fußbereiche individuell verschieden (Kunde, 2010), so dass auch die Wahrnehmung der Passform differieren könnte. Die bereits in Abschnitt 4.1.7.2 festgestellte individuell abhängige Passformbewertung scheint somit auch das Ergebnis dieser Studie zu beeinflussen. Weiterführende Rückschlüsse hätten in dieser Hinsicht durch eine Passformbewertung am Morgen aufgezeigt werden können. Eventuelle Differenzen in der Bewertung wären unmittelbar im Zusammenhang zur Fußveränderung interpretierbar gewesen. Grundsätzlich zeigt sich auch in dieser Passformbewertung eine Tendenz zur engeren Bewertung alpiner Skischuhe.

Wesentlich maßgeblicher als die Passformbewertung dürften aber die Auswirkungen der festgestellten fußmorphologischen Veränderungen anzusehen sein. In Konsequenz der erhaltenen Reduktion des Fußlängsgewölbes könnte eine veränderte Gelenksstellung im Sprunggelenk angenommen werden. Durch die Verringerung ist von einer medialen Rotation des Fußes auszugehen, welche in der Endkonsequenz zu einer verstärkten Pronation führt. Der von Xiong et al. (2006) bereits bei erhöhter Gewichtsbelastung konstatierte Zusammenhang könnte somit die durch den Skischuh ohnehin erzeugte unnatürliche Valgusposition (Böhm & Senner, 2008) weiter verstärken. Die folglich erzwungene Fußfehlstellung ist oftmals mit einer Reizung des Kniegelenks verbunden und stellt gleichzeitig einen Risikofaktor für Überlastungsschäden dar (Issa & Sharma, 2006; Kaufman et al., 1999). Die bei einer Vielzahl der Ski fahrenden Personen infolge ungewohnter Belastungen häufig vorzufindenden schmerzhaften Überlastungsreaktionen im Kniegelenk könnten dementsprechend auf eine erzeugte Tibia- Femur- Rotation zurückgeführt werden. Die Vermeidung einer erhöhten Valgusstellung ist daher anzustreben, zumal als weiterer bedeutender Effekt bei derartiger Positionierung ein erhöhtes Verletzungsrisiko der vorderen Kreuzbänder besteht (Chaudhari & Andriacchi, 2006).

Zudem wäre im Kontext einer veränderten Stellung der betreffenden Gelenke eine geringere Dämpfungsfähigkeit gegenüber Stoßbelastungen oder eine schnellere Ermüdung bei sportlicher Aktivität auf Grund höherer energetischer Aufwendung zu nennen (Nigg, 2001; Nigg et al., 1999; Mündermann et al., 2006). Die von Schaff et al. (1988) angenommene geringere Gesamtermüdung bei gut passenderen Schuhen wäre durch diesen Ansatz somit erklärbar. Eine Vermeidung der festgestellten Verringerung des Fußlängsgewölbes im Skischuh scheint daher sinnvoll. Die Nutzung fußgewölbestützender Einlagen könnte in diesem Zusammenhang daher eine Möglichkeit der Beeinflussung aktiver Sicherheit sein, wobei die Auswahl eines geeigneten Skischuhs unter Berücksichtigung individueller Voraussetzungen vordergründig anzustreben ist.

5. Ergebnisinterpretation im Zusammenhang

Durch die im Kapitel 4 durchgeführten Einzelstudien wurde der Einfluss des Skischuhs auf die Qualität skisportspezifischer Bewegungssituationen als Ursache und Auswirkung untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse deuten dabei auf die vielschichtige Beeinflussung der leistungsrelevanten Faktoren hin und sollen im Folgenden im Zusammenhang interpretiert werden. Bezüglich der wesentlichsten Funktion des Skischuhs, die in der Übertragung von Steuerimpulsen zu sehen ist (Maxwell & Hull, 1989), galt es zu prüfen, inwieweit sich bautechnisch unterschiedliche Schuhe auf skispezifische Bewegungssituationen auswirken. Zudem sollten die Ursachen eventueller Beeinflussung ansatzweise hinterfragt und im Zusammenhang mit einer Passformbewertung analysiert werden. Die Vorgehensweise der zusammenhängenden Ergebnisinterpretation richtet sich dabei nach der zentralen Fragestellung, welche die Passform auf skispezifische motorische Bewegungssituationen fokussiert.

Im Mittelpunkt der Überprüfung stand die Gleichgewichtsfähigkeit, da sie laut Mehrzahl der Autoren (Raschner et al., 2001; Scherr et al., 2011) im Freizeit- und Breitensport als eine der wichtigsten Fähigkeit gilt und die Höhe der Leistung in der Sportart Ski-alpin wesentlich von ihr bestimmt wird (Mester, 1997; Raschner et al., 2001). Anhand der Ergebnisse der im Kapitel 4.1 durchgeführten Studie kann grundsätzlich von einer Beeinflussung der Bewegung durch den Skischuh ausgegangen werden. Bei Verwendung zweier verschiedener Schuhe zeigt sich, dass der engere Skischuh eine bessere Gleichgewichtsfähigkeit zulässt. Gemessen am CoP-Weg kann beispielsweise eine Verbesserung mit dem als rennsportlich gegenüber dem komfortorientierten Skischuh von 7,7 % angegeben werden.

Die praktische Relevanz ist infolge der durchgeführten Reliabilitätsstudie (Kapitel 4.1.6) allerdings zu hinterfragen, da bei wiederholten Messungen Differenzen von 18 % auftreten können. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache kann das Ergebnis der Gleichgewichtsmessung lediglich als Tendenz gesehen werden. In praktischer Hinsicht wäre die Diskussion darüber ob verschiedene Skischuhe die Qualität der Bewegungsausführung beeinflussen somit hinfällig. Wissenschaftlich gesehen sollte sie aber dennoch geführt werden, da auch Ebert (2010) ähnliche Unterschiede in der Güte der Bewegungsperformance zwischen verschiedenen Skischuhen feststellte. Je nach Geländesituation eignete sich auch bei ihm der sportliche Schuh zur Bewältigung der Bewegungsaufgaben besser gegenüber zwei weiteren in der Passform komfortableren Modellen. Allerdings basieren seine Ergebnisse auf die bei Skitests häufig angewendeten subjektiven Beurteilungen, welche bei der vorliegenden Studie durch die zusätzlich gewählte biomechanische Betrachtungsweise

bewusst vermieden werden sollten. Betrachtet man außerdem ausschließlich den zur Reliabilitätsprüfung häufig verwendeten Korrelationskoeffizient, können die Ergebnisse der im Kapitel 4.1 durchgeführten Studie auch als praktisch bedeutsam angesehen werden. Einen zusätzlichen Beweis dafür, dass die Auswahl eines geeigneten Skischuhs einen Einfluss auf skispezifische motorische Bewegungssituationen nimmt, liefern die Ergebnisse der im Kapitel 4.2 durchgeführten Studie zur Fußsensibilität. Diese wurde ebenfalls in Abhängigkeit zweier verschiedener Schuhe untersucht. Es zeigt sich ein in der Passform fest sitzendes gegenüber dem weiteren Modell als geeigneter. Die Schwelle der spürbaren Vibrationen war dabei signifikant verschieden und mit dem enger sitzenden Schuh um 14,3 % geringer. Es kann angenommen werden, dass Regelungs- und Steuerprozesse entsprechend effizienter ausgeführt werden können. Die Wahrnehmung von Reizen aus der Umwelt, welche eine wesentliche Rolle bei der Aufrechterhaltung der Gleichgewichtsfähigkeit (Nurse & Nigg, 2001; Meyer et al., 2004; Van Deusern et al., 1998) spielt, können so durch die kutanen Mechanorezeptoren besser reflektiert werden. Eine Abhängigkeit der vibrationssensorischen Wahrnehmungsprozesse von der Passform wird zudem durch eine geringere wahrnehmbare Schwelle bei geschlossenem gegenüber teils geöffnetem Schuh untermauert. Ein erhöhter Kontaktdruck oder eine vergrößerte Kontaktfläche dürfte in diesem Zusammenhang eine verbesserte Fußsensibilität bezüglich der applizierten Vibrationsreize bewirken.

In der Verknüpfung der zuvor betrachteten Studie (Kapitel 4.1) kann in einer unzureichenden Passform eine Begründung für eine schlechtere Leistung bei der getesteten Bewegungsaufgabe gesehen werden. Allerdings lässt sich dieser Zusammenhang nur vermuten, da die gewählte Methodik der durchgeführten Studie lediglich einen indirekten wissenschaftlichen Beweis liefert. So liegen zum Beispiel über die für die Bewegungsregulation ebenso wichtige Aufnahme von Druckreizen oder Informationen der Hautdeformationen keine gesicherten Erkenntnisse einer Beeinflussung durch verschiedene Skischuhe vor. Eine verbesserte Vibrationssensibilität erfasst somit nur einen Punkt in der Ursachenbegründung einer gesteigerten Gleichgewichtsfähigkeit, deren Erhebung zudem auf weitere Bereiche des Fußes ausgedehnt werden muss. Eine alleinige Betrachtung der plantaren Fußsensorik stellt dahingehend einen ersten Ausgangspunkt in der zu untersuchenden Thematik dar, da beispielsweise auch die Reizaufnahme an den Rezeptoren des Unterschenkels für die Bewegungsregulation von Bedeutung ist. Die dabei mit dem Schuhschaft ventral in Kontakt stehenden Areale können die Bewegungsregulation ebenso beeinflussen (Schaff & Hauser, 1987). Den Autoren zufolge spielt auch in diesem Bereich eine geeignete Passform eine wichtige Rolle für die Qualität der Bewegungsausführung. Vor allem bei Schmerzempfindungen auf Grund von Druckstellen könnten Bewegungen erheblich beeinträchtigt sein. Dass die Kontaktstelle Schienbein - Schuhschaft häufig als Problemzone gilt, zeigen

die Ergebnisse von Wilke et al. (2004), laut denen 24 % der Beschwerden in diesem Bereich auftreten. Die Forderungen von Schaff und Hauser (1987) nach einer adäquaten Passform sind allerdings nicht nur hinsichtlich einer Verbesserung der Bewegungsperformance zu sehen, sondern zielen häufig auch auf die vom Nutzer formulierten Komfortbedürfnisse (Wilke et al., 2004) ab, deren Forderungen sich auch in den Ergebnissen der im Kapitel 4.1.7.2 durchgeführten Studie widerspiegeln. Allerdings stellt die Passform bei der Bewertung der funktionellen Eigenschaften das wichtigste Merkmal alpiner Skischuhe dar, gefolgt vom Halt im Schuh und der Kraftübertragung. Die Wichtigkeit des Komforts rangiert dagegen erst an vierter Position, demzufolge der häufig vermittelte Zusammenhang von Passform und Komfort (Kapitel 4.1.1.2) bei alpinen Skischuhen nicht unmittelbar feststellbar ist. Im Ergebnis der Korrelationsanalyse konnte jedenfalls kein Zusammenhang zwischen den beiden Eigenschaften nachgewiesen werden. In Hinblick der auszuführenden Bewegungen sehen die Probanden den Skischuh scheinbar eher als Sportgerät und gewichten unbewusst den Begriff der funktionellen Passform als Hauptanforderung an den Schuh. D. h. die Studienteilnehmer sehen die zur Ausübung der Sportart notwendigen Übertragungen von Bewegungen durch den Schuh nur in Verbindung mit einer entsprechenden Passform gewährleistet. Der Verlust an Komfort wird dabei scheinbar akzeptiert.

In der Bewertung der Passform und des Komforts sind daher auch geringere Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellen zu verzeichnen, was die Ergebnisse der weiteren Fragestellung im Kapitel 4.1.7.2 deutlich werden lassen. Es kann festgestellt werden, dass die bautechnischen Wesensmerkmale zwischen zwei unterschiedlichen Skischuhen grundsätzlich bei der Beurteilung wahrgenommen werden.

Die Passform alpiner Skischuhe unterschied sich dabei hauptsächlich in der Leistenbreite, die vom Hersteller vorgegeben war. Der als rennsportlich betitelte Schuh hatte im Gegensatz zum komfortablen Schuh eine geringere Leistenbreite, deren Unterschied von ca. 5 mm durch die Teilnehmer auch für alle weiteren Bereiche wiedergegeben wurde. Sie bewerteten auch in diesem Kontext die Passform rennsportlich orientierter Schuhe enger, infolgedessen grundsätzlich von einer ganzheitlichen körpernäheren Ausführung ausgegangen werden kann. Entsprechend der Gruppierungen von Skischuhen (Kapitel 2.3.3) besitzt der als sportlich charakterisierte Schuh auch eine geringere Weite im Schaftumfang.

Rückblickend zeigen sich bei der Komfortbewertung erstaunlicherweise lediglich für die Leistenbreite und für die Passform des Schuhs insgesamt signifikante Unterschiede, deren Relevanz für die Empfehlung geeigneter Skischuhe von Bedeutung sein dürfte. Bedenken hinsichtlich schmerzverursachender Druckstellen, die durch eine schmalere Leistenform assoziiert werden, können dahingehend zumindest entkräftet werden. Allerdings sollten diesbezüglich weitere vor allem fahrpraktische Tests folgen, um die Ergebnisse untermauern

zu können. Hinsichtlich der im Kapitel 4.1 und 4.2 erhaltenen Resultate muss daher für die Nutzung vor allem in der Leistenbreite engerer Schuhe plädiert werden, zumal sich keine wesentliche Unterscheidung im Komfortempfinden und der Passform von einem weiteren Schuh feststellen lässt. Durch die ergänzenden Ergebnisse dieser Teilstudien muss jedoch beachtet werden, dass bei der Passformbewertung eine individuelle Abhängigkeit gewichtend wirkt. So bewerteten beispielsweise Personen die einen im Ballen breiteren Fuß aufweisen, diesen nicht automatisch als unkomfortabler. Trotz wissenschaftlich fundierter Resultate, die eindeutig für die Verwendung schmalere Leistenformen sprechen, können daher lediglich Empfehlungen ausgesprochen werden. Außerdem kann bei der Vielzahl der existierenden Hersteller und deren verschiedener Modelle nicht unbedingt von einer Übertragbarkeit der vorliegenden Resultate ausgegangen werden, da beispielsweise die Lage der Ballenlinie personenspezifisch ist und nicht immer mit der des Schuhs übereinstimmt. Da zudem die vom Hersteller angegebenen Breiten mit gewöhnlichen Messinstrumenten nicht zweifelsfrei festgestellt werden können und die Angaben sich lediglich auf die Referenzgrößen beziehen, muss die Übertragbarkeit der Studienergebnisse kritisch hinterfragt und gegebenenfalls als methodisch limitiert angesehen werden. Eine Berücksichtigung dieser Feststellung in der Methodik zukünftiger Studien wäre daher wünschenswert.

Ein großes Maß der Bewertungsindividualität lässt sich auch anhand der Ergebnisse der unter Kapitel 4.3. beschriebenen Untersuchung erkennen. Die Annahme, dass die Passformbewertung der Skischuhe mit einer Änderung der Fußmorphologie korreliert, konnte jedenfalls nicht bestätigt werden. Auch bei einer verhältnismäßig großen Veränderung der Fußmaße im Tagesverlauf, nahmen die Probanden keine andere Bewertung der Passform vor als Personen, welche eine geringere Differenz aufwiesen. Im Zusammenhang bezüglich der Passformbewertung betreffenden Hypothesen kann somit für alpine Skischuhe keine Allgemeingültigkeit angegeben werden. Feststellbar ist jedoch, dass die getesteten Schuhe eher mit einem im 2. Drittel einzugruppierenden Wert der visuellen analogen Skalen bewertet wurden. Aus den Ergebnissen durchgeführter Studien kann folglich konstatiert werden, dass die Passform alpiner Skischuhe eher als eng wahrgenommen wird, was an der im Vergleich zur Mehrheit der im Alltag getragenen Schuhe eher ungewohnten einengenden Situation liegen dürfte.

In Verbindung mit den im Tagesverlauf untersuchten fußmorphologischen Veränderungen wird eine Vergrößerung oder Ausweitung, wie sie beispielsweise bei Sportschuhen von Kunde (2010) festgestellt wurde, nicht ersichtlich. Die Einschränkung einer Zunahme, welche scheinbar durch die bautechnisch bedingte Hartplastikschale erfolgt, dürfte die Bewertung der Passform jedenfalls wesentlich beeinflussen. Die Ausprägungen sind allerdings individuell recht verschieden, demnach eine Abhängigkeit vom jeweiligen Skischuh

angenommen werden muss. Insbesondere für den Bereich des Fußlängsgewölbes wird dies offensichtlich. Die hier aufgetretenen Verringerungen in der Risthöhe zwischen Prä- und Post-Messung bei 65 % der Fußlänge betragen im Durchschnitt 1,98 mm und erreichen im Einzelfall bis zu 4,1 mm. Könnte bei einer geringen Reduktion die Ursache im Zusammendrücken des Hautgewebes gesehen werden, dürften die größeren Unterschiede tatsächlich auf strukturelle Veränderung der Füße zurückzuführen sein. Bei länger andauerndem Gebrauch der Schuhe wären beispielsweise so die von Schaff und Hauser (1987) konstatierten nicht selten auftretenden Fußbeschwerden erklärbar. Auch die durch den Skischuh bedingte unnatürliche Haltung, wie sie von Böhm und Senner (2008) zu bedenken gegeben wird, könnten durch eine Fußgewölbeverringering noch verstärkt werden. Eine in der Endkonsequenz zu Fußfehlstellungen führende Auswirkung wäre durchaus denkbar. Dabei müssen diese nicht zwangsläufig Überlastungsschäden hervorrufen, sondern dürften schon die Bewegungsausführung beeinflussen. Durch eine veränderte Fußposition sind laut Aussagen von Nigg (2001) zum Beispiel erhöhte energetische Anforderungen zu erbringen, die wiederum eine frühzeitige Ermüdung zur Folge haben könnte. Auch dadurch könnte eine Beeinträchtigung der Bewegungsqualität in Erwägung gezogen werden.

Ein wissenschaftlicher Beweis kann jedoch nur vermutet werden, da derartige Untersuchungen bisher nicht existieren. Auf Grund der Studienergebnisse von Schaff et al. (1988), die in einer auftretenden höheren Gesamtkraft an der Fußsohle ebenso eine frühzeitigere Gesamtermüdung und damit höhere Verletzungsgefahr vermuten, sind die Ergebnisse der Studie im Kapitel 4.3 in der Gesamtinterpretation jedoch zu berücksichtigen. Inwieweit sich eine fußmorphologische Veränderung allerdings auf die Fußsensibilität und damit auf skispezifische motorische Bewegungssituationen auswirkt, kann abschließend nicht geklärt werden. Die Studie zur Fußveränderung im Tagesverlauf beim Tragen alpiner Skischuhe sollte im Rahmen der Gesamtbetrachtung aufgestellter Fragestellungen lediglich Grundlagen zur Thematik der passformbeeinflussenden Faktoren liefern. Es wird allerdings deutlich, dass sich daraus weitere bereits angesprochene Problemstellungen ergeben, deren Verbindung zur Beeinflussung der Bewegungsqualität durchaus gegeben ist.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse aller durchgeführten Studien in einem multifaktoriellen Zusammenhang zu sehen, in dem die funktionelle Passform ansatzweise untersucht und mit richtungsweisenden Ergebnissen definiert werden konnte.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Sport allgemein feststellbare Beeinflussung der Leistungsfähigkeit durch das Sportgerät sollte durch die vorliegende Arbeit auch für den alpinen Skisport untersucht werden. Genauer stand dabei die Qualität skispezifischer Bewegungen in Abhängigkeit des Skischuhs im Mittelpunkt, welcher bisher nur vereinzelt als leistungsbeeinflussender Ausrüstungsgegenstand untersucht wurde.

Die vielschichtige Betrachtungsweise zur Beantwortung der Fragestellungen, die durch die im Kapitel 4 durchgeführten Studien operationalisiert wurden, gliedert sich somit in die Reihe bisherig durchgeführter wissenschaftlicher Untersuchungen ein. Bei den insbesondere im Hinblick auftretender Belastungen und zu erwartender Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit durchgeführten Studien, wurde jedoch die Gleichgewichtsfähigkeit noch nicht genauer analysiert. Der in der weiterführenden Betrachtungsweise zu verstehende Forschungsansatz ist insbesondere bezüglich der Vermeidung von Verletzungen zu sehen, da die Studienlage die Gleichgewichtsfähigkeit in unmittelbarem Zusammenhang mit einer Verletzungsprophylaxe ausweist.

In den Resultaten der Einzelstudien kann ein erweiterter Erkenntnisgewinn zu bisherigen Forschungen gesehen werden, durch den grundsätzlich eine Beeinflussung der angesprochenen koordinativen Fähigkeit durch die verwendeten Materialien deutlich wird. Vor allem anhand der im Kapitel 4.1 und 4.2 erhaltenen Studienergebnisse wird dies offenkundig. Der Skischuh nimmt demnach auf Grund seiner Passform Einfluss auf die motorischen Bewegungssituationen. Ein vordergründig in der Leistenbreite schmaler konstruierter Schuh zeigt dabei eine bessere Eignung bei skispezifischen Gleichgewichtsanforderungen, deren Ursache unter anderem in einer verbesserten Fußsensibilität gesehen werden kann. Obwohl die praktische Relevanz der Ergebnisse bezüglich der Gleichgewichtsfähigkeit nur bedingt als gegeben angesehen werden kann und eine Übertragbarkeit auf die Gesamtheit der Skischuhe kritisch betrachtet werden muss, sollten die gewonnenen Erkenntnisse bei der Auswahl eines geeigneten Schuhs berücksichtigt werden.

Als Konsequenz der erhaltenen Resultate ist die Empfehlung eines sportlich orientierten Skischuhs sinnvoll und ergibt sich durch den in der Literatur aufgezeigten Zusammenhang der Gleichgewichtsfähigkeit zu entstehenden Verletzungen als logische Konsequenz. Betrachtet man unter diesem Gesichtspunkt den derzeitigen Trend bei Skischuhen, muss die Frage gestellt werden, ob eine vermehrt komfortablere und damit breitere Leistenform nicht kontraproduktiv ist. Durch Kenntnis der erhaltenen Ergebnisse muss durch die häufig, mit

einer größeren Leistenbreite, angebotenen Skischuhe von einer negativen Beeinflussung der Fahreigenschaften ausgegangen werden.

Entgegen bisheriger Schuhtests, die hauptsächlich auf isolierten subjektiven Empfindungen testender Personen basieren, weisen die Studienergebnisse außerdem deutlich darauf hin, dass derzeit gängige Vorgehensweisen (Stiftung Warentest, 2009) bei Skischuhtests als unzureichend angesehen werden können. Entsprechend der Resultate ist besonders bei der Passformbewertung eine Übertragbarkeit individueller subjektiver Angaben nicht verallgemeinerbar. Bezüglich der bei Produkttests üblich abgefragten Fahr- und Trageeigenschaften ist eine Ergänzung subjektiver Angaben durch biomechanische Daten daher anzustreben.

Wie durch die Arbeit nachgewiesen werden konnte, ist dabei vor allem die Zusammenführung subjektiver und objektiver Bewertungen von wichtiger inhaltlicher Relevanz zukünftiger Testverfahren. Das methodische Vorgehen der durchgeführten Studien kann somit wertvolle Informationen zu zukünftiger Vorgehensweise liefern. Aus wissenschaftlicher Sicht wären durch die in der Arbeit verfolgten Ansätze besonders hinsichtlich der Objektivität erhebliche Vorteile gegeben. Die Prüfung der Anwendbarkeit bedarf jedoch weiterer praktischer Tests und Studien. In der Gesamtbetrachtung zu testender Sportgeräte würde sich den Nutzern eine Vielzahl von Informationen bieten, die in anderen Bereichen der Sportartikelindustrie bereits als Standard angesehen werden können. Die hauptsächlich in der Laufschihtestung angewendeten Prozesse könnten dabei als zielführend gelten, zu denen beispielsweise auch mechanische Tests bezüglich der Materialermüdung auch beim Skischuh mit einbezogen werden sollten.

In Zusammenfassung aller Studienergebnisse müssen jedoch nach wie vor die individuellen Bedürfnisse der skifahrenden Person als ein gewichtender Faktor angesehen werden. Außerdem sollte hervorgehoben werden, dass der Einfluss des Materials auf die Qualität der Bewegungen einer von vielen ist. In der Absicht Leistungen zu verbessern oder Verletzungen zu reduzieren kann eine geeignete Materialauswahl somit nicht als das alleinige heilbringende Kriterium gesehen werden. Ein geeigneter Skischuh kann lediglich einen Beitrag dazu leisten. Auch zukünftig muss sich daher jeder Skifahrer selbst für sein Handeln verantwortlich zeigen, welches insbesondere im Hinblick zu vermeidender Verletzungen eines hohen Pflichtbewusstseins bedarf.

Literaturverzeichnis

- Ahearn, E.P. (1997). The use of visual analogue scales in mood disorders: a critical review. *Journal of Psychiatric Research*, 31, 596 – 597.
- Abe, S. & Jensen, L.R. (2009). Effect of ski boot tightness on shock attenuation time and joint angle with anterior posterior foot positioning drop landings. XXVII. International Society of Biomechanics in Sports Symposium, Limerick, Ireland. Zugriff am 22.September 2012 unter <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/3259/3061>.
- Ageberg, E., Zätterström, R. & Moritz, U. (1998). Stabilometry and on-leg hop test have high test-retest reliability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sport*, 8, 198 – 202.
- Anderson, R.E. & Montgomery, D.L. (1988). Physiology of Alpine Skiing. *Sports Medicine*, 6 (4), 210 – 221.
- Anil, A., Turgut, H.B. & Ulukent, S.C. (1997). An examination of the relationship between foot length, foot breadth, ball girth, height and weight of Turkish university students aged between 17 and 25. *Anthropologischer Anzeiger: Mitteilungsorgan der Gesellschaft für Anthropologie*, 55, 79 – 87.
- Asang, E. & Hauser, W. (1982). Design of Ski Boots and Its Influence on Binding Settings. In W. Hauser, J. Karlsson, M. Magi, (Eds.), *Skiing Trauma and Skiing Saftey 4* (pp. 37 – 42). München: Tüv.
- Ashizawa, K., Kumakura, C., Kusomoto, A. & Narasaki, S. (1997). Relative foot size and shape to general body size in Javanese, Filipinas and Japanese with special reference to habitual footwear types. *Analyse of Human Biology*, 24, 117 – 129.
- Atkinson, G. & Nevill, A.M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26 (4), 217 – 238.
- Au E.Y.L. & Goonetilleke R.S. (2007). A qualitative study on the comfort and fit of ladies' dress shoes. *Applied Ergonomics*, 38, 687 – 696.
- Barber F. (1994) Snow skiing combined anterior cruciate ligament / medical collateral ligament disruptions. *Arthroscopy*, 10, 85 – 89.
- Bauer, C.M., Gröger, I., Rupprecht, R., Tibesku, C.O. & Gassmann, K.G. (2010). Reliabilität der statischen Posturografie bei älteren Personen. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 4, 245 – 248.
- Benvenuti, F., Ferrucci, L., Guralnik, J.M., Gangemi, S. & Baroni, A. (1995). Foot pain and disability in older people. An epidemiologic survey. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43 (5), 479 – 484.
- Benvenuti, F., Bandinelli, S., Benvenuti, E., Ferrucci, L., Gineprari, I. & Mecacci, R., (1997). Test-retest reliability and concurrent validity of a posturographic protocol. *Gait Posture*, 5, 185 – 191.

- Berg, H.E., & Eiken, O. (1999) Muscle control in elite alpine skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31, 1065 – 1067.
- Bernard-Demanze, L., Vuillerme, N., Ferry, M. & Berger, L. (2007). Can tactile plantar stimulation improve postural control of persons with superficial plantar sensory deficit? *Aging Clinical and Experimental Research*, 21 (1), 1 – 7.
- Bland, J.M. & Altman, D.G. (1996). Statistics Notes: Measurement error and correlation coefficients. *British Medical Journal*, 313, 41 – 42.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. *Lancet*, 307 – 310.
- Bonjour, F. & Delouche, G. (1989). Problems encountered in Flex Measurements on Alpine Ski Boots. In R.J. Johnson, C.D. Mote & M.H. Binet (Eds.), *Skiing Trauma and Safety, Seventh International Symposium* (pp. 167-177). Baltimore: American Society for Testing and Materials.
- Bogert van den, A.J., Read, L. & Nigg, B.M. (1999). Analyses of hip joint loading during walking, running, and skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 13, 131 – 142.
- Böhm, H. & Senner, V. (2008). Effect of ski boot setting on tibio-femoral abduction and rotation during standing and simulated skiing. *Journal of Biomechanics*, 41, 498 – 505.
- Bortz, J. & Schuster (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollständig überarbeitete Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Bös, K., Tittelbach, S. Pfeifer, K. Stoll, O. & Woll, A. (Hrsg.). (2001). *Handbuch Motorische Test* (2., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl.). Göttingen: Hogrefe – Verlag.
- Bös, K. & Brehm, W. (2006). *Handbuch des Gesundheitssports* (2., vollständig neu überarbeitete Aufl.). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Brosius, F. (2011). *SPSS 19*. Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH.
- Brown, St.-L. & Wilkinson, J.-G. (1983). Characteristics of national, divisional, and club male alpine ski racers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 15 (6), 491 – 495.
- Brucker, P.U., Spitzenfeil, P., Huber, A., Waibel, K. & Maier, W. (2011). Belastungen und Verletzungen des Kniegelenks im alpinen Ski-Hochleistungssport – Eine Statusquo-Analyse unter spezieller Fokussierung auf das vordere Kreuzband. *Sportorthopädie Traumatologie*, 27 (4), 247 – 254.
- Brüggemann, P., Gattermann, E., Göhner, U., Janda, H., Lampe, L., Mester, J. (1992). Individualisierung der Skitechnik. Grundlage für gesundes, sicheres und freudvolles Skilaufen. In E. Ulmrich (Hrsg.), *Individualisierung der Skitechnik*. Schriftenreihe des Deutschen Skiverbandes, Heft 21, (Seite 25 – 48). München: Deutscher Verband für das Skilehrwesen e.V..
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2000). BAuA Sportunfälle / Unfallverletzungen 2000. Zugriff am 04. Januar 2012 unter www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Statistiken/Unfaelle/HeimFreizeit/2000/Sportunfaelle.html.

- Burtscher, M. & Nachbauer, W., (1999). Verletzungsrisiko österreichischer Skiläufer und Vergleich der Verletzungsmuster von Normal- und Carvingskifahrern. In: Österreichisches Kuratorium für alpine Sicherheit (Hrsg.), *Sicherheit im Bergland – Jahrbuch '99* (Seite 103 – 115), Innsbruck.
- Burtscher, M., Raschner, C., Zallinger, G., Schwameder, H. & Müller, E. (2001). Comparison of cardiorespiratory and metabolic responses during conventional and carving skiing. In E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger. & E. Kornexl (Eds.), *Science and Skiing II* (pp. 553 - 565). Hamburg: Kovac.
- Burtscher, M., Faulhaber, M., Kornexl, E., & Nachbauer, W. (2005). Kardio-respiratorische und metabolische Reaktionen beim Bergwandern und alpinen Skilauf. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 155/7 – 8, 129 – 135.
- Burtschner, M., Konexl, E. & Nachbauer, W. (2008). Alpine Forschungsaktivitäten 06/07. In Grumiller, M. & Märke T.D., (Hrsg.), *Zukunftsplattform Obergurgel* (Seite 68 -71). Innsbruck: Innsbruck University press.
- Cavanagh, P.R., Simoneau, G.G. & Ulbrecht, J.S. (1993). Ulceration, unsteadiness and uncertainty: the biomechanical consequences of diabetes mellitus. *Journal of Biomechanics*, 26, 23 – 40.
- Chalk, P. J., McPoil, T. G. & Cornwall, M. W. (1995). Variations in foot volume before and after exercise. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 85, 470 – 472.
- Chaudhari, M. & Andriacci, T.P. (2006). The mechanical consequences of dynamic frontal plane limb alignment for non-contact ACL injury. *Journal of Biomechanics* 39, 330 – 338.
- Cheskin, M.P. (1987). *The Complete Handbook of Athletic Footwear*. Fairchild Publications, New York.
- Chen, H., Nigg, B.M. & De Koning, J. (1994). Relationship between plantar pressure distribution under the foot and insole comfort. *Clinical Biomechanics*, 9, 335 – 341.
- Corazza, St. & Cobelli, C. (2005). An innovative Ski-Boot: Design, Numerical Simulation and Testing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 229 – 238.
- Cresswell, T. & Mitchell, A. (2009) Testing ski specific balance in Skiers with a specifically designed balance board. Matchfit – Trainingszentrum. Zugriff am 08. Dezember 2011 unter <http://matchfit.org/downloads/BASESposter.jpg>.
- Clair, K.L. & Riach, C. (1996). Postural stability measures: what to measure and how long. *Clinical Biomechanics*, 11 (3), 176 – 178.
- Clark, R.A., Bryant, A.L., Pua, Y., McCroy, P., Bennell, K. & Hunt, M. (2010). Validity and Reliability of the Nintendo Wii Balance Board assessment of standing balance. *Gait & Posture*, 31, 307 – 310.
- Cloughley, W.B. & Mawdsley, R.H. (1995). Effekt of Running on Volume of the Foot and Ankle. *Journal of Orthopädic Sports Physical Therapy*, 22 (4), 151 – 154.
- Cote, P.K., Brunett, M.E., Gansneder, M.B. & Shultz, J.S. (2005). Effects of Pronated and Supinated Foot Postures on Static and Dynamic Postural Stability. *Journal of Athletic Training*, 40 (1), 41 – 46.

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences. Second Edition.* Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Deutscher Verband für das Skilehrwesen e.V., Interski Deutschland (Hrsg.). (2007). *Skilehrplan Praxis* (2. Auflage). München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.
- Demura, S. & Kitabayahi, T. (2008). Power spectrum characteristics of body sway time series and velocity time series of the centre of foot pressure during static upright posture in preschool children. *Sport Sciences for Health*, 3, 27 – 32.
- Dingerkus, M.L. & Mang, A. (2001). Verletzungen und Überlastungen beim Carving *Sportorthopädie Sporttraumatologie*, 17, 213 – 218.
- Donner, M. (2007). *Auswirkung der Carvingstechnik beim Skifahren auf orthopädische Verletzungsmuster und deren Schweregrad.* Dissertation, Universität Würzburg, Medizinische Fakultät.
- Ducret, S., Ribot, P., Vargiolu, R., Lawrence, J. & Midol, A. (2005). Analysis of downhill ski performance using GPS and grounding force recording. In E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, St. Lindinger & H. Schwameder (Eds.), *Science and Skiing III* (pp. 56 - 66). Oxford: Meyer & Meyer Sport (UK).
- Duysens, J., Clarac, F. & Cruse, H. (2000). Load-regulating mechanisms in gait and posture: comparative aspects. *Physiological Review*, 80 (1), 83 - 133.
- Eale, A.S., Moritz, J.R. & Saviers, G.B. (1962). Skiing injuries. *Journal of the American Medical Association*, 180, 285 – 288.
- Ebert, Ch. (2009). Schuhe die die Welt bedeuten. *Skimagazin* 4, 52 – 55. Meinerzhagen: Brinkmann Heinrich Medien GmbH.
- Ebert, Ch. (2010). *Beschreibung und Bewertung der Funktionalität von Sportprodukten.* Dissertation, Technische Universität München, Fakultät Sportwissenschaft.
- Eckdahl, C., Jarnlo, G.B. & Andersson, S. (1989). Standing balance in healthy subjects. Evaluation of a quantitative test battery on a force platform. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 21, 187 – 195.
- Edelsbrunner, H. (1987). Algorithms in Combinatorial Geometry, Volume 10 of EATCS. *Monographs on Theoretical Computer Science.* New York: Springer-Verlag.
- Ettlinger, C.F., Johnson, R. J. & Shealy, J.E. (1995). A Method to Help Reduce the risk of Serious Knee Sprains Incurred in Alpine Skiing. *The American Journal of Sports Medicine*, 23 (5), 531 – 537.
- Fetz, F. (1987). *Sensomotorisches Gleichgewicht im Sport.* Wien: Österreichischer Bundesverlag.
- Fetz, F. (1997). A profile of sensomotorbalance of alpine skiing. In E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl & C. Raschner (Eds.), *Science and Skiing* (pp. 356 – 371). Cambridge: Chapman & Hall Verlag.
- Ferguson, R.A. (2010). Limitation to performance during alpine skiing. *Experimental Physiology*, 95, 404 – 410.

- Fiedén, T., Zätterström, R., Lindstrand, A. & Moritz, U. (1989). A stabilometric technique for evaluation of lower limb instabilities. *The American Journal of Sports Medicine*, 17, (1), 118 – 122.
- Fleiss, J.L. (1986). *The design and analysis of clinical experiments*. New York: Wiley Verlag.
- Florenes, T.W., Nordsletten, S., Heir, R. & Bahr, R. (2011). Recording injuries among World Cup skiers and Snowboarders: a methodological Study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21, 196 – 205.
- Froböse, I., Wilke, C. & Nellesen-Martens, G. (Hrsg). (2010). *Training in der Therapie* (3. Auflage) München: Urban & Fischer Verlag.
- Garrow, A.P., Silman, A. J. & Macfarlane, G. J. (2004). The Cheshire foot pain and disability survey: a population survey assessing prevalence and association. *Pain*, 110 (1-2), 378 – 384.
- Garrick, J.G. & Requa, R.K. (1997) Injury patterns in children and adolescent skiers. *American Journal of Sports Medicine*, 7, 245 – 249.
- Gauffin H., Pettersson, G., Tegner, Y., & Tropp, H. (1990). Function testing in patients with old rupture of the anterior cruciate ligament. *International Journal of Sports & Medicine*, 11, 73 – 77.
- Geldhof, E., Cardon, G., Bourdeaudhuij, D. I., Danneels, L., Coorevits, P., Vanderstraeten, G., & Clercq, D.D., (2006). Static and dynamic standing balance: test-retest reliability and reference values in 9 to 10 year old children. *European Journal of Pediatrics*, 165, 779 – 786.
- Genelin. A., Sperner, G. & Beck, E. (1987). Was bedeutet der hintere Schuhrandbruch im alpinen Skilauf? *Sportverletzung Sportschaden*, 4, 161 – 167.
- Gerland, S. (2004). *Veränderungen der Verletzungsmuster beim alpinen Skilauf durch die Carvingtechnik*. Dissertation Universität Würzburg, Medizinische Fakultät.
- Gläser, H. (2001). Unfälle und Verletzungen im alpinen Skisport. Zahlen und Trends der Saison 2000/2001. München, ASU Ski. Zugriff am 10.09.2011 unter http://www.ski-online.de/xfiles_a6/2006071014032414.pdf.
- Greenman, R.L., Panasyuk, S., Wang, X., Lyons, T.E., Dihn, T., Longoria, L., Giurini, M.J., Freeman, J., Khaodhiar, L. & Veves, A. (2005). Early changes in the skin microcirculation and muscle metabolism of the diabetic foot. *Lancet*, 366, 1711 – 1717.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, E. (2001). *Das neue Konditionstraining* (8. überarbeitete Auflage) München, Wien, Zürich: BLV-Verlag.
- Grouven, U., Bender, R., Ziegler, A., & Lange, S. (2007). Vergleich von Messmethoden. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 132, 69 – 73.
- Goldie, P.A., Bach, T.M. & Evans, O.M. (1992). Force platform measures for evaluation postural control: reliability and validity. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70 (7), 501 – 508.

- Goonetilleke, R. S., Luximon, A. & Tsui, K. L. (2000). The quality of footwear fit: What we know, don't know and should know. *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*. San Diego, USA.
- Häfelinger, U. & Schuba, V. (2007). *Koordinationstherapie – Propriozeptives Training*. (3., überarbeitete Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Hasan, S.S., Robin, D.W., Szurkus, D.C., Ashmead, D.H., Petersin, S.W. & Shiavi, R. G., (1996). Simultaneous measurement of body centre of pressure and centre of gravity during upright stance. Parts I and II: amplitude and frequency data. *Gait and Posture*, 4, 1 – 20.
- Haugen, P., Reid, R., Tjorhom, H., Moger, T., Gilgien, M., Kipp, R. & Smith, G. (2007). Center of mass velocity and the Turn cycle in Slalom. In E. Müller, S. Lindinger, T. Stöggl & V. Fastenbauer (Eds.), *Science and Skiing. 4th International Congress on Science and Skiing. St. Christoph am Arlberg* (p. 155). Salzburg: Universitätsverlag.
- Hauser W. (1989). Experimental prospective skiing injury study. In R.J. Johnson, C.D. Mote Jr. & M.H. Binet (Eds.), *Skiing Trauma and Safety: Seventh International Symposium* (pp. 18 – 24). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Hauser, W. (1997). Neue Aspekte und Trends im Skisport: der Skischuh *Sportorthopädie – Sporttraumatologie*, 13 (4), 203 – 208.
- Hawes, R.M. & Sovak, D. (1994). Quantitative morphology of the human foot in a north American population, *Ergonomics*, 37, 1213 – 1226.
- Haymes, E.M., & Dickinson, L. (1980). Characteristics of elite male and female ski racers. *Medicine and science in sports and Exercise*, 12 (6), 153 – 158.
- Hintermeister, R.A. (1997). What do we know about Super-Sidecut Skies? *Sportverletzung Sportschaden*, 11, 139 – 139.
- Hennig, E. (1993). Biomechanische Testkriterien für Sportschuhe. *Sportverletzung – Sportschaden*, 7, 191 – 195.
- Hertel, J., Gay, M.R. & Denegar, C.R. (2002). Differences in postural control during single-leg stance among healthy individuals with different foot types. *Journal of Athletic Training*, 37, 129 – 132.
- Heller M. & Godlington D. with Kemmler J. & Vorderwulbecke M. (1988) *The complete skiing handbook*. London: Peerage Books.
- Hilz, M.J., Axelrod, F.B., Hermann, K., Haertl, U., Duetsch, M. & Neundörfer, B. (1998). Normative values of vibratory perception in 530 children, juveniles and adults aged 3–79 years. *Journal of the Neurological Science*, 159, 219 – 225.
- Hirtz, A., Hotz, A. & Ludwig, G. (2000). *Gleichgewicht*. Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Hopkins, W.G. (2000). Measure of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30 (1), 1 – 15.
- Hoppeler, H. & Vogt, M. (2007). Eccentric exercise in alpine skiing. In E. Müller, St. Lindinger, & Th. Stöggl (Eds.), *Science and Skiing IV* (pp. 33 - 42). Maidenhead: Verlag Meyer & Meyer Sport.

- Hörterer H. (2005). Carving skiing. *Der Orthopäde*, 34, 426 – 32.
- Huber, M. (2011). So wird ein Stiefel draus. *Skimagazine*, 3, 27 – 29. Meinerzhagen: Brinkmann Heinrich Medien GmbH.
- Hunter, R.E. (1999). Skiing Injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 27, (1), 381 – 388.
- Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Freschi, M., Maffiuletti, N.A., Bizzini, M. & Mognoni, P. (2009). Identification of the physical Characteristics that discriminate between competitive and specialties of alpine skiers. In E. Müller, St. Lindinger, & Th. Stöggl (Eds). *Science and Skiing IV* (pp. 272 – 280). Maidenhead: Verlag Meyer & Meyer Sport.
- Internationaler Arbeitskreis für Sicherheit im Skisport (IAS) (1980). *IAS Richtlinie 150 – Skischuhe für Erwachsene*. München: TÜV.
- Iro, H. & Waldfahrer, F. (Hrsg.) (2011). *Vertigo – Kontroverses und Bewährtes* (8th Henning-Symposium). Wien: Springer – Verlag.
- Issa, S.N. & Sharma, L. (2006). Epidemiology of osteoarthritis: an update. *Current Rheumatology Reports* 8 (1), 7 – 15.
- I-Ware Laboratory's (2005). Infoot USB Version. Zugriff am 6. Dezember 2011 unter <http://www.iwl.jp/main/products.html#scanner>.
- Jais, R. (2005) *Verletzungen im alpinen Skisport unter Berücksichtigung der Entwicklung in der Skitechnologie*. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät für Medizin.
- Janisse, D.J. (1992). The art and science of fitting shoes. *Foot Ankle*, 13, 257 – 62.
- Johnson, R.J., Pope, M.H. (1977). Tibia Shaft fractures in skiing. *The American Journal of Sports Medicine*, 5 (2), 49 – 62.
- Johnson, R.J., Mote, CD. Jr & Binet, M.-H. (1989). Skier Injury Trend. In R.J. Johnson, C.D. Mote & M.H. Binet (Eds), *Skiing Trauma and Safety: Seventh International Symposium, ASTM STP 1022* (pp. 25 – 31). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Johnson RJ, Ettliger CF & Shealy JE (1997). Skier injury trends 1972-1994. In R. J. Johnson, C.D. Mote & A. Ekeland (Eds.), *Skiing Trauma and Safety: 11th Volume, ASTM STP 1289* (pp. 37 – 48). West Conshohocken: American Society Testing Material.
- Johnson, R.J., Ettliger, C.F. & Shealy, J.E. (2000). Update on injury trends in alpine skiing. In R. J. Johnson, C.D. Mote & A. Ekeland (Eds.), *Skiing Trauma and Safety: 13th Volume, ASTM STP 1397* (pp. 108 – 118). West Conshocken: American Society for Testing and Materials.
- Johnson, R.J., Natri, A., Ettliger, C.F. & Shealy, J.E. (2001). Three-Year Study of Carving Skis. In E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger & E. Kornexl (Eds.), *Science and Skiing II* (pp. 529 – 543). Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Johnson, R., Ettliger, C.F. & Shealy J. E. (2009). Myths Concerning Alpine Skiing Injuries. *Sports Health: A multidisciplinary Approach*, 1, 486 – 492.

- Jonsson, E., Seiger, A. & Hirschfeld, H. (2004). One-leg stance in healthy young and elderly adults: a measure of postural steadiness? *Clinical Biomechanics*, 19, 688 – 694.
- Jordan, C., Payton, C.J. & Bartlett, R.M. (1997). Perceived comfort and pressure distribution in casual footwear. *Clinical Biomechanics*, 12, 5 – 11.
- Kahn, J.F., Jouanin, J.C., Espirito-Santo, J. & Monod, H. (1993). Cardiovascular responses to leisure alpine skiing in habitually sedentary middle-aged men. *Journal of Sports Science*, 11 (1), 31 – 36.
- Kallinen, M. & Markku, A. (1995). Aging, physical activity and sports injuries. An overview of common sports injuries in the elderly. *Sports Medicine*, 20 (1), 41 – 52.
- Karlsson, J., Eriksson, A., Forseberg, A., Kjällberg, L. & Tesh, P.A. (1978). *The physiology of alpine skiing*. Park City: United States Ski Coaches Association Press.
- Karlsson, J. (2005). Alpine skiing physiology: retro and prospectus. In E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, St. Lindinger & H. Schwameder (Eds.), *Science and Skiing III* (pp. 24 – 38). Oxford: Meyer & Meyer Sport (UK).
- Karlsson, A. & Frykberg, G. (2000) Correlations between force plate measures of assessment of balance. *Clinical Biomechanics*, 15, 365 – 369.
- Kaufman, K.R., Brodine, S.K., Shaffer, R.A., Johnson, C.W., & Cullison, T.R. (1999). The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *American Journal of Sport Medicine*, 27 (5), 585 – 593.
- Kavounoudias, A., Roll, R. & Roll, J.P. (2001). Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *Journal of Physiology*, 532 (3), 869 – 878.
- Kekoni, J., Hämäläinen, H., Rautio, J. & Tukeva, T. (1989). Mechanical sensibility of the sole of the foot determined with vibratory stimuli of varying frequency. *Experimental Brain Research*, 78, 419 – 424.
- Kennedy, P.M. & Inglis, J.T. (2002). Distribution and behavior of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole, *Journal of Physiology*, 538, (3), 995 – 1002.
- Kistler (2012). Mehrkomponenten- Messplattform. Zugriff am 07. Januar 2012 unter: http://www.kistler.com/mediaaccess/9281E_BP__000-711d-09.10.pdf.
- Kleindienst, F. (2003) *Graduierung funktioneller Sportschuhparameter am Laufschuh – in Bezug auf eine anthropometrische Differenzierung, geschlechtsspezifische und geographische Graduierung*. Dissertation, Deutsche Sporthochschule, Köln.
- Kleindienst, F., Krabbe, B., Walther M. & Brüggemann, G. (2006). Graduierung der funktionellen Sportschuhparameter “Dämpfung” und “Vorfußflexibilität” am Laufschuh. *Sportverletzung Sportschaden*, 20, 19 – 24.
- Kogler, H. (2007). *Kinderskischuhe – Anforderungsprofil und Produktvergleich*. Diplomarbeit, Universität Salzburg, Institut Sport und Bewegungswissenschaft.
- Köhne, G. Kusche, H. Schaller, C. & Gutsfeld, P. (2007). Skiunfälle – Veränderungen seit Einführung des Carvingski. *Sportorthopädie Sporttraumatologie*, 23, 63 – 67.
- Köstler, J. (1969). Der ermüdete Fuß. *Archives orthopädischer Unfall – Chirurgie*, 48, 1 – 3.

- Krauss, I. (2006). *Frauenspezifische Laufschuhkonzeption - Eine Betrachtung aus klinischer, biomechanischer und anthropometrischer Sicht*. Dissertation, Universität Tübingen, Fakultät für Sozial und Verhaltenswissenschaft.
- Krautgasser, S., Scheiber, P., Kröll, J., Ring-Dimitriou, S. & Müller, E. (2007). Recreational alpine skiing – circumstances and requirements for a beneficial physical activity for elderly. In E. Müller, S. Lindinger, T. Stöggl & V. Fastenbauer (Eds.), *Science and Skiing. 4th International Congress on Science and Skiing. St. Christoph am Arlberg* (p. 70). Salzburg: Universitätsverlag.
- Krautgasser, S., Scheiber, P., Kröll, J., Ring-Dimitriou, S. & Müller, E. (2009). Influence of physical fitness on individual strain during recreational skiing in the elderly. In E. Müller, St. Lindinger, & Th. Stöggl (Eds.), *Science and Skiing IV* (pp. 310 – 319). Maidenhead: Verlag Meyer & Meyer Sport.
- Krüger, A., Edelmann-Nusser, J., Spitzenpfeil, P., Huber, A., Waibel, K. – H. & Witte, K. (2006). A direct measuring method for the determination of the edging angle and the ground reaction force in alpine skiing. In proceedings / *XXIV International Symposium in Sports*, ISBS 2006; 1. (S. 284 – 287). Salzburg: Universitätsverlag.
- Konczak, J., Corcos, D.M., Horak, F., Poizner, H., Shapiro, M., Tuite, P., Volkmann, J. & Maschke, M. (2009). Proprioception and Motor Control in Parkinson's Disease. *Journal of Motor Behaviour*, 41 (6), 543 – 552.
- Kouchi, M., Mochimaru, M., Nogawa, H. & Ujihashi, S. (2005). Morphological fit of running shoes: perception and physical measurements. In J. Hamill, E. Hardin, K. Williams (Hrsg.), *Proceedings of the 7th Symposium on Footwear Biomechanics* (pp. 38 – 39), Cleveland, Ohio, USA.
- Kouchi, M., Kimura, M. & Mochimaru, M. (2009). Deformation of foot cross-section shapes during walking. *Gait & Posture*, 30, 482 – 486.
- Kowalzik, R., Hermann, B., Biedermann, H. & Pieper, U. (1996). Two-point discrimination of vibratory perception on the sole of the human foot. *Foot Ankle International*, 17, 629 – 634.
- Kunde, S., Sterzing, T. & Milani, T.L. (2006). Der Einfluss von Körperposition und sportlicher Aktivität auf die Fußdimension. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60 (4), 90 – 93.
- Kunde, S. (2010). *Bewegungswissenschaftliche Objektivierbarkeit von funktionaler Passform am Beispiel des Laufschuhs*. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, Human- und Sozialwissenschaftliche Fakultät.
- Lafond, D., Duarte, M., & Prince (2003). Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment. *Journal of biomechanics* 37, 1421 – 1426.
- Lafontaine, D., Lamontagne, M., Dupuis, D. & Diallo, B. (1998). Analysis of the distribution of pressure under the feet of elite alpine ski instructors. *XVI International Society of Sports Symposium, Konstanz. Zugriff am 14. April 2012 unter <http://www.biomech.uottawa.ca/documents/isbs98dl.pdf>*.
- Lafontaine, D., Lamontagne, M., Dupuis, D. & Diallo B. (1998). Plantar pressure distribution measured during alpine ski turns. *Vlth EMED Scientific Meeting. Brisbane, Australia. Zugriff am 29. Mai 2011 unter http://www.health.uottawa.ca/biomech/lab/docs/emed4_dl.pdf*.

- Lange, J.S., Maiwald, C., Mayer, T.A., Schwanitz, S., Odenwald, S. & Milani, T. L. (2009). Relationship between plantar pressure and perceived comfort in military boots. *Footwear Science*, 1, 30 – 32.
- Leng, J. & Du, R. (2006). ACAD Approach for Designing Customized Shoe Last. *Computer-Aided Design & Application*, 3, 377 – 384.
- Lin, D., Seol, H., Nussbaum, M.A. & Madigan, M.L. (2008). Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. *Gait & Posture*, 28, 337 – 342.
- Loland, S. (2009). Alpine Skiing technique – practical knowledge and scientific analysis. In E. Müller, St. Lindinger & Th. Stöggel (Eds.), *Science and Skiing IV* (pp. 43 – 58). Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Luximon, A., Goonetilleke, R.S. & Tsui, K.L. (2001). A fit metric for footwear customization. *Proceedings of the 2001 World Congress on Mass Customization and Personalization, Hong Kong*. Zugriff am 10. Januar 2010 unter <http://www-ieem.ust.hk/dfaculty/ravi/papers/mcpc.pdf>.
- Machens, P. (2005). *Einfluss eines neuen Konzepts alpiner Skischuhe auf das muskuläre Zusammenspiel im Buckelpisten Skilauf*. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät Medizin.
- Maffiuletti, N. A., Impellizzeri, F., Rampinini, E., Bizzini, M. & Moggi, P. (2006) Letter to the Editors – Is Aerobic Power Really Critical for Success in Alpine Skiing? *International Journal Sports Medicine*, 27, 166 – 167.
- Maiwald, C. (2008). *Der Zusammenhang zwischen plantaren Druckverteilungsdaten und dreidimensionaler Kinematik der unteren Extremität beim Barfußlauf*. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, Philosophische Fakultät.
- Magnusson, M., Enbom, H., Johansson, R. & Pyykkö, I. (1990). Significance of pressure input from the human feet in anterior-posterior control. *Acta Otolaryngol*, 110, 182 – 188.
- Malliou, P., Amoutzas, K., Theodosiou, A., Gioftsidou, A., Mantis, K., Pyliandis, T. & Kioumourtzoglou, E. (2004). Proprioceptive Training for learning Downhill Skiing. *Perceptual and Motor Skills*, 99, 149 – 154.
- Malzer, K., Sauerwein, E. & Stark, C. (2009). Methoden zur Identifikation von Basis-Leistungs- und Begeisterungsfaktoren. In H.H. Hintergruber, & K. Malzer, (Hrsg.), *Kundenorientierte Unternehmensführung* (S. 321 – 335). Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Markens, J. C. (2001). A Ski-industrie Challenge. Sagepub. Zugriff am 21. Dezember 2011 unter <http://cpx.sagepub.com/content/42/3/74.citation>.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1991). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hoffmann-Verlag.
- Mathelitsch, L. & Thaller, S. (2006). Kräftespiel auf der Piste. *Physik in unserer Zeit*, 37, 41 – 44.

- Mauch, M. (2007). *Kindliche Fußmorphologie - Ein Typisierungsansatz zur Erfassung der dreidimensionalen Fußform im Kindesalter*. Dissertation Technische Universität Chemnitz, Philosophische Fakultät.
- Maurer, C., Mergner, T., Bolha, B. & Hlavacka, F. (2000). Vestibular, visual, and somatosensory contributions to human control of upright stance. *Neuroscience*, 281, 99 – 102.
- Maurer, C., Mergner, T. & Peterka, R.J. (2004). Abnormal resonance behaviour of the postural control loop in Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*, 157, 369 – 376.
- Maxwell, E.M. & Hull, M.L. (1989). Measurement of strength and loading variables on the knee during alpine skiing. *Journal of Biomechanics*, 22, 609 – 624.
- McWorther, J.W., Wallmann, H., Landers, M. Altenburger, B., LaPorta-Krum, L. & Altenburger, P. (2003). The effects of walking, running, and shoe size on foot volumetries. *Physical Therapy in Sport*, 4, 87 – 92.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2004). *Bewegungslehre Sportmotorik* (10., durchgesehene und aktualisierte Aufl.). München: Südwest Verlag.
- Mester, J. (1997). Movement Regulation in alpine skiing. In E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl & C. Raschner (Eds.), *Science and Skiing* (pp. 333 – 348). Cambridge: Chapman & Hall Verlag.
- Menz, H.B. & Morris, M.E. (2005). Footwear characteristics and foot problems in older people. *Gerontology*, 51, 346 – 351.
- Meyer, P.F., Oddsson, L.I. & De Luca, C.J. (2004). Reduced plantar sensitivity alters postural responses to lateral perturbations of balance. *Experimental Brain Research*, 157 (4), 526 – 536.
- Michel, F.I., Kälin, X., Metzger, A. & Campe, S. (2009). Wahrnehmung und Kundennutzen des funktionellen Sportschuhparameters "Torsion" am Laufschuh. *Orthopädieschuhtechnik*, 5, 24 – 30.
- Milani, Th.L., Kimmeskamp, S. & Hennig, E.M. (1997). Zusammenhang von biomechanischen Parametern und subjektiver Belastungswahrnehmung in Laufschuhen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 48, 139 - 144.
- Mildner, E. Raschner, C., Lember, S., Patterson, C. & Märzendorfer, P. (2007). Influence of ski boots and balance performance and intermuscular coordination. In E. Müller, S. Lindinger, T. Stöggl & V. Fastenbauer (Eds.), *Science and Skiing. 4th International Congress on Science and Skiing. St. Christoph am Arlberg* (p. 133). Salzburg: Universitätsverlag.
- Mildner, E., Lember, S. & Raschner, C. (2010). Einfluss des Skischuhs auf das Gleichgewichtsverhalten. *Sportverletzung Sportschaden*, 24, 31 – 35.
- Mitchell, P.D. & Mitchell, TN. (2000). The age-dependent deterioration in light touch sensation on the plantar aspect of the foot in a rural community in India: implications when screening for sensory impairment. *Journal Leprosy Review*, 71, 169 – 178.

- Moholkar, K. & Fenelon, G. (2001). Diurnal variations in volume of the foot and ankle. *The Journal of Foot & Ankle Surgery*, 40, 302 – 304.
- Mössner M., Nachbauer W. & Schindelwig K. (1997). Einfluss der Skitailierung auf Schwungradradius und Belastung. *Sportverletzung Sportschaden*, 11, 140 – 150.
- Müller, E. (1986): *Biomechanische Analyse alpiner Skilauftechniken*. Innsbruck: Inn-Verlag.
- Müller, E., Raschner, C. & Schwameder, H. (2002). Biomechanics and training in elite alpine ski racing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34 (5), 104.
- Müller, E. & Schwameder, H. (2003) Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-Jumping. *Journal of Sports Sciences*, 21, 679 – 692.
- Müller, O., Günther, M., Krauß, I., & Horstmann L. (2004). Physikalische Charakterisierung des Therapiegerätes Posturomed als Messgerät – Vorstellung eines Verfahrens zur Quantifizierung des Balancevermögens. *Biomedizinische Technik*, 49, 56 – 60.
- Müller, E., Schiefermüller, C., Kröll, J. & Schwameder, H. (2005). Skiing with carving skis – what is new. In E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, St. Lindinger & H. Schwameder (Eds.), *Science and Skiing III* (pp 15 - 23). Oxford: Meyer & Meyer Sport (UK).
- Mündermann, A., Stefanyshyn, J.D. & Nigg, B.M. (2001). Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (11), 1939 – 1945.
- Mündermann, A., Nigg, B.M., Stefanyshyn, D.J. & Humble, R.N. (2002). Development of a reliable method to assess footwear comfort during running. *Gait Posture*, 16, 38 – 45.
- Mündermann, A. Wakeling, J.M., Nigg, B.M., Neil-Humble, R. & Stefanyshyn, D.J. (2004). Foot orthoses affect frequency components of muscle activity in the lower extremity. *Gait & Posture*, 23, 295 – 302.
- Murray M.P., Seireg, A. & Scholz, R.C. (1967). Centre of gravity, centre of pressure and supportive forces during human activities. *Journal of Applied Physiology*, 23, 831 – 838.
- Nachbauer, E. (1986). *Fahrlinie und Belastungsverlauf bei Torlauf und Riesentorlauf*. Dissertation. Universität Innsbruck.
- Nácher, B., Alemany, S., González J.C., Alcántara, E., García-Hernández, J. S., Heras, S. & Juan. A. (2006). A Footwear Fit Classification Model Based on Anthropometric Data. Zugriff am 22. November 2011 unter: <http://ebookbrowse.com/juan06-07a-pdf-d135949789>.
- Nashner L.M. (2001). Computerized dynamic posturography. In J.A. Goebel (Ed.), *Practical management of the dizzy patient* (pp. 143 – 170). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Natri, A., Järvinen, M., Kannus, P., Niittymäki, S., Aarnio, J. & Lindholm, T.S. (1995). Changing injury pattern of acute anterior cruciate ligament tears treated at Tampere University Hospital in the 1980s. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sport*, 5, 100 – 1004.

- Natri, A., Beynmon, D.B., Ettlinger, C.F., Johnson, R.J. & Shealy, J.E. (1999). Alpine Ski Bindings and Injuries. *Sports Medicine*, 28 (1), 35 – 48.
- Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G., & Rass, E. (2003). Physical and Physiological Factors Associated with Success in Professional Alpine Skiing. *International Journal of Sports Medicine*, 24, (8), 571 – 575.
- Niessen, W., Müller, E., Raschner, C. & Schwameder, H. (1997). Structural dynamic analysis of alpine skis during turn. In E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl & C. Raschner (Eds), *Science and skiing* (pp. 216 – 225). Cambridge: Chapman & Hall Verlag.
- Niessen, W., Müller, E., Wimmer, M.A., Schwameder, H. & Riepler, B. (1998). Force and moment measurements during alpine skiing depending on height position. *XVI. International Society of Biomechanics in Sports Symposium, Konstanz*. Zugriff am 12. März 2012 unter <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/viewFile/1542/1448>.
- Nigg, B.M., van den Bogert, A.J., Read, L. & Reinschmidt, C. (1997). Load on the locomotor system during skiing. A biomechanical perspective. In E Müller, H. Schwameder, E. Kornexl & C. Raschner (Eds), *Science and skiing* (pp. 27 – 35). Cambridge: Chapman & Hall Verlag.
- Nigg, B.M., Nurse, M.A. & Stefanyshyn, D. J. (1999) Shoe inserts and orthotics for sport and physical activity. *Medicine Science in Sports Exercise*, 31 (7), 421 – 428.
- Nigg, B.M. (2001). The Role of impact force and Foot Pronation: A new Paradigm. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 11, 2 – 9.
- Noé, F. & Pillard, T. (2005). Is postural control affected by expertise in alpine skiing? *British Journal of Sports Medicine*, 39, 835 – 837.
- Noé, F., Amarantini, D. & Pillard, T. (2009). How experienced alpine Skiers cope with restrictions of ankle degrees of freedom when wearing ski boots in postural exercises. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19, 341 – 346.
- Normenausschuss Sport- und Freizeitgeräte (2006). *DIN ISO 5355 2006 – 05 Skischuhe für den Pistenskilauf – Anforderungen und Prüfungsverfahren*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Noddeland, H. & Winkel, J. (1988). Effects of leg activity and ambient barometric pressure on foot swelling and lower-limb skin temperature during 8h of sitting. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 409 – 414.
- Nurse, M.A. & Nigg, B.M. (1999). Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distribution during gait. *Clinical Biomechanics*, 14, 667 – 672.
- Nurse, M.A. & Nigg, B.M. (2001). The Effect of Changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clinical Biomechanics*, 16, 719 – 727.
- Pernitsch, H. & Staudacher, A. (1998) *Konditionstraining im alpinen Skirennlauf*. Innsbruck: ÖSV Verlag.
- Perry, S.D., McIlroy, W.E. & Maki, B.E. (2000) The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control of compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multidirectional perturbation. *Brain and Research*, 877, 401 – 406.

- Perry, S.D. (2006). Evaluation of age-related plantar-surface insensitivity and onset age of advanced insensitivity in older adults using vibratory and touch sensation tests. *Neuroscience Letters*, 392, 62 – 67.
- Petersen, J. (1990). Rehabilitation und Dokumentation nach Kreuzbandverletzungen. *Krankengymnastik*, 42 (1), 15 – 24.
- Petrone, N., Marcolin, G., Centofante, E. & Atzori, B. (2010). Analysis of the structural behaviour of an innovative reinforced Ski boot. *Procedia Engineering*, 2, 2599 – 2604.
- Pinter, M., Eckelt, M. & Schretter, H. (2010). Evaluation of Ski boot fitting Characteristics by means of different Pressure distribution measurements. *Procedia Engineering*, 2, 2875 – 2880.
- Paletta G., Levine D. & O'Brien, S. (1992). Patterns of meniscal injury associated with acute anterior cruciate ligament injury in skiers. *American Journal of Sports Medicine*, 20, 542 – 547.
- Prätorius. B., Kimmeskamp, S. & Milani, T.L. (2003). The sensitivity of the sole of the foot in patients with Morbus Parkinson. *Neuroscience Letter*, 346, 173 – 176.
- Pressman, A. & Johnson, D.H. (2003). A Review of Skiing Injuries Resulting in Combined Injury to the Anterior Cruciate Ligament and Medial Collateral Ligaments. *The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 19 (2), 194 – 202.
- Prieto, T.E., Myklebust, J.B. & Myklebust, B.M. (1993). Characterization and modelling the postural steadiness in the elderly: a review. *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*, 1, 26 – 34.
- Pinsault, N. & Vuillerme, N. (2008). Test-retest reliability of centre of foot Pressure measures to assess postural control during unperturbed stance. *Medical Engineering & Physics*, 31, 276 – 286.
- Raschner, C., Schiefmüller, C., Zahlinger, G., Müller, E. & Hover, E. (2001). Biomechanische Analyse der Carvingstechnik als Grundlage modifizierter Trainingsmethoden in der konditionellen Vorbereitung alpiner Ski- und Skirennläufer, *Spektrum der Sportwissenschaften, Supplement*, 91 – 97.
- Raschner, C., Lemberg, S., Platzer, H.-P., Patterson, C., Hilden, T. & Lutz, M. (2008). S3 – Check – Evaluierung und Normwertenerhebung eines Tests zur Erfassung der Gleichgewichtsfähigkeit und Körperstabilität. *Sportverletzung Sportschaden*, 22, 100 – 105.
- Räty, H.P., Impivaara, O. & Karppi, S.L. (2002). Dynamic balance in former elite male athletes and in community control subjects. *Scandinavian Journal of Medicine & Sports*, 12, 111 – 116.
- Raymakers, J.A., Samson, M.M. & Verhaar, L. (2005). The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait and Posture* 21, 48 – 58.
- Reinschmidt, C. & Nigg, B.M. (2000). Current Issues in the Design of Running and Court Shoes. *Sportverletzung Sportschaden*, 14, 81 – 91.

- Richter, M. & Schäfer, K. (2009). Der deutsche Fußreport. Prüf- und Forschungsinstitut Pimasens, *interne Schulungsunterlagen*, International Shoe Center Pirmasens. 26. März 2009.
- Rieder, M. & Seitz, U. (1998) *Rahmentrainingsplan Ski alpin*, DSV Trainerschule.
- Rieder, M & Fiala, M. (2003). *Skiers Fitness Konditionstraining im Skisport*. Aachen: Mayer und Mayer Verlag.
- Riemann, B.L., Guskiewicz, K.M. & Schields, E.W. (1999). Relationship between clinical and forceplate measures of postural stability. *Journal of Sports Rehabilitation*, 8, 71 – 82.
- Robbins, S., Waked, E., Grouw, G.J. & McClaran, J. (1994). Athletic Footware affects balance in men. *British Journal of Sports Medicine*, 28 (2), 117 – 122.
- Robbins, S.E. & Waked, E. (1997). Balance and vertical impact in sports: role of shoe sole materials. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 78, 463 – 467.
- Robold, A. (Hrsg.). (1995). *Krankheitslehre Band 2*. (1., unveränderter Nachdruck der 3. Aufl.). Regensburg: Robold Verlag.
- Rosenhagen, C. (2009). Quantitative assessment of physical activity during leisure alpine skiing. In E. Müller, St. Lindinger & Th. Stöggl (Eds.), *Science and Skiing IV* (pp. 439 - 443). Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Rossi, W.A. & Tennant, R. (1984). *Professional Shoe Fitting*. New York: Orthotic Footwear Association.
- Rössler, H. & Rütger, W. (2007). *Orthopädie und Unfallchirurgie* (19., durchgesehene Aufl.). München: Urban & Fischer Verlag.
- Rutgers (2012). Lage der Mechanorezeptoren. Zugriff am 23. Mai 2012 unter http://www.rci.rutgers.edu/~uzwiak/AnatPhys/ChemicalSomaticSenses_files/image020.jpg.
- Ružić, L., Petračić, T. & Radenović, O. (2011). The Relationship between the field and the laboratory balance tests and skiing performance. *Hrvatska Športskomed. Vjesn.*, 26, 52 – 57.
- Samson, M. & Crowe, A. (1996). Intra-subject inconsistencies in quantitative assessments of body sway. *Gait Posture*, 4, 252 – 257.
- Saibene, F., Cortili, G., Gavazzi, P. & Magistri, P. (1985). Energy sources in alpine Skiing (giant slalom). *European Journal of Applied Physiology*, 53, 312 – 316.
- Schaff, P. & Hauser, W. (1987). Druckverteilungsmessung am menschlichen Unterschenkel im Skischuh. *Sportverletzung Sportschaden*, 3, 118 – 129.
- Schaff, P., Kulot, M., Hauser, W. & Rosenmeyer, B. (1988). Einflussfaktoren auf die Druckverteilung unter der Fußsohle. *Sportverletzung Sportschaden*, 2, 164 – 171.
- Schaff, P. & Hauser, W. (1989). Skischuh versus Kniegelenk Teil 2: Was bewirkt die Vorlageposition im Skischuh. *Sportverletzung Sportschaden*, 4, 1 – 13.

- Schaff, P. & Hauser, W. (1990). Skischuh vs. Kniegelenk Teil 3: Die Risikosituation Rückwärtsfall. *Sportverletzung Sportschaden*, 4, 151 – 162.
- Schaff, P. & Olbert, W. (1996). Der Einfluss der Sprunggelenksbeweglichkeit auf die Plantarbelastung beim Buckelpisten-Skifahren. *Sportorthopädie Sporttraumatologie*, 12 (1), 51 – 54.
- Sharma, L., Song, J., Felson, D.T., Cahue, S., Shamiyeh, E. & Dunlop, D.D. (2001). The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *The Journal of the American Medical Association*, 286, 188 – 195.
- Scheiber, P., Krautgasser, S., Kröll, J., Lendl-Kurkowski, E. & Müller, E. (2009). Guidet Alpine Skiing – Physiological demands on elderly recreational Skiers. In E. Müller, St. Lindinger & Th. Stöggl (Eds.), *Science and Skiing IV* (pp. 445 – 453). Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Scheiber, P., Krautgasser, S., von Duvillard, S.P. & Müller, E. (2009). Physiological demands on elderly recreational Skiers to different skiing modes. *European Journal of applied Physiology*, 105, 551 – 558.
- Scherr, J., Geisler, U., Waibel, K.-H., Blume, B., Maier, W., Halle, M. & Wolfahrt, B. (2011). Physiologische Einflussfaktoren im alpinen Skirennlauf. *Sportorthopädie Sporttraumatologie*, 10, 8 – 14.
- Schlee G, Sterzing, T. & Milani T.L. (2007) Influence of footwear on foot sensitivity: a comparison between barefoot and shod sports. XXV International symposium on biomechanics in sports, Ouro Preto, Brazil. Zugriff am 23.November 2012 unter <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/461/401>.
- Schlee, G., Sterzing, T. & Milani, T.L. (2009a) Effects of Footware on plantar foot sensitivity: a study with Formular 1 shoes. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 305 – 309.
- Schlee, G., Sterzing, T. & Milani, T.L. (2009b). Foot Sole skin temperature affects plantar foot sensitivity. *Clinical Neurophysiology*, 120, 1548 – 1551.
- Schlee, G., Milani, Th.L., Sterzing, T. & Oriwol, D. (2009c). Short-time lower leg ischemia reduces plantar foot sensitivity. *Neuroscience Letters*, 462, 286 – 288.
- Schmidt, R.F., Lang, F. & Thews, G. (2004). *Physiologie des Menschen* (29., vollständig neu bearbeitete und aktualisierte Auflage). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (2003). *Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf* (3., neubearbeitete Aufl.). München: Sportverlag Berlin.
- Schnabel, G., Harre, D. & Krug, J. (2008). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft: Leistung – Training – Wettkampf*. Achen: Meyer & Meyer.
- Schneider, F (2006). *Korpuskuläre und enkapsulierten Nervenendigungen im Bereich der Fußsohle des Menschen*. Dissertation, Universität Würzburg, Orthopädische Klinik und Poliklinik.
- Schreier, W. (2005). Passgerechte Schuhversorgung muss Fußvielfalt berücksichtigen. *Orthopädieschuhtechnik*, 9, 12 – 16.

- Schulz, D. (2011). Unfälle und Verletzungen im alpinen Skisport. Zahlen und Trends der Saison 2009/2010. München, ASU Ski. Zugriff am 10.09.2011 unter http://www.ski-online.de/xfiles_a6/1291724839_7.pdf.
- Schubert, C., Oriwol, D. & Sterzing, T. (2011). Gender and age related requirements of running shoes: a questionnaire on 4501 runners. In Proceedings of the Tenth Footwear Biomechanics Symposium (Tübingen, Germany) (Bd. 3, S. S148–S150). Footwear Science.
- Schwindelig, K. (2004). *Biomechanische Belastungsanalyse im alpinen Skilauf*. Dissertation, Universität Innsbruck, Geisteswissenschaftliche Fakultät.
- Seifert, J.G., Luetmemeier, M.J., White, A.T., Mino, I. M. & Miller, D. (2001). Fluide Balance during slalom training in the elite collegiate alpine ski racers. In E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger & E. Kornexl (Eds.), *Science and Skiing II* (pp. 633 - 638). Hamburg: Kovac.
- Seifert, J. G. (2009). Cumulative muscle fatigue during recreational skiing. In E. Müller, St. Lindinger, & Th. Stöggl (Eds.), *Science and Skiing IV* (pp. 465 – 477). Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Senner, V., Schaff, P., Bubb, H. & Ehrlenspiel, K. (1995). Der Rückwärtsfall im alpinen Skilauf. *Sportverletzung Sportschaden*, 9, 109 – 117.
- Senner, V. (2001). *Biomechanische Methoden am Beispiel der Sportgeräteentwicklung*. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen.
- Sharma, L., Song, J., Felson, D.T. , Cahue, S., Shamiyeh, E. & Dunlop, D.D. (2001). The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *The Journal of the American Medical Association*, 286, 188 – 195.
- Shealy, J.E. & Ettliger, C.F. (1987). The In-Boot Fracture. In C.D. Mote & R.J. Johnson (Eds.), *Skiing Trauma and Safety*, Sixth International Symposium. (pp. 113-127). Baltimore: American Society for Testing and Materials.
- Shealy, J., Ettliger, C. & Johnson R. (2005). How fast do winter sports participants travel on alpine slopes? *Journal of ASTM international*, 2, 1 – 8.
- Shumway-Cook, A., Woollacott, M. (2007). *Motor Control: Translating research into clinical practice*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Soltmann, J. (2005). *Verletzungen im alpinen Skisport unter Berücksichtigung der Entwicklung in der Skitechnologie*. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät für Medizin.
- Sperner, G., Genelin, A., Golser, K., Resch, H. & Beck, E. (1989). Das Verletzungsmuster des Sprunggelenks im Skischuh – eine retrospektive Analyse. *Sportverletzung Sportschaden*, 3, 162 – 166.
- Speers, R.A., Kuo, A.D. & Horak, F.B. (2001). Contributions of altered sensation and feedback responses to changes in coordination of postural control due to aging. *Gait & Posture*, 16 (1), 20 – 30.
- Spitzenpfeil, P. & Mester J. (1997). Carving und Fahrtechnik – Aspekte der biologischen Regulation. *Sportverletzung Sportschäden*, 11, 134 – 136.

- Spitzenpfeil, P. (2000). *Vibrationsbelastungen im alpinen Skirennlauf: Analyse – Simulation – Training*. Dissertation, Technische Universität München.
- Spitzenpfeil, P., Lipfert, S., Gaebe, M., Waibel, K.H., Burger, S. & Hartmann, U. (2006). Causes and consequences of overbalance in alpine ski racing – a qualitative Video analysis since 1994. In E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, St. Lindinger & H. Schwameder (Eds.), *Science and Skiing III* (pp. 195 - 204). Oxford: Meyer & Meyer Sport (UK).
- Steinbrück, K. (1999). Epidemiologie von Sportverletzungen – 25-Jahres Analyse einer sportorthopädisch - traumatologischen Ambulanz. *Sportverletzung – Sportschaden*, 13, (2), 38 – 52.
- Sterzing, T., Beierle, T., Uttendorf, M. & Henning, E. (2006) *Der Fuß als sensorisches Organ – Reizschwellen der Druck und Vibrationssensorik*. 7. Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft, Bad Sassendorf.
- Sterzing, T. (2007). *Der Einfluß des Fußballschuhs auf die Schußgeschwindigkeit beim Vollspannstoß*. Dissertation. Universität Duisburg - Essen. Fachbereich Bildungswissenschaft, Sport und Bewegungswissenschaft.
- Sterzing, T., Kunde, S., Scholz, F. & Milani, T.L. (2008). Soccer Shoes reduce foot sensitivity compared to barefoot for external vibrations stimuli. Zugriff am 02. August unter <http://www.asbweb.org/conferences/2008/abstracts/29.pdf>.
- Stick, C., Stöfen, P. & Witzleb, E. (1985) On physiological edema in man`s lower extremity. *European Journal of Applied Physiology*, 54, 442 – 449.
- Stick, C., Jaeger, H. & Witzleb, E. (1992). Measurements volume changes and venous pressure in the human lower leg during walking and running. *Journal of Applied Physiology*, 81, 2063 – 2068.
- Stick, C., Hiedl U. & Witzleb, E. (1993) Measurements volume changes and venous pressure in the human lower leg during walking and running. *Journal of Applied Physiology*, 66, 427 – 433.
- Stiftung Warentest (2009). Fit für die Piste. *Stiftung Warentest 11/2009*, 80 – 97. Berlin: Stiftung Warentest.
- Tesch, P., Larsson, L., Eriksson, A. & Karlsson, J. (1978) Muscle glycogen depletion and lactate concentration during downhill skiing. *Medicine and science in Sports*, 10 (2), 85 – 90.
- Tesch, P.A. (1995). Aspects of muscle properties and use in competitive alpine skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27, 310 – 314.
- Tiwald, H. (1995). Mathias Zdarsky und Hannes Schneider. Artikel zum hundertjährigen Jubiläum des alpinen Skilaufs. Zugriff am 22.9.2010 unter http://www.tiwald.com/ski/zdarsky_schneider.doc.
- Tutz, M. (2003). Biomechanische Grundlage des Carvens. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*, 4, 6 – 10.

- Thiel, C., Rosenhagen, A., Roos, L., Huebscher, L., Vogt, L. & Banzer, W. (2007). Physiologic characteristics of leisure alpine Skiing and Snowboarding. In E. Müller, St. Lindinger & Th. Stöggl (Eds.), *Science and Skiing IV* (pp. 516 – 521). Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Tsai, L.C., Yu, B.Y., Mercer, V.S. & Gross, M. (2006). Comparison of different Structural Foot Types for Measure of Standing Postural Control. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy*, 36 (12), 942 – 953.
- Tsung, B.S., Zhang, M., Fan, Y.B. & Boone, D.A. (2003). Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing conditions. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 40, 517 – 526.
- Vater, H.H. (2003). *Kardiorespiratorische und metabolische Kenngrößen alpiner Skiläufer während erschöpfender Spiroergometrie, maximaler Schnelligkeitsausdauerbelastung und spezifischem Winkelsprungtest*. Dissertation, Universität Gießen, Institut Humanmedizin.
- Van der Putten, E.P. & Snijders C.J. (2001). Shoe design for prevention of injuries in sport climbing. *Applied Ergonomics*, 32, 379 – 387.
- Van Deursen, R.W.M., Cavanagh, P.R., Van Ingen, J., Schenau, G. J., Becker, M. B. & Ulbrecht, J. S. (1998). The role of cutaneous information in contact control tasks of the leg in humans. *Human Movement Science*, 17, 95 – 120.
- Veicsteinas, A., Ferretti, G., Margonato, V., Rosa, G., & Tagliabue, D. (1984). Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. *Journal of Applied Physiology*, 56 (5), 1187 – 1190.
- Vodickova, S. & Zubek, T. (2006). Ski load during parallel and carving Turn performance. *XXIV International Society of Sports Symposium, Salzburg, Austria*. Zugriff am 04. Juli 2012 unter <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/115/78>.
- Vogt, M., Rickli, S., Städler, R., Bartsch, D., Spring, H., & Hoppeler, H. (2000). Blutlaktatbestimmungen zur Trainingssteuerung im alpinen Skirennensport. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Traumatologie*, 48 (4), 146 – 152.
- Walther, M. & Grosse, V.(2006). Vorfußdämpfung im Sicherheitsschuh – eine prospektive Studie in der Automobilindustrie. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie. Mit Beiträgen zur Umweltmedizin*, 56, 312 – 321.
- Walther, M. & Mayer, B. (2008). Aktuelle Trends in der Sportschuhentwicklung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59, 12 – 16.
- Walkhoff, K. & Baumann, C.W. (1987). Alpine Ski Boot Hysteresis Characteristics Interpreted for Skier Target Groups Within the Current Standards. In C.D. Mote & R.J. Johnson (Eds.), *Skiing Trauma and Safety: Sixth International Symposium* (pp. 127 – 144). Baltimore: American Society for Testing and Materials.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training* (16., durchgesehene Aufl.). Balingen: Spital Verlag.
- White, A.T. & Johnson, S.C. (1991) Physiological Comparison of International, national and Regional Alpine Skiers. *International Journal Sports Medicine*, 12 (4), 374 – 378.

- White, A.T. & Johnson, S.C. (1993). Physiological aspects and injury in elite Alpine skiers. *Sports Medicine*, 15, (3), 170 – 178.
- Wilke, C., Biallas, B. & Wallmann, B. (2004). Berichte zum Projekt am Zentrum für Gesundheit der Sporthochschule Köln: Erfassung ergonomischer Aspekte von Sportgeräten. Zugriff am 22. November 2010 unter www.zfg-koeln.de.
- Winston, J., Warme, W., Feagin, J., King, P., Kenneth, P., Lambert, L. & Cunningham, R. (1995). Ski injury statistics, 1982-1993, Jackson Hole Ski Resort. *American Journal of Sports Medicine*, 23 (5), 597 – 600.
- Winter, D.A. (1995). Human Balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3, 193 – 214.
- Witte, H. & Recknagel, S. (1997). Ist die indirekte Posturographie mittels Kraftmessplatten der direkten Posturographie durch Bewegungsanalyse gleichwertig? Eine physikalische Betrachtung. *Biomedizinische Technik* 42, 10, 280 – 283.
- Wölfel, R., Köhne, G., Schaller, C., Gerland, S. & Walter, M. (2003). Gefahren beim Carvingskifahren. *Sportverletzung Sportschaden*, 17, 132 – 136.
- Wunderlich, R.E. & Cavanagh, P.R. (2001). Gender differences in adult foot shape: Implications for shoe design. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (4), 605 – 611.
- Xiong, S., Goonetilleke, S.R., Zaho, J., Wenyan, L. & Witana, P.C. (2009). Foot deformations under different load-bearing conditions and their relationship to stature and body weight. *Anthropological Science*, 117 (2), 77 – 88.
- Young, L.R. (1982). Skier Fall and Injury Patterns. In W. Hauser, J. Karlsson, & M. Magi (Eds.), *Skiing Trauma and Skiing Safety* 4 (pp. 217 – 226). München: TÜV.
- Zätterström, R., Fridén, T., Lindstrand, A. & Moritz, U. (1994). The effect of physiotherapy on standing balance in chronic anterior cruciate ligament insufficiency. *American Journal of Sports Medicine*, 22, 531 – 536.
- Zhang, L., Helander, M. G. & Drury, C. G. (1996). Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 38 (3), 377 – 389.

Anhang 1: Einwilligungserklärung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

STUDIE AUSWIRKUNGEN DER PASSFORM ALPINER SKISCHUH AUF SKISPEZIFISCHE MOTORISCHE BEWEGUNGSSITUATIONEN

Einwilligungserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich über Studienziele, Studienablauf sowie Studiendauer, Messzeitpunkte, Datenerhebung und dem Nutzen der Studie aufgeklärt wurde.

Die Teilnehmerinformation habe ich gelesen und verstanden. Ich bin überdies durch Robert Hecht über den Zweck, den Ablauf, die Bedeutung sowie die Vorteile und Risiken, die mit der Studie verbunden sein können, ausführlich und verständlich mündlich aufgeklärt worden. Alle meine Fragen sind zu meiner Zufriedenheit beantwortet worden. Ich habe eine Kopie der Teilnehmerinformation und Einwilligungserklärung ausgehändigt bekommen. Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zur Studienteilnahme zu überdenken und frei zu treffen.

Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an der Studie zurückziehen kann (mündlich oder schriftlich), ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ich erkläre mich bereit, an der o. g. Studie freiwillig teilzunehmen.

Vereinbarung zum Haftungsausschluss:

Eine Haftung wird lediglich für vorsätzliches und grob fahrlässiges Fehlverhalten übernommen. Für höhere Gewalt und von dem Teilnehmer selbst verschuldete Unfälle innerhalb und außerhalb der Räumlichkeiten, auch auf den Zugängen und Zuwegen, haftet weder die Technische Universität Chemnitz noch die von ihr mit der Aufsicht beauftragten Personen. Dies gilt auch für sonstige Gefahren, die trotz Einhaltung der üblichen Sorgfalt nicht sofort erkannt werden können.

Die Benutzung von den Versuchsgeräten, an die ich zuvor eingewiesen wurde, erfolgt auf eigene Gefahr, unbeschadet der Verpflichtung der Technischen Universität Chemnitz, diese in einem verkehrssicherem Zustand zu erhalten.

Ich bin darauf hingewiesen worden, dass ich auf dem Weg von und zum Kursort nicht unfallversichert bin.

Teilnehmer/in (Name, Vorname in Druckbuchstaben)

__ . __ . ____
Geb.-Datum

Ort, Datum

Unterschrift

Ich habe das Aufklärungsgespräch geführt und die Einwilligung des Teilnehmers eingeholt.

Projektleiter (Name in Druckbuchstaben): _____

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang 2: Datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

Datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung

Mir ist bekannt, dass bei der Studie personenbezogene Daten von mir erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Ich bin damit einverstanden, dass der Projektleiter sowie mit der Studie betraute Mitarbeiter Einblick in meine personenbezogenen Daten nehmen. Ich stimme zu, dass Daten, die meine Person betreffen (hierzu gehören insbesondere auch Gesundheitsdaten aus meinen Gesundheitsunterlagen), unter der Verantwortung des Projektleiters in verschlüsselter Form für Studien mit einer wissenschaftlich in Betracht kommenden Fragestellung gespeichert und verarbeitet werden. Die Einwilligung zur Erhebung und zur Verarbeitung meiner personenbezogenen Daten (insbesondere der Angaben über meine Gesundheit) ist unwiderruflich. Ich bin aber bereits darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der Studie beenden kann. Im Falle eines solchen Widerrufs meiner Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die bis zu diesem Zeitpunkt gespeicherten Daten weiterhin verwendet werden dürfen, soweit dies erforderlich ist. Insbesondere bin ich damit einverstanden, dass meine Daten zu Kontrollzwecken weiterhin gespeichert bleiben. Ich habe jedoch das Recht, deren Löschung zu verlangen, sofern gesetzliche Bestimmungen der Löschung nicht entgegenstehen. Ich bin mir bewusst, dass im Falle einer anonymisierten Speicherung meiner Daten deren Löschung auf meinen Wunsch hin nicht möglich ist. Unabhängig davon müssen alle Stellen, die meine personenbezogenen Daten (insbesondere Gesundheitsdaten) gespeichert haben, unverzüglich prüfen, inwieweit die gespeicherten Daten noch erforderlich sind, falls ich meine Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, widerrufe. Nicht mehr benötigte Daten sind unverzüglich zu löschen.

Die Weitergabe der erhobenen Daten an Dritte (das heißt Personen, die nicht an der Technischen Universität Chemnitz zur Geheimhaltung verpflichtet sind), die Auswertung sowie die Veröffentlichung der Daten erfolgt ausschließlich in pseudonymisierter Form (das heißt, dass ein Personenbezug allein anhand dieser Daten nicht hergestellt werden kann).

Teilnehmer/in (Name in Druckbuchstaben)

Geburtsdatum:

Ort, Datum:

Unterschrift:

Anhang 3: Fragebogen der Teilstudien

- bei Studie 4.1 gesamter Fragebogen, Teil 2 doppelt (für R- u. K.-Schuh)
- bei Studie 4.2 Seiten 1, 2, 3 und 4, Teil 2 doppelt (für R- u. K.-Schuh)
- bei Studie 4.3 Seiten 1, 2, 3 und 4, Teil 2 doppelt (für R- u. K.-Schuh)



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

STUDIE AUSWIRKUNGEN DER PASSFORM ALPINER SKISCHUH AUF SKISPEZIFISCHE MOTORISCHE BEWEGUNGSSITUATIONEN

Datenblatt

Datum: _____ Uhrzeit: _____

Code: _ _ _ _

(1. Buchstabe Vorname Mutter / 1. Buchstabe Geburtsort / eigener Geburtsmonat 01, 02,.....11)

Alter: _____ Größe: _____ Gewicht: _____

Schuhgröße: _____ Bindungseinstellung: _____

Skischuh: _____ Alter: _____

Skifahrertyp: Anfänger Fortgeschritten

Hinweise zum Anziehen der Schuhe/Ausfüllen des Fragebogens

In der folgenden sportwissenschaftlichen Untersuchung wird die Passform unterschiedlicher Skischuh gemessen. Ziehen Sie dazu die vorgegebenen Schuhe an und schließen Sie die einzelnen Schnallen (1-4) von unten nach oben. Danach sollten sie diese von oben nach unten noch einmal enger schnallen, so dass der Schuh den Fuß fest umschließt. Der Druck sollte nicht zu fest sein! Anschließend beginnt die Messung.

Danach werden Ihnen durch folgenden Fragebogen im Teil 1 allgemeine Fragen zum Skischuh gestellt. Die Fragen im zweiten Teil bezieht sich immer auf einen bestimmten Bereich z.B. Fußlänge, welcher durch zwei unterschiedliche Fragen bewertet wird.

Frage 1:

Markieren Sie bitte auf der Skala durch einen senkrechten Strich ihr Empfinden zu dem spezifischen Bereich. Dabei sind extreme Empfindungen jeweils durch die Endpunkte bezeichnet. Die Mitte ist ebenso durch einen Strich gekennzeichnet. Striche können überschrieben werden!

Frage 2:

Markieren Sie bitte auf der Skala durch einen senkrechten Strich wie bequem der Schuh in diesem Bereich für Sie ist. Die Endpunkte der Skala sind durch Extremwerte gekennzeichnet.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

Fragebogen Teil 2

Schuh Nr.: _____

Verschluss/Raster:

1

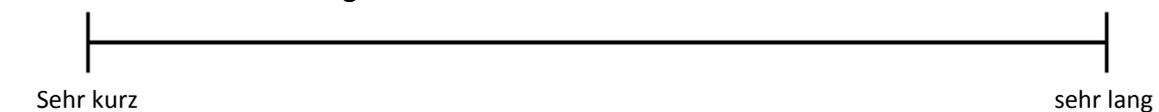
2

3

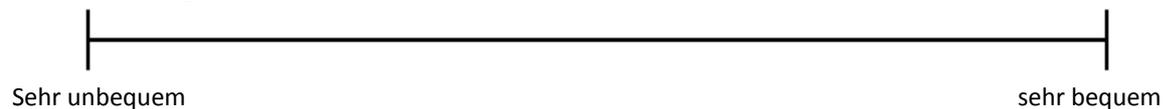
4

Wie empfinden Sie die Passform in folgenden Bereichen bei aktuellem Skischuhmodell

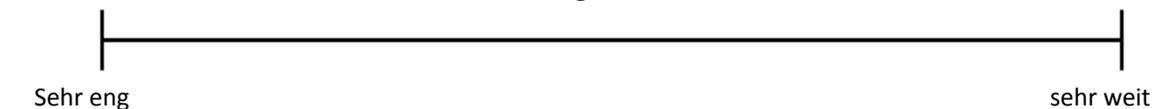
Passform in der Schuhlänge



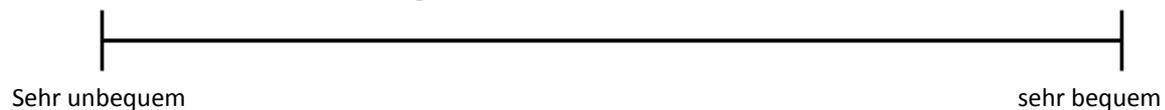
Die Schuhlänge ist für Sie....



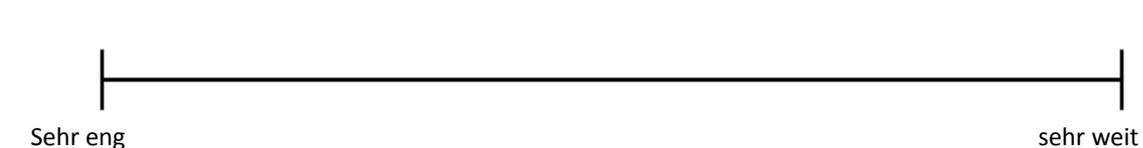
Passform in der Schuhbreite / Ballenumfang



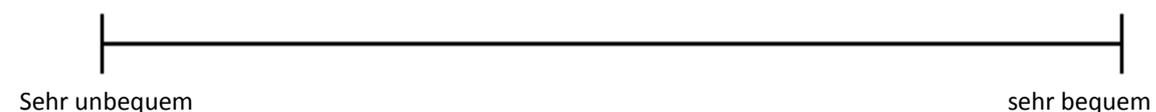
Die Schuhbreite / Ballenumfang ist für Sie....



Passform im Mittelfußbereich/Risthöhe



Der Mittelfußbereich ist für Sie....

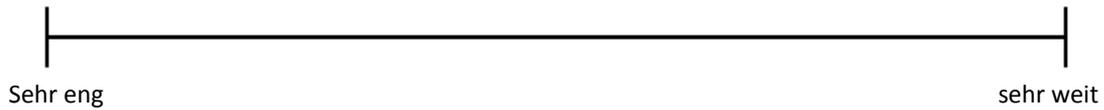




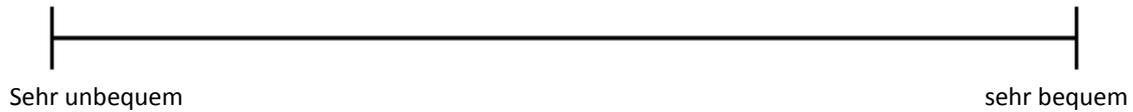
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

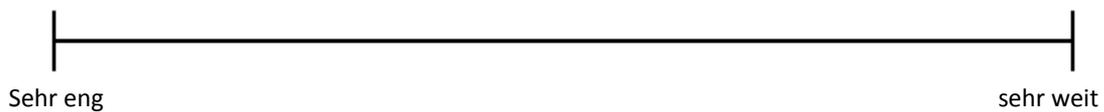
Passform in der Fersenweite



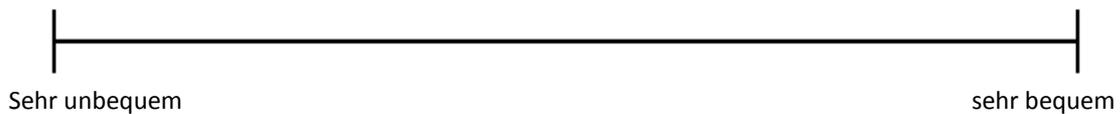
Die Fersenweite ist für Sie....



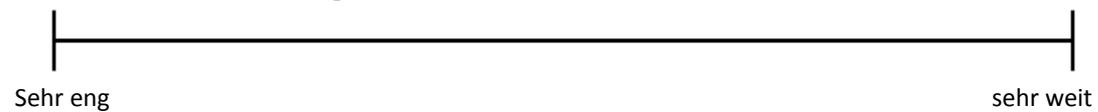
Passform im Schaftbereich



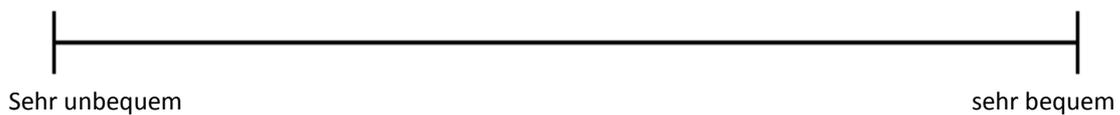
Der Schaftbereich ist für Sie....



Passform des Skischuhs insgesamt



Der Skischuh ist für Sie....

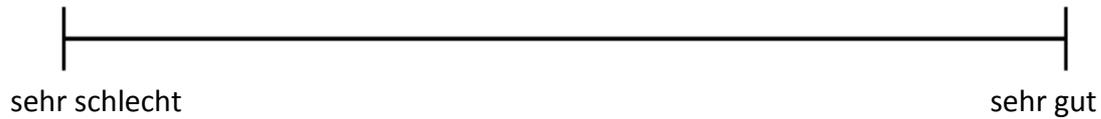




TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

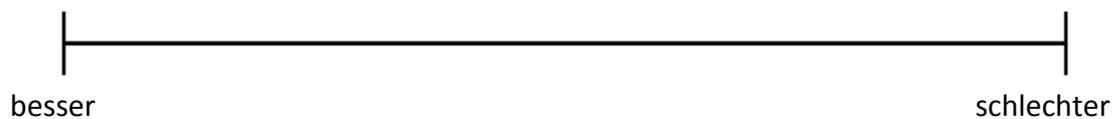
FAKULTÄT FÜR HUMAN- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

Das Gleichgewicht mit diesem Skischuh konnte ich halten

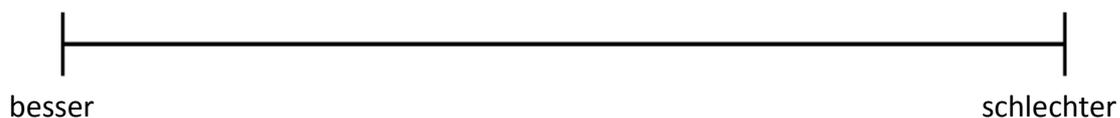


Schätzen Sie Ihr Gleichgewicht unter den verschiedenen Schuhbedingungen ein!

Barfuß würde ich die Gleichgewichtsfähigkeit gegenüber den Schuhbedingungen folgend einschätzen.



Beim Vergleich der beiden Schuhbedingungen würde ich Schuhbedingung 1 gegenüber der Schuhbedingung 2 folgend einschätzen



Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die Dissertation eigenständig erarbeitet und verfasst habe, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und diejenigen Stellen der Dissertation, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Dies gilt auch für Abbildungen und Tabellen.

Chemnitz, den 09.12.2012

Robert Hecht

Lebenslauf

Persönliche Informationen	Familienstand :	verheiratet
	Staatsangehörigkeit:	deutsch
	Geburtsdatum:	12.02.1978
	Geburtsort:	Karl-Marx-Stadt
Schule & Ausbildung	09/1984 – 08/1993	POS/ Mittelschule Dittersdorf
	09/1993 – 07/1996	Gymnasium Einsiedel Abschluss Abitur
	08/1996 – 10/1997	Zivildienst
	10/1997 – 07/2002	Studium Sportwissenschaft / Sportgerätetechnik an der TU Chemnitz Abschluss Magister Artium
	2001 – 2006	A-Trainer Ski Alpin (DSV)
Berufliche Tätigkeit	01/2002 – 09/2006	Stützpunkttrainer mit Landesaufgaben Ski Alpin im Landeskiverband Sachsen am Olympiastützpunkt Oberwiesenthal DSV - Trainer Schülerauswahl
	seit 10/2006	Honorartrainer der Deutschen Behinderten Nationalmannschaft Ski – Alpin
	seit 04/2007	Wissenschaftlicher Mitarbeiter Theorie und Praxis der Sportarten der TU Chemnitz