

Modellierung einer Leistungsstruktur am Beispiel der Sportart Short Track

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor philosophiae (Dr. phil.)
der Philosophischen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
Sabine Felser
geb. 16.09.1976 in Parchim

Rostock, 2012

Gutachter:

1. Gutachter: Bruhn, Sven, Univ.-Prof. Dr. habil., Universität Rostock
2. Gutachter: Zaus, Michael, PD Dr. phil. habil., Universität Rostock
3. Gutachter: Lames, Martin, Prof. Dr. phil., Technische Universität München

Datum der Einreichung: 21.11.2012

Datum der Verteidigung: 28.06.2013

Danksagung

Für die Genehmigung des Promotionsthemas und die Annahme der Betreuung, welche letztlich den Grundstein des gesamten Vorhabens bildeten, bin ich Prof. Dr. Sven Bruhn zum Dank verpflichtet.

Mein spezieller Dank geht an das Bundesinstitut für Sportwissenschaft, welches das Forschungsprojekt „Erarbeitung einer Leistungsstrukturanalyse für die Sportart Short Track“ finanziert hat. Ebenso danke ich der sportwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock für die Bereitstellung von Messgeräten zur Erfassung der Daten. Bedanken möchte ich mich in diesem Zuge auch bei der DESG, die ihre Kaderathleten für die Untersuchungen zur Verfügung stellte. Ohne das Trainerteam und die Athleten des ESV Turbine Rostock, Abteilung Short Track, wären die umfangreichen Untersuchungen in der Eishalle Rostock nicht durchführbar gewesen. Aus diesem Grund möchte ich mich stellvertretend bei Ivonne Bolt und Toni Liebezeit für die großartige, vor allem organisatorische, Unterstützung bei den „Eismessungen“ bedanken. Mein Dank gilt auch Regina Reuter für die Durchführung der Stufentests am Olympiastützpunkt Rostock. Für die Unterstützung beim Dateneinzug an den häufig sehr langen Labortagen möchte ich mich bei Henrike Laabs, Martin Behrens und Anett Mau-Möller bedanken.

Prof. Dr. Martin Lames und PD Dr. Michael Zaus danke ich für ihr Interesse an meiner Arbeit, die Anregungen und sachlichen Kommentare.

Für die konstruktiven Gespräche und das Korrekturlesen möchte ich mich abschließend bei folgenden Personen bedanken: Dipl.-Soz. Anja Päßler, Dipl.-Ing. Marisol-Claudia Harms, Dipl.-Inf. Susanne Fischer und Martin Behrens.

Sabine Felser

Kurzfassung

Trotz hoher Trainingsumfänge und hochgradiger Trainingsmotivation der deutschen Short Track Athleten zählen diese bei den Olympischen Spielen nicht zu den Favoriten. Aus der Trainingswissenschaft ist bekannt, dass der Gewinn olympischer Medaillen sehr eng mit der optimalen Gestaltung des Trainingsprozesses verbunden ist. Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass sich die Gestaltung des Trainingsprozesses beim Short Track sehr stark am Eisschnelllaufen orientiert, obwohl in beiden Sportarten sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen herrschen.

Gleiche Trainingsgestaltung bei unterschiedlichen Leistungsanforderungen kann ein Indiz für die suboptimalen Erfolge bundesdeutscher Short Track Athleten sein. Um aufzuklären welche konditionellen Faktoren beim Short Track leistungsbestimmend sind, werden im Rahmen dieser Arbeit empirische Daten statistisch ausgewertet. Die Auswertungen erfolgen zum einen unter Verwendung der Standardmethoden multiple Regressionsanalyse und Faktorenanalyse und werden zum anderen durch die Verwendung der Pfadanalyse zur Überprüfung begründeter Kausalmodelle ergänzt.

Die drei wesentlichen praktischen Ergebnisse dieser Arbeit sind:

1. Die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und die anaerobe Ausdauer sind die elementaren Dimensionen in Bezug auf die konditionellen Fähigkeiten beim Short Track.
2. Short Track Athleten müssen unter Berücksichtigung eines optimalen Masse-Kraft-Verhältnisses die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur maximieren.
3. Bezogen auf die Datenlage hat der Start eine große Bedeutung auf die Laufzeit unabhängig von der Wettkampfdistanz.

Die Ergebnisse dieser Arbeit legen den Schluss nahe, dass die Trainingsgestaltung beim Short Track an die gegebenen Rahmenbedingungen, speziell an den geringen Kurvenradius, angepasst werden müssen, wenn die Chancen auf olympisches Edelmetall in Zukunft erhöht werden sollen.

Abstract

Despite intensive training and the high-quality training motivation of German short track athletes, they are not counted among the favourites at Olympic Games. Training science tells us that winning Olympic medals is very closely linked with the optimum design of the training process. It becomes apparent upon closer inspection that the design of the short track training process is very closely aligned to that of speed skating, even though there are very different framework conditions in each sport.

Using similar training concepts for different performance requirements can be an indicator for the suboptimal success of German short track athletes. Empirical data is evaluated statistically in the course of this paper in order to discover which conditional factors determine performance in short track athletics. The evaluation is conducted by using standard methods of multiple regression and factor analysis and is then supplemented by the use of path analysis to assess the established causal models.

The three basic practical findings of this work are:

1. The maximum voluntary contraction of the stretching muscles in the leg and anaerobic stamina are the fundamental dimensions with regard to conditional fitness in short track athletics.
2. Short track athletes must maximise the maximum voluntary contraction of the stretching muscles in the leg, under consideration of an optimum power/weight ratio.
3. The data shows that the start is very important to the running time, irrespective of the competition distance.

The results of this work suggest that short track training design must be adapted to suitable framework conditions, especially the low curve radius, if there is to be any chance of winning Olympic medals in the future.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	12
Verwendete Abkürzungen	14
1. Einleitung und Aufbau der Arbeit	16
1.1 Einleitung	16
1.2 Aufbau der Arbeit	19
2. Forschungsstand	21
2.1 Modellierung der Leistungsstruktur in der Trainingswissenschaft	21
2.1.1 Gegenstand der Sport- und Trainingswissenschaft	21
2.1.2 Untersuchungsmethoden in der Trainingswissenschaft	22
2.1.3 Der Begriff des Modells	23
2.1.4 Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit	24
2.1.5 Strukturmodelle der sportlichen Leistung	25
2.1.6 Ablauf der Strukturierung sportlicher Leistungen	28
2.1.7 Bestimmung leistungsrelevanter Merkmale	31
2.1.8 Anforderungen an die Messverfahren	31
2.2 Leistungsvoraussetzungen beim Short Track	33
3. Problembeschreibung und Zielstellung der Arbeit	40
4. Theoretische Vorüberlegungen	42
4.1 Hypothesen- und Modellbildung	43
4.1.1 Logisch leistungsrelevante Merkmale beim Short Track	43
4.1.2 Modellbildung	45
4.1.3 Das a priori Strukturmodell	50
4.2 Hypothesenformulierung	51
4.3 Konstrukt-Operationalisierung	52
4.3.1 Messindikatoren der sportlichen Leistung	52
4.3.2 Messindikatoren der Standstabilisation	53
4.3.3 Messindikatoren der Kraftfähigkeiten	54
4.3.3.1 Messung der Maximalkraft	54
4.3.3.2 Messung der Schnellkraft	56

4.3.3.3 Messung der Kraftausdauer	58
4.3.3.4 Anmerkungen zu den Maximalkraft- und Kraftausdauer tests	60
4.3.4 Messindikatoren der Beschleunigungsfähigkeit	60
4.3.5 Messindikatoren der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit	61
4.3.6 Messindikatoren der anaeroben Leistungsfähigkeit	63
4.3.7 Allgemeine Anmerkungen zu den ausgewählten Testverfahren	67
4.3.8 Anmerkungen zum Einsatz der Fahrradergometrie	68
5. Material und Methoden	70
5.1 Studiendesign	71
5.2 Untersuchungsdesign und Methoden	71
5.2.1 Standstabilisation	71
5.2.2 Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur	72
5.2.3 Rumpfkraft	73
5.2.4 Beschleunigungsfähigkeit	75
5.2.5 metabolische und kardiale Beanspruchung beim Absolvieren der Einzelwertungs- Wettkampfstrecken	76
5.2.6 Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit	77
5.2.7 Anaerobe Leistungsfähigkeit	78
5.3 Methodenkritik	79
5.4 Versuchsablauf	82
5.5 Merkmalstichprobe	85
5.6 Personenstichprobe	86
5.7 Statistische Verfahren	87
6. Prämissen, Ziele und elementare Grundzüge der statistischen Verfahren	88
6.1 Deskriptiv- und Inferenzstatistik	89
6.1.1 Statistische Kennwerte	89
6.1.2 Identifikation von Extremwerten und Ausreißern	91
6.1.3 Normalverteilung und z-Transformation	94
6.1.4 Statistische Signifikanz und Hypothesentest	95
6.1.5 Produkt-Moment-Korrelation	98
6.2 Multivariate Methoden	103
6.2.1 Partielle Korrelation	103
6.2.2 Explorative Faktorenanalyse (EFA)	104

6.2.3 Multiple lineare Regression	111
6.2.3.1 Einfache lineare Regressionsanalyse	111
6.2.3.2 Multiple lineare Regressionsanalyse	112
6.2.4 Methoden der Strukturgleichungsanalyse (SGA).....	119
7. Datenverarbeitung und -analyse	128
7.1 Deskriptive Statistik	130
7.1.1 Vorgehensweise	130
7.1.2 Ergebnisse und Auswertung	130
7.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der deskriptiven Statistik	131
7.2 Pearson-Korrelation und partielle Korrelation.....	131
7.2.1 Vorgehensweise	131
7.2.2 Ergebnisse und Auswertung	132
7.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrelationsanalyse	144
7.3 Explorative Faktorenanalyse.....	146
7.3.1 Vorgehensweise	146
7.3.2 Ergebnisse und Auswertung	147
7.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse	150
7.4 Multiple lineare Regression	151
7.4.1 Vorgehensweise	151
7.4.2 Ergebnisse und Auswertung	153
7.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse	158
7.5 Pfadanalyse	159
7.5.1 Vorgehensweise	159
7.5.2 Ergebnisse und Auswertung	160
7.5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Pfadanalyse	168
8. Auswertung und Diskussion	170
8.1 Datenerhebung und -verarbeitung.....	170
8.1.1 Stichprobengröße	170
8.1.2 Homogenität der Stichprobe	171
8.1.3 Differenzierte Betrachtung der verwendeten Testverfahren.....	172
8.1.3.1 Sportartspezifische Test- und Kontrollverfahren	173
8.1.3.2 Validität der Ergometertests	173
8.1.3.3 Test zur Beurteilung der Standstabilisation	173
8.1.3.4 Einfluss volitiver Eigenschaften	174

8.1.3.5 Schlussfolgerungen und Anregungen für weitere Untersuchungen	174
8.1.4 Datenverarbeitung	175
8.1.4.1 Datenaufbereitung.....	175
8.1.4.2 Behandlung fehlender Werte	176
8.1.4.3 Vorgang und Ergebnisse der Modellierung.....	177
8.1.4.4 Schlussfolgerungen und Anregungen für weitere Untersuchungen	180
8.2 Leistungsstruktur der Sportart Short Track.....	182
8.2.1 Überprüfung der Hypothesen	182
8.2.2 Beziehungsgefüge leistungsrelevanter Merkmale	189
8.2.3 Das Leistungsstrukturmodell für die Sportart Short Track	201
8.2.4 Konsequenzen für das Training und Trainingsempfehlungen	203
8.2.4.1 Verbesserung der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur.....	203
8.2.4.2 Verbesserung des Startvermögens und der Grundschnelligkeit.....	207
8.2.4.3 Verbesserung der Schnelligkeitsausdauer	209
9. Zusammenfassung und Ausblick.....	212
Anhang	214
Literatur.....	236

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: DIE STRUKTUR SPORTLICHER LEISTUNGEN VON GUNDLACH (1980) UND SCHNABEL, HARRE UND BORDE (1994) VEREINFACHT NACH HOHMANN ET AL. (2002)	26
ABB. 2: DEDUKTIONSKETTENMODELL VON BALLREICH (1983) NACH LAMES (2002)	27
ABB. 3: PYRAMIDENMODELL DER INDIVIDUELLEN KOMPLEXEN SPIELLEISTUNG VON HOHMANN 1985 NACH LAMES (2002)	28
ABB. 4: KRAFT-GESCHWINDIGKEITS-KURVE UND MUSKELLEISTUNGSKURVE (OLIVIER, 2007)	46
ABB. 5: A PRIORI MODELL DER LEISTUNGSSTRUKTUR BEIM SHORT TRACK	50
ABB. 6: MESSINDIKATOREN ZUR BEURTEILUNG DER SPORTLICHEN LEISTUNG	53
ABB. 7: MESSINDIKATOREN ZUR BEURTEILUNG DER STANDSTABILISATION	54
ABB. 8: KRAFTANSTIEGSKURVE ZUR BESTIMMUNG DER MAXIMAL- UND EXPLOSIVKRAFT (NACH BÜHRLE & SCHMIDTBLEICHER, 1981)	57
ABB. 9: MESSINDIKATOREN DER KRAFTFÄHIGKEITEN DER BEINSTRECKMUSKULATUR	58
ABB. 10: MESSINDIKATOREN ZUR BEURTEILUNG DER RUMPFKRAFT	59
ABB. 11: MESSINDIKATOREN ZUR BEURTEILUNG DER BESCHLEUNIGUNGSFÄHIGKEIT	61
ABB. 12: MESSINDIKATOREN ZUR BEURTEILUNG DER AEROBEN AUSDAUERLEISTUNGSFÄHIGKEIT	63
ABB. 13: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES PLATEAU-LEISTUNGS-TESTS (NACH STAPELFELDT, 2001)	65
ABB. 14: MESSINDIKATOR ZUR BEURTEILUNG DER ANAEROBEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT	65
ABB. 15: RUMPFKRAFTTEST, VENTRALE RUMPFKETTE (TSCHOPP, 2003)	74
ABB. 16: RUMPFKRAFTTEST, LATERALE RUMPFKETTE (TSCHOPP, 2003)	74
ABB. 17: RUMPFKRAFTTEST, DORSALE RUMPFKETTE (TSCHOPP, 2003)	75
ABB. 18: SCHIEFE UND WÖLBUNG EINER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG (NACH BORTZ & SCHUSTER, 2010)	91
ABB. 19: BOX-WHISKER-PLOT (NACH BORTZ & SCHUSTER, 2010)	92
ABB. 20: HISTOGRAMM MIT EINGEZEICHNETER NORMALVERTEILUNG (LINKS) BOX-WHISKER-PLOT (MITTE) UND DESKRIPTIVE STATISTIK (RECHTS) FÜR DIE EXPLOSIVKRAFT (RFD)	93
ABB. 21: TRANSFORMATION EINER ROHWERTEVERTEILUNG IN EINE STANDARDNORMALVERTEILUNG (NACH POSPESCHILL, 2006, S. 97)	94
ABB. 22 KONFIDENZWAHRSCHEINLICHKEIT VERSCHIEDENER KONFIDENZINTERVALLE BEI EINER NORMALVERTEILUNG	96
ABB. 23: T-VERTEILUNG BEI UNTERSCHIEDLICHEN FREIHEITSGRADEN (POSPESCHILL, 2006)	97
ABB. 24: RICHTUNGSBEZIEHUNGEN BEI KORRELATIONEN	99
ABB. 25: STREUDIAGRAMM (SPSS) KORRELATION ZWISCHEN DER LAUFZEIT [S] ÜBER 55,5 UND 500 M	100
ABB. 26: KAUSALE INTERPRETATIONSMÖGLICHKEITEN VON KORRELATIONEN UND RELEVANTE ANALYSEMETHODEN (NACH WEIBER & MÜHLHAUS, 2010)	102
ABB. 27: PFADMODELL EINER PARTIELLEN KORRELATION	104
ABB. 28: EIN- UND ZWEI-FAKTOR-LÖSUNG BEI 2 VARIABLEN (VGL. BACKHAUS ET AL., 2006)	105

ABB. 29: EIGENWERTEDIAGRAMM MIT DEM SCREE-TEST (BORTZ & SCHUSTER, 2010).....	108
ABB. 30: UNROTIERTE UND ROTIERTE FAKTORLADUNGEN (NACH BACKHAUS ET AL., 2006).....	110
ABB. 31: BESTIMMUNG DER RESIDUEN	112
ABB. 32: PRÜFUNG DER RESIDUEN AUF HETEROSKEDASTIZITÄT	114
ABB. 33: F-VERTEILUNG (NACH POSPESCHILL, 2006).....	118
ABB. 34: LINEARE REGRESSION MIT REGRESSIONSFUNKTION UND BESTIMMTHEITSMAß	119
ABB. 35: PFADDIAGRAMM.....	121
ABB. 36: ZERLEGUNG DES GESAMTZUSAMMENHANGS R (NACH WEIBER & MÜHLHAUS, 2010, S. 26).....	122
ABB. 37: PFADDIAGRAMM MIT PFADKOEFFIZIENTEN	123
ABB. 38: STREUDIAGRAMME (SPSS): KORRELATION ZWISCHEN 500 M-BESTZEIT UND DEN MERKMALEN DER STANDSTABILISATION.....	133
ABB. 39: STREUDIAGRAMME (SPSS): KORRELATIONEN ZWISCHEN DER 500 M-BESTZEIT UND DEN MERKMALEN DER KRAFTFÄHIGKEITEN DER BEINSTRECKMUSKULATUR.....	134
ABB. 40: STREUDIAGRAMM (SPSS): KORRELATION ZWISCHEN 500 M-BESTZEIT UND DER RUMPFKRAFT...	136
ABB. 41: STREUDIAGRAMME (SPSS): KORRELATIONEN ZWISCHEN DER 500 M-BESTZEIT UND DEN MERKMALEN DER BESCHLEUNIGUNGSFÄHIGKEIT	136
ABB. 42: STREUDIAGRAMME (SPSS): KORRELATION ZWISCHEN 500 M-BESTZEIT UND DEN MERKMALEN DER AEROBEN AUSDAUERLEISTUNGSFÄHIGKEIT	138
ABB. 43: STREUDIAGRAMM (SPSS): KORRELATIONEN ZWISCHEN BMI UND DER MAXIMALEN SAUERSTOFFAUFNAHME.....	138
ABB. 44: PFADMODELL DER PARTIALKORRELATION ZWISCHEN BMI UND O2_MAX, KONTROLLVARIABLE: ALTER	139
ABB. 45: STREUDIAGRAMM (SPSS): KORRELATIONEN ZWISCHEN 500 M-BESTZEIT UND DER ANAEROBEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT	140
ABB. 46: PFADMODELL DER PARTIALKORRELATION ZWISCHEN PLT_45 UND BZ_500, KONTROLLVARIABLE: IMVC_BB	141
ABB. 47: STREUDIAGRAMM (SPSS): KORRELATIONEN ZWISCHEN 500 M-BESTZEIT UND DEM BMI	142
ABB. 48: ZUSAMMENHANGSSTRUKTUR DER EMPIRISCH-STATISTISCH LEISTUNGSRELEVANTEN MERKMALE AUF GRUNDLAGE DER ERGEBNISSE DER KORRELATIONSANALYSE.....	145
ABB. 49: (SPSS) A) EIGENWERTEVERLAUF VON INSGESAMT 14 FAKTOREN, B) EIGENWERTEVERLAUF MIT SCREE-TEST	148
ABB. 50: A PRIORI STRUKTURMODELL	160
ABB. 51: VOLLSTÄNDIGES PFADMODELL MIT PFADKOEFFIZIENTEN	161
ABB. 52: ALTERNATIVES STRUKTURMODELL.....	166
ABB. 53: ALTERNATIVES PFADMODELL MIT PFADKOEFFIZIENTEN UND GÜTEKRITERIEN.....	167
ABB. 54: ZUSAMMENHANGSSTRUKTUR DER EMPIRISCH-STATISTISCH LEISTUNGSRELEVANTEN MERKMALE AUF GRUNDLAGE DER ERGEBNISSE DER PFADANALYSE.....	169
ABB. 55: HYPOTHETISCHES LEISTUNGSSTRUKTURMODELL FÜR DIE SPORTART SHORT TRACK.....	201

Tabellenverzeichnis

TAB. 1: QUANTITATIVE ZUSAMMENFASSUNG DER INDIKATOREN UND ANZAHL RESULTIERENDER VARIABLEN	84
TAB. 2: ALTERSKLASSEN UND KADERZUGEHÖRIGKEIT DER UNTERSUCHTEN ATHLETEN.....	86
TAB. 3: (SPSS) KORRELATION ZWISCHEN DEN LAUFZEITEN [S] ÜBER 55,5 UND 500 M	101
TAB. 4: INTERPRETATION DER HÖHE VON KORRELATIONEN (WEIBER & MÜHLHAUS, 2010).....	101
TAB. 5: ZWEIFAKTORIELLE LADUNGSMATRIX.....	106
TAB. 6: BERECHNUNG DER EIGENWERTE UND DER KOMMUNALITÄTEN	107
TAB. 7: (SPSS) RESIDUENSTATISTIK SPRINT 55 M, ABHÄNGIGE VARIABLE: BESTZEIT ÜBER 500 M	115
TAB. 8: (SPSS) REGRESSIONSANALYSE DER BESTZEIT ÜBER 500 M AUF DIE LAUFZEIT [S] ÜBER 55,5 M	119
TAB. 9: KORRELATIONSMATRIX FÜR BEISPIEL PFADANALYSE	123
TAB. 10: ÜBERSICHT ÜBER DIE IN DIE DATENVERARBEITUNG UND -ANALYSE AUFGENOMMENEN MERKMALE	129
TAB. 11: DESKRIPTIVE STATISTIK (SPSS)	130
TAB. 12: KORRELATIONSMATRIX (SPSS): 500- UND 1000 M-BESTZEITEN	132
TAB. 13: KORRELATIONSMATRIX (SPSS): STANDSTABILISATION UND BESCHLEUNIGUNGSFÄHIGKEIT	133
TAB. 14: KORRELATIONSMATRIX (SPSS): KRAFTFÄHIGKEITEN DER BEINSTRECKMUSKULATUR.....	135
TAB. 15: KORRELATIONSMATRIX (SPSS): MERKMALE DER BESCHLEUNIGUNGSFÄHIGKEIT	137
TAB. 16: PARTIALKORRELATION ZWISCHEN BMI UND O ₂ _MAX MIT KONTROLLVARIABLE ALTER (SPSS).....	139
TAB. 17: PARTIALKORRELATION ZWISCHEN PLT_45S UND BZ_500 MIT KONTROLLVARIABLE IMVC_BB (SPSS)	140
TAB. 18: PARTIALKORRELATION ZWISCHEN PLT_45S UND RFD_BB MIT KONTROLLVARIABLE PEAK POWER (SPSS)	141
TAB. 19: KORRELATION DER MERKMALE AUF DIE 500 M-BESTZEIT MIT UND OHNE KONTROLLE DES ALTERS (SPSS)	143
TAB. 20: KORRELATION AUSGEWÄHLTER MERKMALE AUF DIE BESCHLEUNIGUNGSFÄHIGKEIT BEI KONTROLLE DES ALTERS (SPSS)	144
TAB. 21: (SPSS) ERKLÄRTE GESAMTVARIANZ DER EXTRAHIERTEN FAKTOREN	147
TAB. 22: (SPSS) ROTIERTE KOMONENTENMATRIX UND KOMMUNALITÄTEN	149
TAB. 23: (SPSS) SCHRITTWEISE REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE BZ_500	153
TAB. 24: (SPSS) ANOVA UND KOEFFIZIENTEN DER SCHRITTWEISE REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE: BZ_500	154
TAB. 25: (SPSS) SCHRITTWEISE REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE BZ_1000	155
TAB. 26: (SPSS) ANOVA DER SCHRITTWEISE REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE: BZ_1000	155
TAB. 27: (SPSS) KOEFFIZIENTEN DER SCHRITTWEISEN REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE: BZ_1000	156
TAB. 28: (SPSS) SCHRITTWEISE REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE SPRINT_55M.....	156

TAB. 29: (SPSS) ANOVA DER SCHRITTWEISE REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE: SPRINT_55M.....	157
TAB. 30: (SPSS) KOEFFIZIENTEN DER SCHRITTWEISEN REGRESSION, ABHÄNGIGE VARIABLE: SPRINT_55M	158
TAB. 31: PFADKOEFFIZIENTEN (B) UND SIGNIFIKANZ (P) FÜR DAS VOLLSTÄNDIGE MODELL.....	162
TAB. 32: EMPIRISCHE KORRELATION ZWISCHEN DEN VARIABLEN DER PFADANALYSE	163
TAB. 33: DIREKTE EFFEKTE FÜR DAS VOLLSTÄNDIGE PFADMODELL IN ABBILDUNG 51.....	163
TAB. 34: INDIREKTE EFFEKTE FÜR DAS VOLLSTÄNDIGE PFADMODELL IN ABBILDUNG 51	163
TAB. 35: VERGLEICH DER BEOBACHTETEN UND REPRODUZIERTEN KORRELATIONEN FÜR DAS VOLLSTÄNDIGE PFADMODELL IN ABBILDUNG 51	164
TAB. 36: PFADKOEFFIZIENTEN (B) UND SIGNIFIKANZWerte (P) FÜR DAS ALTERNATIVMODELL	167
TAB. 37: VERGLEICH DER BEOBACHTETEN UND REPRODUZIERTEN KORRELATIONEN FÜR DAS ALTERNATIVE PFADMODELL IN ABBILDUNG 53	168

Verwendete Abkürzungen

ADP	Adenosindiphosphat
AMOS	Analysis of Movement Structures
ap	anterior-posterior
ATP	Adenosintriphosphat
BISp	Bundesinstitut für Sportwissenschaft
BKM	Beinkraftmessgerät
BMI	Body Mass Index
cos	Cosinus
CrP	Kreatinphosphat
df (degrees of freedom)	Anzahl der Freiheitsgrade
FT-Fasern	Fast Twitch (schnell zuckende) Fasern
GKS	Gleichgewichts-Koordinations-System
EFA	explorative Faktorenanalyse
h^2	Kommunalität einer Variablen bei der EFA
H_0	Nullhypothese
H_1	Alternativhypothese
IAAS _D	Individuelle aerob-anaerobe Schwelle nach Dickhuth
IBM	International Business Machines Corporation
iMVC (isometric maximum voluntary contraction)	isometrische Maximalkraft
IOC (International Olympic Committee)	Internationales Olympisches Komitee
IQR (Inter-Quartile-Range)	Interquartilbereich
Max	Maximum
mE	motorische Einheit
Min	Minimum
ml	medio-lateral
MRFD (rate of maximum force development)	maximale Explosivkraft

N	Stichprobenumfang
N_{KSP}	kritischer Stichprobenumfang (Hoelter-Test)
OSP	Olympiastützpunkt
O_2max	maximale Sauerstoffaufnahme
p	Irrtumswahrscheinlichkeit / Signifikanzniveau
PLT	Plateauleistungstest
r	Korrelationskoeffizient
R^2	Bestimmtheitsmaß
R^2_{korr}	korrigiertes Bestimmtheitsmaß
RMSEA	Root-Mean-Square of Approximation
s	Standardabweichung
S	empirische Varianz-Kovarianzmatrix
SGA	Strukturgleichungsanalyse
SMT	Sensomotorisches Training
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRM	Schoberer-Rad-Messsystem
ST-Fasern	Slow Twitch (langsam zuckende) Fasern
$\bar{x}$	Mittelwert
α (Alpha)	Irrtumswahrscheinlichkeit
β (Beta)	standardisierter Regressionskoeffizient
λ (Lamda)	Eigenwert eines Faktors bei der EFA
Σ (Sigma)	modelltheoretische Varianz-Kovarianzmatrix
X^2 (Chi-Quadrat)	Chi-Quadrat (Testgröße)

1. Einleitung und Aufbau der Arbeit

1.1 Einleitung

„Wozu dieser Eifer, dieser Kampf? [...] nicht wegen der Macht, nicht wegen einer Frau, nicht um Tod wird hier entscheidend gekämpft, sondern das nichtsnutzige Gold ist die Veranlassung des Kampfes erbärmlicher Gestalten. Einmal siegen sie, dann unterliegen sie wieder, aber immer sind es die gleichen [!].“

(Zitat von Dion Chrysostomos, einem römischen Redner und Philosophen, nach dem Besuch der Olympischen Spiele der Antike (Umminger, 2000)).

Bei den 2010 in Vancouver ausgetragenen Winterspielen erkämpfte sich die deutsche Mannschaft mit insgesamt 30 Medaillen hinter Kanada den 2. Platz in der Länderwertung. In insgesamt zehn der 15 ausgetragenen Sportarten konnten deutsche Athleten aufs Siegerpodest steigen. Aus deutscher Sicht waren in Kanada mit drei Mal Gold die Alpinisten, allen voran Maria Riesch, am erfolgreichsten. Besonders viel Edelmetall¹ gab es auch für die Biathleten, Rodler, Skilangläufer und Eisschnellläufer (Simon, 2010). Verwunderlich ist hierbei, dass, obwohl Deutschland zu den besten Eisschnelllaufnationen zählt, in der artverwandten Sportart Short Track bisher keine olympische Medaille errungen werden konnte.

Ein Blick auf die Geschichte des Short Track zeigt, dass Deutschland in dieser Sportart von Beginn an auf internationaler Ebene nur eine Nebenrolle spielte. Während 1976 bzw. 1981 die erste inoffizielle bzw. offizielle Weltmeisterschaft im Short Track ausgetragen wurde, fand die erste Deutsche Meisterschaft erst 1983 in Mannheim statt (Brusis, 2004). Die erste Medaille, eine Bronzene, bei einer Europameisterschaft holte die Damenstaffel 1998 in Budapest. Trotz der großartigen Erfolge der deutschen Damen- und Herrenstaffeln bei den vergangenen Welt- und

¹ Im Biathlon und Rennrodeln gab es je 2 Gold/1 Silber/2 Bronze, im Skilanglauf 1/4/0 und im Eisschnelllauf 1/3/0.

Europameisterschaften², konnten Einzelmedaillen bisher nur selten gewonnen werden. Der letzte große Erfolg³ auf europäischer Ebene wurde durch den Rostocker Arian Nachbar bei der Europameisterschaft 2005 in Turin errungen: Gold über 1500 m und in der Staffel, Silber über 1000 m und in der Mehrkampfwertung, Bronze über 500 m (ShorttrackOnLine.info, 2012). Einzelmedaillen im Seniorenbereich bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen⁴ blieben bisher aus.

Der internationalen Konkurrenz laufen aber nicht nur die Senioren hinterher. Schon im Nachwuchsbereich können deutsche Athleten das internationale Niveau beim Short Track nicht erreichen. Sportdirektor Günter Schumacher machte im Vorfeld der Junioren-Weltmeisterschaft 2009 die Vorgabe, dass das Erreichen des Halbfinals das Ziel sein sollte. Teamchef Helmut Kraus und der bis dato tätige Bundestrainer Markus Tröger äußerten sich bereits im Vorfeld dieser Meisterschaft, auf einer Versammlung im Rahmen der Deutschen Meisterschaft im Februar 2008 in München, eher skeptisch zu dieser Vorgabe. Beide, Kraus und Tröger, sahen deutliche Defizite im konditionellen Bereich der deutschen Nachwuchsläufer, ihr Fazit: „Wir laufen hinterher“⁵.

Short Track Trainer und Aktive haben sich bisher relativ erfolglos am Rahmentrainingsplan der Eisschnellläufer orientiert. Dadurch wird der Druck, einen eigenständigen Rahmentrainingsplan zu erarbeiten, immer größer⁶. Wissenschaftlich

² 2011 wurden die Herren Vizeweltmeister, 2010 belegten die Herren bei der WM Rang drei und 2007 wurden sie Europameister. Die Damenstaffel erkämpfte sich 2007 und 2010 den Europameistertitel (ShorttrackOnLine.info, 2012).

³ Tyson Heung gewann 2008 bei der Europameisterschaft Bronze über 500 m.

⁴ 1988 in Calgary wurden Demonstrationswettkämpfe im Short Track durchgeführt. Seit 1992 gehört Short Track zum Programm der Olympischen Spiele.

⁵ Bei der Juniorenweltmeisterschaft im Januar 2009 in Sherbrooke/ Kanada belegten die Junioren folgende Platzierungen: Frauen 500 m 21. Platz, 1000 m 24. Platz und 1500 m 26. Platz jeweils durch Elisa Lenke, Männer 500 m 24. Platz und 1000 m 34. Platz durch Peter Anderl, 1500 m 16. Platz durch Dennis Walzer (ShorttrackOnLine.info, 2012).

⁶ Studien belegen, dass vor allem aufgrund der geringeren Bahnabmessungen im Short Track die Kurventechnik an Bedeutung gewinnt. Durch die engen Kurvenradien unterscheiden sich die An-

begründete Handlungsempfehlungen für das sportliche Training lassen sich aber erst auf der Basis gültiger Modelle der Leistungsstruktur ableiten. Für ein optimales Training ist die präzise Kenntnis der sportartspezifischen Anforderungen und des personenspezifischen Leistungsprofils eine notwendige Voraussetzung (Lames, 1995; 2002). Die Erforschung der Struktur des sportlichen Wettkampfes und seine Verknüpfung mit Trainingsmaßnahmen stellt dabei eine der größten Herausforderungen der Trainingswissenschaft dar.

Die sportliche Leistung beim Short Track wird maßgeblich von den technisch-taktischen Fähigkeiten und Fertigkeiten, von den psychischen sowie konditionellen Fähigkeiten der Sportler bestimmt. Den konditionellen Fähigkeiten werden diejenigen Komponenten der sportlichen Leistung zugeordnet, die primär energetisch bestimmt werden (Meinel & Schnabel, 1987; Martin et al., 1993). Beim Short Track sind dies die Kraft-, Schnelligkeits⁷- und Ausdauerfähigkeiten. Durch die Ermittlung der einzelnen konditionellen Fähigkeiten können aber noch keine Aussagen über deren gegenseitige Abhängigkeit bzw. Gewichtung gemacht werden. Für die eindeutige Benennung der leistungsbestimmenden Faktoren, ist die Kenntnis des Bedingungsgefüges zwischen Kraft-, Schnelligkeits- und Ausdauerfähigkeit Voraussetzung (Bührle, 1985).

Da bis dato für die Sportart Short Track kein Leistungsstrukturmodell vorliegt und somit auch keine Grundlage zur Erstellung eines Rahmentrainingsplanes, sollte im Rahmen dieser Arbeit ein erster Schritt in diese Richtung gemacht werden. Das Ziel bestand darin, die konditionellen Fähigkeiten bezüglich ihrer Zusammen-

sprüche an die physiologischen, technischen und koordinativen Fähigkeiten erheblich von denen beim Eisschnelllaufen (Rundell, 1996b; Brusis, 2004).

⁷ Schnelligkeit kann nicht eindeutig den konditionellen Fähigkeiten zugeordnet werden und wird deswegen in der Literatur oftmals als „gemischt koordinativ-konditionelle Fähigkeit“ gekennzeichnet (Grosser, 1991).

hangsstruktur zu untersuchen und die empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale zu bestimmen⁸.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die bekanntesten Strukturmodelle sportlicher Leistung werden in Kapitel 2.1 abgebildet. Gleichzeitig erfolgt die Benennung der Methoden, die in der Trainingswissenschaft zur Anwendung kommen, um die leistungsrelevanten Merkmale einer Sportart bzw. Disziplin zu bestimmen und in ihrem Beziehungsgefüge darzustellen.

Der momentane Forschungsstand hinsichtlich der leistungsrelevanten Faktoren für die Sportart Short Track wird im Kapitel 2.2 zusammenfassend dargestellt.

Die sich aus dem Forschungsstand ergebenden Fragestellungen, deren Bearbeitung und Beantwortung Ziel dieser Arbeit sind, werden in Kapitel 3 formuliert.

In Kapitel 4.1 „Hypothesen und Modellbildung“ werden die logisch leistungsrelevanten Merkmale der Sportart Short Track zusammengetragen und in ihren Beziehungen zueinander theoretisch erklärt. Anhand dieser theoretischen Vorüberlegungen wird das a priori Strukturmodell erarbeitet. Die daraus resultierenden Hypothesen, die im Rahmen dieser Arbeit, auf ihre Gültigkeit hin zu analysieren sind, werden in Kapitel 4.2 formuliert. Zur Quantifizierung der leistungsbestimmenden konditionellen Parameter im Rahmen der empirischen Untersuchung, erfolgt im Kapitel 4.3 eine Zusammenstellung der Messindikatoren und sportmotorischen Tests.

⁸ In dieser Arbeit geht es weder um die Darstellung des aktuellen Leistungszustandes der untersuchten Athleten noch um die quantitative Auswertung/Beurteilung einzelner Merkmale. Der daran interessierte Leser wird auf den Forschungsbericht zum BISp-Projekt „Erarbeitung einer Leistungsstrukturanalyse für die Sportart Short Track“ verwiesen.

Das Untersuchungsdesign und die Methoden der Leistungsdiagnostik werden im anschließenden 5. Kapitel „Material und Methoden“ ausführlich beschrieben.

Die statistischen Analyseverfahren, die in dieser empirischen Arbeit zur Anwendung kommen, werden in Kapitel 6 hinsichtlich ihrer Einsatzgebiete, Ziele, Vor- und Nachteile gegenübergestellt. Zusätzlich werden die elementaren Grundzüge der einzelnen Verfahren abgebildet.

In Kapitel 7 „Datenverarbeitung und Datenanalyse“ werden die empirischen Daten mit den zuvor beschriebenen statistischen Analyseverfahren ausgewertet. Die Darstellung der Datenauswertung wurde so gewählt, dass die einzelnen Schritte der Modellierung nachvollzogen werden können.

Die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse dieser Studie erfolgt im Zusammenhang mit anderen Studien zur Leistungsdiagnostik beim Short Track in Kapitel 8. Um einen schnellen Überblick über die Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Arbeit zu bekommen, wird auf Kapitel 9 „Zusammenfassung“ verwiesen.

Der Einfachheit zuliebe und für eine bessere Lesbarkeit wurde die männliche Schreibform gewählt. Selbstverständlich sind dabei immer beide Geschlechter gemeint.

2. Forschungsstand

2.1 Modellierung der Leistungsstruktur in der Trainingswissenschaft

2.1.1 Gegenstand der Sport- und Trainingswissenschaft

Sportwissenschaft ist eine angewandte Wissenschaft. Dies bedeutet einerseits, dass ihr Gegenstand eine Erscheinungsform, ein Bereich der gesellschaftlichen Praxis sowie des menschlichen Lebens ist. Die Sportwissenschaft als angewandte Wissenschaft verfolgt die Ziele, dass die Ergebnisse nutzbar und im untersuchten Praxisfeld umsetzbar sind (Schnabel et al., 1997).

Die *Trainingswissenschaft* als Teil der Sportwissenschaft setzt sich aus interdisziplinärer Sichtweise mit der Beschreibung und Analyse sportlicher Leistungen und Leistungsbedingungen sowie mit der Begründung und Überprüfung des Leistungshandelns im Training und im sportlichen Wettkampf auseinander (Martin et al., 1993). Als ihr Gegenstand „wird allgemein das Training verstanden, ein Handlungsfeld in verschiedenen Realisierungsbereichen⁹ des Sports, in dem durch eine zielgerichtete, systematisch aufgebaute und organisierte Tätigkeit die Vervollkommenung bzw. Steigerung der körperlich-motorischen Leistungsfähigkeit und ihrer personalen Voraussetzungen angestrebt wird“ (Schnabel et al., 1997, S. 16).

Die Ergebnisse der Trainingswissenschaft bilden die Grundlage für wissenschaftlich fundiertes Handeln im Sport. So geben sie wissenschaftlich begründete Trainingssysteme vor. Dazu zählen Handlungsregulative für Trainierende und Trainer sowohl hinsichtlich des Gesamtaufbaus des Trainings sowie für die einzelnen Teilaufgaben des Trainings. Die Erarbeitung und Überprüfung von Hypothesen

⁹ Je nach Realisierungsbereich, also ob als Leistungssport, Freizeit- und Breitensport, Schulsport oder Gesundheitssport ausgeübt, dominieren unterschiedliche Zielstellungen wie z. B. sportmotorisches Können, sportliche Leistungsfähigkeit, körperliche Vervollkommenung, Erlebnis, Befriedigung körperlicher und geistig-sozialer Bedürfnisse etc..

und Modellen sportlicher Leistungen stellt dabei nur eine von vielen Aufgaben der Trainingswissenschaft dar (Schnabel et al., 1997).

2.1.2 Untersuchungsmethoden in der Trainingswissenschaft

Die Ergebnisse einer Wissenschaft hängen im starken Maße von den Methoden und Verfahren zur Gewinnung des Wissens, von neuen Erkenntnissen sowie von deren Beherrschungsgrad ab. Somit kann sich die Wissenschaft nur als Einheit von Theorie und Methode entwickeln. Ziel aller Methoden ist dabei die Veränderung und/oder die Erkenntnis der Wirklichkeit. Dafür bedarf es in der Trainingswissenschaft Methoden und Verfahren mit empirischen als auch theoretischen Untersuchungen. Benötigt werden geeignete Methoden und Verfahren für die konzeptionelle Vorbereitung und Problemanalyse, für die Gewinnung sowie für die Verarbeitung empirischen Wissens (Haag, 1999b).

Beginnend mit der einleitenden Problemanalyse bildet eine gute Theorie die beste Grundlage. Aus dem theoretischen Fundament leiten sich Fragestellungen und Hypothesen ab. Diese bestimmen das gesamte weitere methodische Vorgehen und besonders die Interpretation der Ergebnisse. Entsprechend dominieren in dieser Phase der konzeptionellen Vorüberlegungen die theoretisch-logischen Methoden¹⁰ (Haag, 1999b; Zimmer & Haag, 1999).

In der folgenden Phase der trainingswissenschaftlichen Forschung geht es um die Gewinnung empirischen Wissens in Form von Daten bzw. objektiven Fakten aus dem laufenden Trainingsprozess. Demnach dominieren in dieser Phase die Methoden zur Gewinnung empirischen Wissens. Hierzu zählen u. a. die Beobachtung, die Messung, sportmotorische Tests und die Befragung¹¹ (Thiele & Kolb, 1999).

¹⁰ Zu den theoretisch-logischen Methoden zählen u. a. Analyse – Synthese, Abstraktion, Definition, Explikation (Darlegung), Explanation (Erklärung) und der Beweis (Zimmer & Haag, 1999).

¹¹ Anzumerken ist, dass in der trainingswissenschaftlichen Forschung theoretische Untersuchungen als Hauptelement nicht auszuschließen sind. Hier kommen dann schwerpunktmäßig theoretisch-logische Methoden zu Einsatz (Thiele & Kolb, 1999).

Zur Aufbereitung der gewonnenen Rohdaten sowie für die mathematisch-statistische Bearbeitung kommen abschließend Methoden zur Verarbeitung des empirischen Wissens, wie z. B. die statistische Datenanalyse, die computergestützte Bildanalyse und die Messwertverarbeitung zum Einsatz (Haag, 1999b).

Bei der Erkenntnisgewinnung werden im Wesentlichen zwei Formen unterschieden. Bei der ersten Form, der *empirisch-analytischen Methode*, wird der jeweilige Gegenstand in seinem Zustand, seiner Struktur, seiner Entwicklung untersucht, wie er sich vom Untersucher unbeeinflusst darbietet. Bei der zweiten Form, der *experimentellen Methode*, nimmt der Untersucher gezielt bestimmte Eingriffe in die existierenden Strukturen und Prozesse vor. Die Auswirkungen dieser Eingriffe dienen als Kriterium für die Beantwortung der Fragestellungen (Schnabel et al., 1997).

2.1.3 Der Begriff des Modells

Aus informatischer Sicht kann der Begriff „Modell“ wie folgt definiert werden:

„Das Modell ist ein abstraktes Abbild eines Systems. Es dient der Diagnose des Systemzustandes und der Prognose des Systemverhaltens“ (Perl, 2002, S. 15).

System bedeutet an dieser Stelle ein reales Konstrukt aus interagierenden Partnern bzw. Komponenten. Dieses interagiert seinerseits mit der System-Umwelt. Hierbei dient die Modellbildung dazu, die wesentlichen Aspekte der Systemstruktur und des Systemverhaltens darzustellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Modelle immer nur einen begrenzten Ausschnitt, meist die für die Fragestellung relevanten Parameter, des Originals abbilden (Pressenhofer et al., 1990). Das innere Prozessverhalten des Modells wird meist vereinfacht abgebildet¹², um das Wesentliche des Originals prägnant herauszuarbeiten. In diesem Zusammenhang spricht man von „Vereinfachung“ und es ist somit fraglich, ob das Modell das wah-

¹² Reduktionen und Abstraktionen der natürlichen Systeme sind nicht zu umgehen und dienen der Erfassung komplexer Systemstrukturen und Interaktionen.

re Systemverhalten widerspiegelt. Aus diesem Grund kann die Gültigkeit eines Modells nur durch Beispiele bekräftigt aber niemals bewiesen werden (Perl, 2002).

2.1.4 Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit

Das Zustandekommen sportlicher Leistungen ist von verschiedenen Bedingungen abhängig. Hinsichtlich des Ziels der Erreichung hoher sportlicher Erfolge, ist es für die Planung und Gestaltung des Trainings notwendig, diese Bedingungen zu kennen. Allgemein werden die Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit in personale (innere) und apersonale (äußere) Leistungsvoraussetzungen unterteilt (Martin et al., 1993; Schnabel et al., 1997). Das Training, welches auf die Ausprägung der personalen Leistungsvoraussetzungen gerichtet ist, muss aufgrund der bestehenden Wechselbeziehungen die äußeren Leistungsvoraussetzungen berücksichtigen. Zu diesen zählen u. a. die Sportstätten und ihre Beschaffenheit, Sportgeräte bzw. Ausrüstungsgegenstände, Verhalten von Partner(n) bzw. Mitspieler(n) sowie klimatische Bedingungen (Schnabel et al., 1997).

Die verschiedenen personalen Leistungsvoraussetzungen stellen Einflussgrößen dar, die Höhe bzw. Güte einer motorischen Leistung bestimmen. In der Literatur wird deshalb häufig der Begriff „Leistungsfaktoren“ verwendet. Nach Schnabel (1997) erscheint es zweckmäßig, nicht jede einzelne Voraussetzung als Faktor auszuweisen, sondern Voraussetzungskomplexe. In der Literatur werden folgende Komplexe hervorgehoben (Martin et al., 1993; Schnabel et al., 1997; Hohmann et al., 2002; Weineck, 2002):

- Konstitution (konstitutionelle Leistungsvoraussetzungen)
- Kondition (Kraft-, Ausdauer-, Schnelligkeits-¹³ und Beweglichkeitsfähigkeiten)
- Technik-Koordination (Bewegungsfertigkeiten und koordinative Fähigkeiten)
- Taktik (Situationsanalyse-, Entscheidungs- und Situationsanpassungsfähigkeit)
- Persönlichkeit (Kognition, Emotion, Motivation).

¹³ Nach Grosser (1991) kann die Schnelligkeit nicht eindeutig den konditionellen Fähigkeiten zugeordnet werden und wird deshalb als „gemischt koordinativ-konditionelle Fähigkeit“ gekennzeichnet.

Schnabel (1997) verweist darauf, dass die Persönlichkeit eines Sportlers eine zentrale Bedeutung für seine Leistungsfähigkeit hat und aus diesem Grund nicht nur als ein Faktor unter anderen betrachtet werden sollte.

Die Gesamtheit der personalen Voraussetzungen für die Bewältigung der Leistungsanforderungen macht die Leistungsfähigkeit aus. Leistungsvoraussetzungen, die sich auf die Handlungsantriebe beziehen, werden hinsichtlich der sportlichen Leistungsfähigkeit als Leistungsbereitschaft von den Leistungsvoraussetzungen für die Handlungsorientierung, Handlungsausführung und Handlungskontrolle unterschieden. Somit kann von einer Einheit bestehend aus Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft gesprochen werden (Schnabel et al., 1997). Gegenstand der Trainingswissenschaft sind primär die allgemeine motorische Leistungsfähigkeit (körperliche Leistungsfähigkeit) und die motorische Handlungsfähigkeit bei sportlicher Tätigkeit (Letzelter & Letzelter, 1982; Martin et al., 1993; Schnabel et al., 1997).

2.1.5 Strukturmodelle der sportlichen Leistung

„Aus der generellen Aufgabe der Trainingswissenschaft, eine wissenschaftliche Fundierung des sportlichen Trainings zu erarbeiten, folgt unmittelbar, dass die Modellbildung zur Struktur der sportlichen Leistung eine ihrer zentralen Aufgaben darstellt.“ (Lames, 2002, S. 213)

Nach Lames (2002) lassen sich Handlungsempfehlungen für das sportliche Training erst auf der Basis gültiger Modelle ableiten. Diese Modelle sollten möglichst die wesentlichen Komponenten der Wettkampfleistung identifizieren und gleichzeitig die Leistungsvoraussetzungen, die bei der Realisierung der Wettkampfleistung eine Rolle spielen, integrieren. Entscheidend ist dabei nicht die bloße Aufzählung einzelner Elemente, sondern die Darstellung der Wechselwirkungen innerhalb des Systems.

In der Literatur finden sich verschiedene Modelle zur Struktur der sportlichen Leistung. Lames (2002) kritisiert, dass speziell die Modelle von Schnabel, Martin und Grosser aus den Jahren 1977, 1980 bzw. 1985 nicht mehr als eine Auflistung von Komponenten sind, die die sportliche Leistung beeinflussen. Der Autor schlägt

deshalb vor, sie als „grafische Auflistungen der als relevant betrachteten Komponenten der sportlichen Leistung“ zu bezeichnen (vgl. Lames, 2002, S. 216). Modelle, die über die bloße Auflistung von Komponenten und Wechselwirkungen hinausgehen, sind bisher wenig publiziert worden. Ein Grund dafür ist, dass die Modelldarstellung sehr abstrakt wird, wenn man versucht die Systemstruktur möglichst umfassend darzustellen. Dies hat zur Folge, dass die Wirkungsmechanismen nur schwer zu operationalisieren sind (Lames, 2002).

Zu den anerkanntesten Modellen der Struktur sportlicher Leistungen zählt das von Gundlach 1980 entwickelte Modell (siehe Abbildung 1). Dieses geht von hierarchisch aufeinander aufbauenden, aber wechselwirkenden Ebenen aus. Aussagen über die Natur der Beziehungen zwischen den Subsystemen und der externen Umwelt werden, so Lames (2002), allerdings nicht vorgenommen.

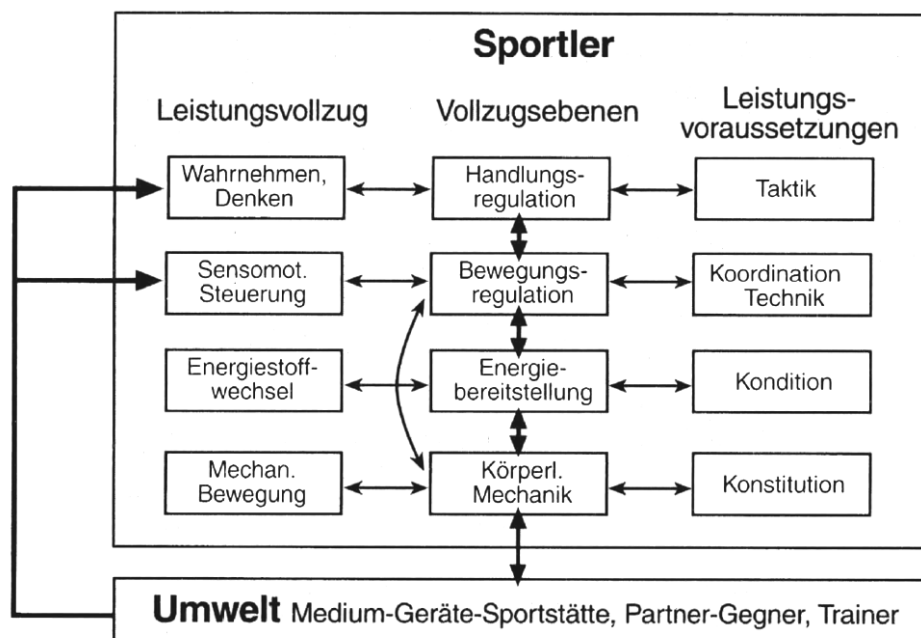


Abb. 1: Die Struktur sportlicher Leistungen von Gundlach (1980) und Schnabel, Harre und Borde (1994) vereinfacht nach Hohmann et al. (2002)

Zu den Modellen, die explizit auf den Zusammenhang zwischen Einflussgrößen und Kriterium eingehen, zählen wiederum das *Modell der Deduktionsketten* und das *Pyramidenmodell* (Lames, 2002).

Beim Modell der Deduktionsketten, dargestellt in Abbildung 2, welches in den 70er und 80er Jahren großen Einfluss hatte, werden Einflussgrößen formuliert, die entweder in einem deterministischen oder statistischen Zusammenhang zur Zielgröße stehen. Diese wiederum fungieren dann auf tieferer Modellstufe selber als Zielgrößen, für die weitere deterministische oder statistische Einflussgrößen identifiziert werden. Beim Deduktionskettenmodell können die Zusammenhänge zwischen Einfluss- und Zielgröße korrelationsstatistisch, z. B. durch eine Regressionsanalyse beschrieben werden. Jedoch werden dabei die Abhängigkeiten der Einflussgrößen untereinander nicht erfasst (Hohmann et al., 2002; Lames, 2002).

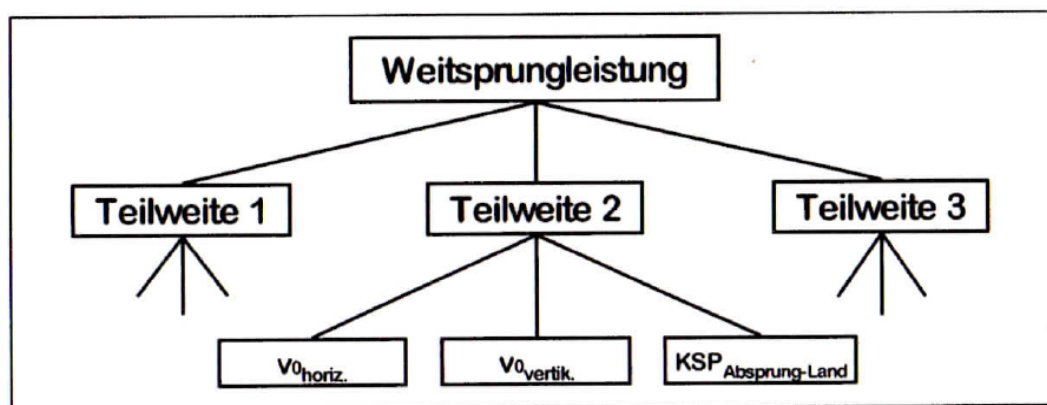


Abb. 2: Deduktionskettenmodell von Ballreich (1983) nach Lames (2002)

Bei Pyramidenmodellen erfolgt die Strukturierung durch Erstellung mehrerer Ebenen. Dabei gilt, dass die Merkmale der unteren Ebenen über die Oberen wirksam werden, dass diese Beziehung nicht umkehrbar ist und dass der Komplexitätsgrad der Merkmale nach unten abnimmt (Hohmann et al., 2002).

Hohmann (1985) erstellte ein umfassendes Pyramidenmodell für die individuelle komplexe Sportspielleistung (siehe Abbildung 3). Zur Erfassung der Beziehungen werden übliche statistische Verfahren eingesetzt. Das Wettkampfverhalten wird durch Beobachtungsverfahren erfasst, während zwischen den Ebenen der Leistungsvoraussetzungen eine Fähigkeits- und Fertigkeitsdiagnostik durch sportmotorische Tests erfolgt. Der Zusammenhang zwischen den Ebenen wird dabei korrelativ bestimmt. Als Maß für die Bedeutsamkeit einer Leistungsvoraussetzung für die Wettkampfleistung gilt der ermittelte Zusammenhang zwischen den Ebenen. Nach Lames (2002) kann auch mit den Pyramidenmodellen der Anspruch auf Ab-

bildung des internen Funktionierens der sportlichen Leistung nicht erhoben werden.

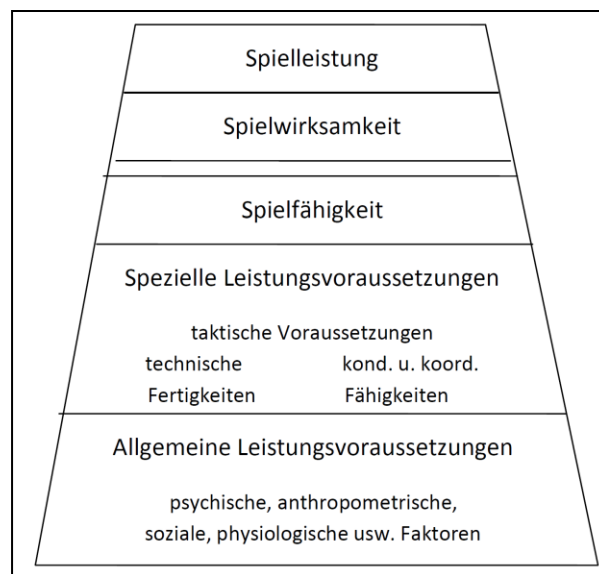


Abb. 3: Pyramidenmodell der individuellen komplexen Spielleistung von Hohmann 1985 nach Lames (2002)

Hohmann et al. (2002) kommen bei Betrachtung der vorliegenden Strukturmodelle der sportlichen Leistung zu der Erkenntnis, dass nur wenige Modelle versuchen, die Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen aufzunehmen. Modelltheoretisch, so die Autoren, wird meist auf einer Stufe verblieben. Um langfristig eine umfassende Modellbildung zu ermöglichen, muss mehr Wissen über einzelne Subsysteme und einzelne Wechselwirkungen zusammengetragen werden.

2.1.6 Ablauf der Strukturierung sportlicher Leistungen

Die Strukturierung der sportlichen Leistung erfolgt nach Letzelter & Letzelter (1982; 1983) in folgenden drei Schritten. 1. Hierarchisierung von Merkmalsgruppen, 2. Bestimmung der internen Ordnung von Merkmalen in Merkmalsgruppen und 3. Priorisierung nach Einflusshöhen.

„*Hierarchisierung* bedeutet Gliederung des Bedingungsgefüges nach Teilleistungen bzw. Einflussgrößen unterschiedlicher Komplexität. Die Differenzierung erfolgt vertikal und richtet sich nach der Komplexität der Einflussgrößen, so dass Ebenen des Bedingungsgefüges angenommen werden. Je höher die Ebene, desto komplexer ist eine Teilqualifikation“ (Letzelter & Letzelter, 1983, S. 14).

Das Ziel der Hierarchisierung besteht darin, alle potenziellen Leistungsvoraussetzungen zu erfassen, die einen Einfluss auf die Wettkampfleistung haben. Diese sollen möglichst realitätsnah in ihren wichtigsten Erscheinungen und Verflechtungen abgebildet werden. Als Modelle der Hierarchisierung bieten sich Deduktionsketten und Leistungspyramiden an (Letzelter & Letzelter, 1982; 1983).

Beim zweiten Schritt, *Bestimmung der internen Ordnung*, geht es primär um die Bestimmung der Beziehungen zwischen den Elementen des Leistungssystems innerhalb einer Ebene, sekundär um den Zusammenhang von Merkmalen benachbarter Ebenen. Somit ist die interne Ordnung zuerst einmal ebenenimmanent eine horizontale Gliederung. Eine häufig für die interne Gliederung eingesetzte Methode ist die *Faktorenanalyse*. Sie dient der Identifizierung von Merkmalsgruppen (Faktoren), die untereinander starke Zusammenhänge aufweisen und von anderen Faktoren weitestgehend unabhängig sind¹⁴ (Letzelter & Letzelter, 1982; 1983). Ebenso wird die *multiple Regressionsanalyse* als Methode zur Bestimmung der horizontalen Ordnung angewandt. Sie bildet den Zusammenhang zwischen mehreren Prädiktorvariablen und einer Kriteriumsvariablen ab (Hohmann et al., 2002). Nach Hohmann et al. (2002) sind auch *Strukturgleichungsverfahren*, die bisher wenig eingesetzt wurden, geeignet. Diese ermöglichen sowohl explorativ wie auch konfirmatorisch die Prüfung von Hypothesen zur vertikalen und horizontalen Ordnung. Der Vorteil dieser Verfahren ist, dass im Gegensatz zur Regressionsanalyse Modelle analysiert werden können, in denen sich zwei Variablen wechselseitig beeinflussen. Von daher sind lineare Strukturgleichungsmodelle besonders zur Überprüfung komplexer Zusammenhangs- und Beeinflussungshypothesen geeignet (Eid, 1999).

Den entscheidenden Schritt bei der Erstellung des Prioritätenkataloges stellt die *Priorisierung* dar, da sich daraus die Wertigkeit der Trainingsziele ableiten lässt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Reihenfolge von Einflussgrößen und Trai-

¹⁴ Für stark zusammenhängende (korrelierende) Merkmale wird eine ähnliche Determinante angenommen. Deshalb wird angenommen, dass Training mit gleichen Inhalten mehrere Leistungsvoraussetzungen beeinflussen kann = positiver Transfereffekt.

ningszielen nicht identisch sein muss. Die Einflussgrößen sind nach Letzelter und Letzelter (1982; 1983) nur dann lohnenswerte Trainingsziele, wenn sie auch trainierbar sind. Die Priorisierung erfolgt in vier nicht umkehrbaren Schritten (Letzelter & Letzelter, 1982; 1983). Diese sind

1. Bestimmung aller hypothetisch leistungsrelevanten Merkmale
2. Auswahl der logisch leistungsrelevanten Merkmale
3. Bestimmung der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale
4. Bestimmung der Reihenfolge dieser Merkmale.

Hypothetisch leistungsrelevant sind alle Merkmale, die in der Trainingspraxis als wichtig gelten. Nach Letzelter und Letzelter (1983) beinhaltet das auch Merkmale, die ihre Bewährung in der Praxis erfahren, obwohl ihre Bedeutung wissenschaftlich (noch) nicht nachgewiesen ist.

Logisch leistungsbestimmende Merkmale haben einen unmittelbar einleuchtenden Einfluss auf die Wettkampfleistung. So sind z. B. in allen Sprintläufen die vier Sprinteigenschaften (Reaktionsschnelligkeit, Sprintkraft, Sprintschnelligkeit und Sprintausdauer) logisch leistungsrelevant.

„Wer besser reagiert, wer höher und länger beschleunigt, wer eine höhere Maximalgeschwindigkeit erzielt und später und weniger an Tempo nachlässt, der läuft schneller.“ (Letzelter & Letzelter, 1983, S. 18)

Empirisch-statistisch leistungsrelevant sind Merkmale, in denen sich Leistungsstärkere von Leistungsschwächeren überzufällig unterscheiden. Zur Überprüfung werden zwei verschiedene Kriterien genutzt, das varianzanalytische und das korrelationsstatistische Kriterium. Mittels *Varianzanalyse* wird geprüft, ob Mittelwertdifferenzen zwischen Leistungsgruppen signifikant sind. Mit der *Korrelation* lässt sich der Zusammenhang von einer Prädiktorvariable auf die Kriteriumsvariable bestimmen. Ist der Zusammenhang zwischen Einfluss- und Zielgröße überzufällig, so ist das Merkmal empirisch-statistisch leistungsrelevant (Hohmann et al., 2002).

Die beiden Merkmalsgruppen „logisch leistungsrelevant“ und „empirisch-statistisch leistungsrelevant“ unterscheiden sich prinzipiell darin, dass die logische Leistungsrelevanz grundsätzlich gilt, während die empirisch-statistische qualifikationsbezo-

gen ist. Dadurch können bei unterschiedlichem Leistungsniveau unterschiedliche Ergebnisse und andere Prioritätenkataloge begründet werden. Um eine falsche Prioritätenennung zu vermeiden, muss die Priorisierung ebenenimmanent erfolgen. Eine Ebenen übergreifende Priorisierung hat die Vermischung von Merkmalen unterschiedlicher Komplexität zur Folge, was zu unrealistischen Gewichtungen führen kann (Letzelter & Letzelter, 1983).

2.1.7 Bestimmung leistungsrelevanter Merkmale

Nach Stapelfeldt (2001) ist davon auszugehen, dass die Anforderungen der Sportart das Leistungsprofil einzelner Sportler prägt. Aus diesem Grund sollte es möglich sein, über die Erfassung der Leistungsprofile Rückschlüsse auf das Anforderungsprofil zu ziehen. Hierfür ist es erforderlich, mittels Leistungsdiagnostik eine Quantifizierung der sportartspezifisch notwendigen und individuell ausgeprägten Fähigkeiten und Fertigkeiten zu erfassen. Um möglichst präzise Aussagen treffen zu können, ist zum einen ein ausreichend großes Sportlerkollektiv notwendig und zum anderen bedarf es aussagekräftiger Messverfahren.

2.1.8 Anforderungen an die Messverfahren

Die Aussagekraft aller Messverfahren wird über sog. Gütekriterien beschrieben. Dabei werden die sog. Hauptgütekriterien (Exaktheitskriterien) *Objektivität*, *Reliabilität* und *Validität* von den sog. Nebengütekriterien unterschieden (Hohmann et al., 2002).

„Objektiv sind Messungen dann, wenn die Ergebnisse unabhängig von denen sind, die die Messungen durchführen. [...] Unter Reliabilität eines Messverfahrens versteht man den Grad der Genauigkeit, mit dem ein Merkmal erfasst wird. Messverfahren sind dann reliabel, wenn der gemessene Wert nur gering fehlerbehaftet ist. [...] Validität bezeichnet die Gültigkeit der Messungen in Bezug auf den Sachverhalt, der gemessen werden soll“ (Hohmann et al., 2002, S. 145-148).

Die Nebengütekriterien sind vor allem bezüglich der praktischen Durchführbarkeit von Bedeutung. Diese beziehen sich auf die Praktikabilität, die anfallenden Kosten und den Organisationsaufwand, den es zu berücksichtigen gilt. Grosser und

Starischka (1986) geben zu den Nebengütekriterien an, dass ein Test vor allem dann ökonomisch ist, wenn dieser in kurzer Zeit durchführbar, wenig Testmaterial (Geräte) benötigt wird und er einfach zu handhaben und schnell, ohne großen Rechenaufwand, auswertbar ist.

Im Bereich der leistungsdagnostischen Tests werden sog. sportmotorische Tests¹⁵ von sportmedizinischen Tests¹⁶ unterschieden. Dabei haben sportmotorische Tests den Vorteil, dass sie ohne sonderlichen apparativen Aufwand durchgeführt werden können. Sportmedizinische Tests sind aufgrund der erforderlichen Apparate sehr häufig mit einem erheblichen finanziellen Aufwand verbunden und meist nur in Zusammenarbeit mit einer sportmedizinischen Institution realisierbar (Grosser & Neumaier, 1988).

Um möglichst präzise und detaillierte Aussagen über sportartspezifische Informationen zu bekommen, sollten sowohl geeignete Labor- wie auch Felduntersuchungen durchgeführt werden. Vorteile der Laboruntersuchungen sind in erster Linie die Standardisierbarkeit und die Reproduzierbarkeit der Testbedingungen. Die Nachteile zeigen sich bisweilen in der fehlenden Sportartspezifität und in der Erfassung von nur Teilkomponenten der Leistungsfähigkeit. Bei den Felduntersuchungen liegt der Vorteil in der größeren Sportartspezifität. Nachteilig wirken sich hier die schwierige Standardisierung, Reproduzierbarkeit und Durchführbarkeit aus (Keul et al., 1981; Weineck, 2002).

¹⁵ „Ein sportmotorischer Test ist ein standardisiertes Mess- bzw. Prüfverfahren, bei dem ein konkreter Bewegungsvollzug zum Zweck der Leistungsregistrierung verlangt wird“ (Grosser & Neumaier, 1988).

¹⁶ Sportmedizinische Tests basieren auf der Messung physiologischer Größen während definierter muskulärer Belastung.

2.2 Leistungsvoraussetzungen beim Short Track¹⁷

Speziell Anfang bis Mitte der 90er Jahre beschäftigten sich viele Wissenschaftler, u. a. Forschungsgruppen des Instituts für angewandte Trainingswissenschaft in Leipzig, ausführlich mit der Leistungsstruktur im Eisschnelllauf, um neue methodische Ansätze für eine auf Weltspitzenleistungen gerichtete Trainingskonzeption anzubieten. Trotz vieler offensichtlicher Unterscheidungen zum Eisschnelllauf (Rundell, 1996b; Brusis, 2004) haben sich bisher aber nur wenige Wissenschaftler mit den Leistungsvoraussetzungen beim Short Track befasst. Bis dato fehlen umfassende systematische Analysen zum Anforderungsprofil der Sportart Short Track. Ein Grund für das mangelnde Forschungsinteresse könnte darin liegen, dass der Eisschnelllauf schon seit 1924 zum Programm der Olympischen Spiele gehört und weitaus verbreiteter ist als Short Track. Ein Vergleich der aktiven Wettkämpferzahlen zeigt, dass es in Deutschland über fünfmal mehr wettkampftaktive Eisschnellläufer als Short Track Athleten gibt. Nach Aussagen des Leistungssportreferenten Short Track Matthias Kulik nahmen in der Saison 2011/12 nur 160 Short Track Athleten gegenüber 883 Eisschnellläufern am aktiven Wettkampfgeschehen teil¹⁸.

Beim Short Track laufen die Kontrahenten im Gegensatz zum Eisschnelllaufen nicht auf abgetrennten Bahnen. Auf einem 111 Meter langen Eisoval treten vier bis sechs Short Track Athleten im direkten Vergleich gegeneinander an. Da nur die ersten zwei Läufer eines Laufs in die nächste Runde kommen, spielen taktisches Verhalten und Überholmanöver, die ein hohes Maß an Konzentration und Durchsetzungsvermögen erfordern, eine entscheidende Rolle (Brusis, 2004). Obwohl in Abhängigkeit von den Kontrahenten jedes Rennen einen anderen Verlauf hat, ist eine bestimmte Grundstruktur zu erkennen. Durch die Überholmanöver und Tem-

¹⁷ Für dieses Kapitel wurde auf den Forschungsantrag und den Forschungsbericht an das BISp für das Projekt „Erarbeitung einer Leistungsstrukturanalyse für die Sportart Short Track“, zurückgegriffen (Forschungsbericht der Arbeitsgruppe Bruhn an das Bundesinstitut für Sportwissenschaft Aktenzeichen: 070501/09).

¹⁸ Von den genannten Sportlern haben 89 sowohl an Short Track als auch am Eisschnelllauf Wettkampfgeschehen teilgenommen. Die Zahlen schließen alle Altersklassen ein.

powerwechsel herrscht beim Short Track eine intervallartige Belastung vor. Durch die Zwischensprints kommt es zu Veränderungen im Laufrhythmus, was zeitliche Auswirkungen auf die Kontraktionsformen der Muskulatur hat¹⁹ (vgl. Letzelter & Letzelter, 1983). Da die Intensivierung der Geschwindigkeit durch explosives Abstoßen erfolgt, was vor allem hohe dynamische Kraftbeiträge abverlangt (de Groot et al., 1987), kommt es in den Phasen der Beschleunigung zu einer vorübergehend vermehrten Inanspruchnahme der anaeroben Kapazität. In Abhängigkeit vom Rennverlauf kann die Laktatbildung und –elimination sehr unterschiedlich ausfallen. Das beim Zwischensprint angefallene Laktat kann z. B. im nachfolgenden Rennabschnitt wieder metabolisiert werden, sofern die Intensität gering ist. Bei Rennen mit einer Intensität, bei dem die Energiebereitstellung nicht mehr rein aerob abgedeckt werden kann, steigt die Laktatkonzentration durch Akkumulation kontinuierlich an (Shepard, 1993b; de Marées, 2003). Da die Laufzeiten beim Short Track je nach Distanz zwischen zirka 42 s (500 m) und 2:30 min (1500 m) betragen, was dem Kurzzeitausdauerbereich (mit Übergang zur Mittelzeitausdauer) zuzuordnen ist, ist davon auszugehen, dass die anaerobe Energiegewinnung überwiegt (Hohmann et al., 2002).

Untersuchungen zur Schrittfrequenz haben gezeigt, dass im Gegensatz zu den Eisschnellläufern, die ihre Geschwindigkeit durch eine Zunahme der Schrittfrequenz erhöhen (van Ingen Schenau et al., 1985), Short Track Athleten ihre Frequenz reduzieren. Erklärt wird diese Beobachtung damit, dass die Läufer die Kurve ab einer individuellen Geschwindigkeit auf einem Bein durchgleiten. Folglich ist eine Aufrechterhaltung bzw. Erhöhung der Geschwindigkeit nur auf der Geraden möglich (Brusis, 2004).²⁰ Die Schrittzahl auf der Geraden ist abhängig von der

¹⁹ Statische Muskelkontraktion während der Gleitphase, dynamische Muskelkontraktion während der Abdruckphase.

²⁰ Zu Berücksichtigen ist an dieser Stelle, dass derzeit keine aktuellen Studien zur Schrittfrequenz und Schrittlänge beim Short Track vorliegen. Wettkampfbeobachtungen zeigen, dass die Kurvendurchläufe beim Short Track sehr unterschiedlich gestaltet werden. Die Unterschiede beziehen sich vor allem auf den Kurvenradius und die Beschleunigung in der Kurve. Das Durchgleiten der Kurve auf einem Bein, wie es Brusis (2004) beschreibt, stellt dabei nur eine Möglichkeit dar, die Kurve zu durchfahren. Die Veränderungen in der Kurventechnik könnten somit auch eine Erklärung

Körpergröße und der Beinlänge des jeweiligen Athleten. Beim Durchgleiten der Kurve auf einem Bein werden hohe isometrische Kraftbeiträge abgefordert (de Groot et al., 1987).

Huber untersuchte 2007 am Olympiastützpunkt München Short Track Athleten hinsichtlich der Kraft, die diese speziell im Kurvenlauf aufbringen. Hierfür wurden Messsohlen verwendet, die die senkrecht einwirkende Kraft auf den Schlittschuh messen. Parallel wurden in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit die Kniewinkel beider Beine und die Lage des Körpers ermittelt. Bei einem 80 kg schweren Läufer, der mit einer Geschwindigkeit von 12,3 m/s die Kurve (Kurvendurchmesser 8m) durchfährt, ergab sich eine mittlere Kraft von ca. 1700 N bei einem Lagewinkel von 63°. Die höchsten Kräfte wurden in der Abdruckphase gemessen. Beim rechten Bein lagen diese bei ca. 2100 N bei einem Kniewinkel von ca. 130°. Diese hohe dynamische Kraft muss nach einer statischen Phase von 0,6-1 s Länge mit einer mittleren Kraft von ca. 1750 N aufgebracht werden (Huber, 2007).

Bei einer zweiten Probandin kam zum Vorschein, dass beim Abdruck 75% ihrer statisch ermittelten Maximalkraft in Anspruch genommen werden. Im gesamten Kurvenlauf betrug die durchschnittliche Belastung 60-65% ihrer Maximalkraft (Huber, 2007). Da die periphere Durchblutung bereits ab 15-20% der Maximalkraft durch die Kompression intramuskulärer Gefäße behindert wird und bei hohen Krafteinsätzen jenseits von 50% der maximalen statischen Kraft die Muskeldurchblutung durch Gefäßokklusion weitestgehend sistiert ist (Shepard, 1993b; Hollmann & Strüder, 2009), sind bei diesem hohen Krafteinsatz aerobe Stoffwechselvorgänge auszuschließen. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass vornehmlich schnelle Muskelfasern rekrutiert werden, die biochemisch auf eine hohe

für die positive Zeitentwicklung auf den unterschiedlichen Strecken sein. 1994 in Lillehammer betrug die schnellste 500 m-Zeit 43,45 s. Der aktuelle Weltrekord aus dem Jahr 2009 liegt bei 40,65 s (-6,5%). Die 1000 m-Zeit verbesserte sich im gleichen Zeitraum um 11,8% (1994: 1:34,57 min, 2009: 1:23,45 min). Die 1500 m wurden bei Olympia erstmals 2002 gelaufen. Die damalige Bestzeit betrug 2:18,54 min. Der aktuelle Weltrekord aus dem Jahr 2011 liegt bei 2:09,04 min (-6,8%) (Olympic.org, 2012; Union, 2012).

anaerobe Leistungsfähigkeit eingestellt sind (Shepard & Plyley, 1993; Hollmann & Strüder, 2009).

„Type II fibers are better suited for anaerobic activity. Type IIa fibers a major role in high-intensity exercise. Type IIx fibers are activated when the force demanded of the muscle is high.“ (Wilmore et al., 2008, S. 40)

Aufgrund der Fortbewegung auf den Kufen und dem Eis werden spezifische Anforderungen an die Standstabilisation und die Kraftentfaltung beim Abdruck gestellt (Quinn et al., 2003). Dies gilt im besonderen Maße für den Start und den Kurvenlauf. Zusätzlich wird beim Abdruck auf dem Eis während des gesamten Laufes und speziell beim Start eine hohe Kraft von der Sprunggelenksmuskulatur abgefordert. Nach Erkenntnissen von Kwon et al. (1997) hat der Start speziell auf den kurzen Strecken eine große Bedeutung auf das Wettkampfergebnis. Unabhängig von der Starttechnik empfiehlt die Forschergruppe eine tiefe Körperposition, die sehr hohe Anforderungen an die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur stellt. Eine tiefe Startposition fordert vor allem hohe isometrische Kraftbeiträge der Kniestreckmuskulatur.

Untersuchungen zur spezifischen Leistungsdiagnostik beim Short Track wurden unter besonderer Berücksichtigung der Junioren 1996/97 in der Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der Technischen Universität München durchgeführt. Die erhobenen Parameter wurden von Brusis (2004) im Rahmen einer Promotionsarbeit aufgearbeitet und statistisch ausgewertet. Neben der Erhebung anthropometrischer Daten wurden Labor- und Feldtests zur Bestimmung der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit durchgeführt. Zur Untersuchung gehörten ein Stufentest und ein isokinetischer 96 s-Allout-Test auf dem Fahrradergometer. Eine aerobe Basisuntersuchung (Stufentest), ein maximaler Lauf aus der typischen Startposition über 55,5 m und zwei Läufe über die Wettkampfdistanzen 500 und 1000 m wurden im Feldtest durchgeführt. Bei allen Messungen kamen Spirometrie-, Herzfrequenz- und Laktatmessungen zum Einsatz. Die untersuchten Athleten (n = 10, 2 weiblich, 8 männlich) waren zum Untersuchungszeitpunkt zwischen 11 und 18 Jahre alt.

Die über alle Athleten gemittelte relative maximale Sauerstoffaufnahme beim Stufentest ergab $60,0 \pm 8,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Dies spiegelt eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit wieder (Brusis, 2004). Der Wert entspricht denen, wie sie im Eisschnelllauf beschrieben werden (van Ingen Schenau & de Groot, 1983; Nemoto et al., 1988; Snyder et al., 1993; Rundell & Pripstein, 1995; Rundell, 1996a). Beim aeroben Feldtest wurde mit $54,3 \pm 6,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ eine deutlich geringere relative maximale Sauerstoffaufnahme ermittelt. Auch dieser Wert stimmt mit denen von van Ingen Schenau et al. (1983; 1983), de Boer (1987), di Prampero et al. (1976) und Ferguson et al. (1969) beschriebenen Werten bei Eisschnellläufern überein.

Rundell et al. (1996b; 1996a) untersuchten den Einfluss der Körperhaltung auf die Sauerstoffaufnahme. Dabei kamen die Arbeitsgruppen zu dem Ergebnis, dass die maximale Sauerstoffaufnahme in der Eisschnelllaufposition signifikant geringer ist als beim aufrechten Laufen und bei der Fahrradergometrie. Als Gründe gaben die Autoren die fast horizontale Oberkörperhaltung und den damit geringeren Blutfluss und Sauerstofftransport in die Arbeitsmuskulatur an.

Brusis (2004) wies in seinen Untersuchungen nach, dass beim Fahrradbelastungstest ein linearer Zusammenhang zwischen der Sauerstoffaufnahme und der erbrachten Leistung besteht. Beim Feldtest konnte dieser lineare Zusammenhang nicht nachgewiesen werden. Der Autor spricht hier von einer nichtlinearen quadratischen Regression. Als Ursache für die Nichtlinearität wird von einigen Wissenschaftlern (di Prampero et al., 1976; Schulz et al., 1998) der zunehmende Luftwiderstand bei steigender Geschwindigkeit und dem damit verbundenen erhöhten Kraftaufwand angegeben.

Bei den Untersuchungen zur spezifischen Leistungsdiagnostik beim Short Track wurde beim anaeroben Labortest, dem 96 s-Allout-Test, eine hohe maximale Leistung ermittelt. Die durchschnittliche peak power, die zwischen der ersten und der dritten Sekunde erbracht wurde, betrug $680 \pm 210 \text{ Watt}$ (Brusis, 2004). Bei der Start- und Wettkampfsimulation (Lauf über 55,5 m) wurde eine durchschnittliche Startzeit von $7,74 \pm 0,49 \text{ s}$ erreicht. Diese Startzeit korreliert mit $r = -0,689$ mit der peak power (Brusis, 2004), was verständlich ist, da zu beiden Zeitpunkten die an-

aerobe-alaktazide Energiebereitstellung überwiegt, sowie hohe Anforderungen an die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur gestellt werden.

Aufgrund dessen, dass Brusis (2004) zwischen der Startsimulation und dem 500 m-Lauf einen engeren Zusammenhang ermittelte als zwischen der Startsimulation und dem 1000 m-Lauf ($r_{500} = 0,778$ vs. $r_{1000} = 0,689$) stimmt seine Schlussfolgerung mit der Aussage von Kwon et al. (1997) überein, dass der Start speziell auf den kurzen Strecken eine große Bedeutung auf das Wettkampfergebnis hat.

Würdigung und Zusammenfassung bisheriger Untersuchungen

Dem Stand der Forschung ist zu entnehmen, dass sich bisher nur wenige Wissenschaftler mit den spezifischen Leistungsvoraussetzungen beim Short Track befassen haben. Während Rundell (1996) den Einfluss des Windschattenfahrens beim Short Track auf die Herzfrequenz und das Laktatverhalten untersuchte, untersuchten Kwon und seine Mitarbeiter (1997) wie sich ein kurzzeitiges Krafttraining der Sprunggelenkmuskulatur auf die Startfähigkeit auswirkt. Zu den Protagonisten in Deutschland zählt Brusis (2004) mit seiner Promotionsarbeit. In dieser arbeitete er erhobene Daten von Untersuchungen zur spezifischen Leistungsdiagnostik beim Short Track auf, die 1996/97 in der Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der TU München erhoben wurden und wertete diese statistisch aus. Neben der Erhebung anthropometrischer Daten lag der Schwerpunkt seiner Arbeit in der Bestimmung der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit. Ebenfalls in München untersuchte Huber (2007) Short Track Athleten hinsichtlich der Kraft, die diese speziell im Kurvenlauf aufbringen.

Anhand der Ergebnisse dieser elementaren Studien und dem bisherigen Wissensstand hinsichtlich der Leistungsstruktur im Eisschnelllauf können für die Sportart Short Track folgende Leistungsvoraussetzungen zusammengefasst werden:

- Vor allem die *Taktik* und die *Technik*, speziell die Kurventechnik, haben einen entscheidenden Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung.
- *Anthropometrische Merkmale*, speziell die Körpergröße und die Beinlänge, bestimmen die Anzahl der Schritte und haben somit einen Einfluss auf die Technik.

- Da beim Short Track die Kraft zunächst auf das Eis übertragen werden muss, damit sich diese leistungsfördernd auswirken kann, werden spezielle Anforderungen an die *Standstabilisation* gestellt.
- Speziell der Start und der Kurvenlauf stellen hohe Anforderungen an die *dynamische und statische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur*.
- Durch die beim Short Track vorherrschende intervallartige Belastung (Überholmanöver, Tempoveränderungen durch Zwischensprints) über eine Zeitdauer (je nach Distanz) von ca. 42 s bis 2:30 min, gehen die Läufer eine große Sauerstoffschuld ein, wodurch hohe Anforderungen an die *anaerobe Leistungsfähigkeit* gestellt werden.
- Nach Kwon et al. (1997) und Brusis (2004) ist eine gute *Startfähigkeit* vor allem auf den kurzen Strecken leistungsbestimmend.
- Eine durchschnittliche relative maximale Sauerstoffaufnahme von $60 \pm 8,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, wie sie Brusis (2004) bei Junioren ermittelte, spiegelt eine gute *aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit* wieder.

3. Problembeschreibung und Zielstellung der Arbeit

Short Track zählt seit 1992 zu den olympischen Wintersportarten. Trotzdem haben sich bisher nur wenige Wissenschaftler mit der Leistungsstruktur dieser Sportart befasst. Lediglich einzelne Analysen zu spezifischen Fragestellungen sind in der Literatur zu finden. Eine umfassende Analyse spezifischer Anforderungen liegt bis dato nicht vor. Die Kenntnis der leistungsbestimmenden Faktoren und des personspezifischen Leistungsprofils ist jedoch eine notwendige Voraussetzung für ein optimales Training und damit für sportliche Erfolge.

Der aktuelle Forschungsstand hinsichtlich der Leistungsvoraussetzungen beim Short Track zeigt, dass viele verschiedene personale Leistungsvoraussetzungen einen Einfluss auf die sportliche Leistung haben. Aufgrund der Vielzahl der Leistungsvoraussetzungen werden im Rahmen dieser Arbeit speziell die konditionellen Fähigkeiten bezüglich ihrer Leistungsrelevanz beim Short Track untersucht. Die Einflüsse der technischen, taktischen und konstitutionellen Leistungsvoraussetzungen sowie der Einfluss der Leistungsbereitschaft auf die sportliche Leistung gehören somit nicht zum Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit.

Um die leistungsbestimmenden konditionellen Faktoren einer Sportart eindeutig zu benennen, ist die Kenntnis des Beziehungsgefüges Voraussetzung. Nach Bührle (1985; Bührle, 1989) ist das Ziel die Aufklärung voneinander unabhängigen und möglichst elementaren Dimensionen des sportmotorischen Verhaltens, die sich eigenständig durch spezifische Trainingsmethoden entwickeln lassen. Für die Aufdeckung dieser Dimensionen werden sog. dimensionsanalytische Strukturierungsansätze verwendet. In der Trainingswissenschaft kommen zur Modellbildung der Leistungsstruktur die explorative Faktorenanalyse in Verbindung mit der multiplen Regressionsanalyse als Standardverfahren zur Anwendung. Als weitere Möglichkeit werden lineare Strukturgleichungsmodelle diskutiert, die jedoch bis dato nur wenig eingesetzt wurden.

Aus dieser Problematik ergaben sich für diese Arbeit zwei Zielstellungen. Zum einen wurden die Analyseverfahren, die bisher zur Strukturierung sportlicher Leis-

tungen verwendet werden, hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile gegenübergestellt und zur Bestimmung der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale für die Sportart Short Track verwendet. Im Anschluss wurden die Analyseverfahren hinsichtlich ihres Erkenntnisgewinns gegenübergestellt und diskutiert. Das zweite Ziel, das eigentliche Hauptziel dieser empirisch-analytischen Arbeit, war die Bestimmung der Dimensionen, die für die komplexe Wettkampfleistung beim Short Track elementar sind. Die leistungsbestimmenden Faktoren sollten dabei unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen in einem Strukturmodell dargestellt werden.

4. Theoretische Vorüberlegungen

In diesem Kapitel geht es zum einen um die theoretische und sachlogische Begründung des in dieser Arbeit aufgestellten Hypothesensystems. Zum anderen werden die sportmotorischen Tests und Messindikatoren zusammengestellt, die bei der empirischen Untersuchung zum Einsatz kamen bzw. erhoben wurden.

Im ersten Abschnitt 4.1 erfolgt die Zusammentragung aller leistungsrelevanten konditionellen Parameter, die einen Einfluss auf die Leistung beim Short Track haben bzw. bei denen eine Abhängigkeit vermutet wird. Hierfür wird auf Kapitel 2.2 dieser Arbeit „Forschungsstand zur Leistungsstruktur der Sportart Short Track“ zurückgegriffen. Im Anschluss geht es um die Beschreibung und Darstellung der Zusammenhänge der logisch leistungsrelevanten Merkmale. Diese Zusammenhänge werden in einem *a priori Strukturmodell* grafisch erfasst. Die daraus resultierenden und zu überprüfenden *Hypothesen* werden im darauffolgenden Abschnitt 4.2 ausformuliert. Im Abschnitt 4.3 „Operationalisierung“ erfolgt die Zusammenstellung der Testverfahren und Messindikatoren, mit denen eine, den Gütekriterien entsprechende, quantitative Beurteilung, der in das Modell aufgenommenen konditionellen Parameter, vorgenommen werden konnte.

Für die Aufklärung des Bedingungsgefüges der konditionellen Fähigkeiten und die Zusammenstellung der Testverfahren wurden folgende Standardwerke der Trainingswissenschaft und Sportmedizin benutzt:

- ❖ „Handbuch Trainingslehre“ (2. Auflage) von Martin et al. (1993)
- ❖ „Lehrbuch der Sportmedizin“ von R. Rost (Hrsg.) (2002)
- ❖ „Optimales Training“ (12. Auflage) von J. Weineck (2002)
- ❖ „Sportphysiologie“ (9. Auflage) von H. de Marées (2003)
- ❖ „Einführung in die Trainingswissenschaft“ (3. Auflage) von Hohmann et al. (2003)
- ❖ „Physiology of Sport and Exercise Science“ (4. Auflage) von J. H. Wilmore et al. (2008)
- ❖ „Sportmedizin“ (5. Auflage) von W. Hollmann & H. K. Strüder (2009)

4.1 Hypothesen- und Modellbildung

4.1.1 Logisch leistungsrelevante Merkmale beim Short Track

Beim Short Track werden hohe Anforderungen sowohl an die *statische (isometrische)* als auch an die *dynamische Maximalkraft* der Beinstreckmuskulatur gestellt. Dabei stellt die tiefe Startposition (Kwon et al., 1997) und die Gleitphase (de Groot et al., 1987) hohe Anforderungen an die isometrische Maximalkraft. Die höchsten dynamischen Kräfte wurden bisher in der Abdruckphase während des Kurvenlaufs gemessen (Huber, 2007). Huber (2007) ermittelte am rechten Bein bei einem Kniewinkel von 130° und einer Geschwindigkeit von $12,3 \text{ m/s}$ eine Kraft von 2100 N . Diese sehr hohe dynamische Kraft wurde nach einer statischen Phase von $0,6\text{-}1 \text{ s}$ Länge mit einer mittleren Kraft von ca. 1750 N aufgebracht.

Zur Erhaltung einer möglichst hohen Geschwindigkeit v in der Kurve und um nicht aus der Kurve getragen zu werden, werden hohe Anforderungen an die Maximalkraft, speziell der Bein- und Rumpfmuskulatur, gestellt. Während des Kurvendurchlaufs (Radius der Kurve $r = 8 \text{ m}$) erhöht sich durch die Zentrifugalkraft die Kraft F , die auf den Körper wirkt, die Zentripetalkraft, um ein Vielfaches ($F = m \frac{v^2}{r}$). Reduziert beispielsweise ein 80 kg schwerer Läufer die Rundenzeit von 11 Sekunden ($v = 10,1 \text{ m/s}$) auf 9 Sekunden ($v = 12,3 \text{ m/s}$), erhöht sich die Zentripetalkraft von 1020 N um das 1,5fache auf 1513 N .

Aufgrund des tiefen Körperschwerpunktes müssen die Athleten während des gesamten Laufs statische Haltearbeit leisten. Diese statische Arbeitsweise betrifft nicht nur die Bein- sondern auch die *Rumpfmuskulatur* (Letzelter & Letzelter, 1983). Während des gesamten Laufes sollte der Oberkörper möglichst ruhig in horizontaler Stellung gehalten werden, da eine Unterdrückung von unnötigen Mitbewegungen, die nicht zur Vorwärtsbewegung beitragen (z. B. Pendelbewegungen) zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades²¹ führen (Frederick, 1993).

²¹ Biomechanisch wird die Bewegungseffizienz als der Wirkungsgrad definiert, der das Verhältnis vom erforderlichen biochemischen Energieumsatz zur erbrachten physikalischen Leistung beschreibt (Frederick, 1993).

Frederick (1993) spricht von einem effizienteren Laufstil. Der Vorteil liegt darin, dass eine Minimierung der effektiv durchgeführten Arbeit für eine gleichartige sportliche Belastung den Energiebedarf des Sportlers vermindert.

Die Intensivierung der Geschwindigkeit speziell beim Start, sowie bei der Einleitung von Überholmanövern und bei kurzzeitigen Sprints erfolgt durch explosives Abstoßen (de Groot et al., 1987). Bedingt durch die zyklische Bewegungsausführung beim Short Track, die mit möglichst hoher Geschwindigkeit zu absolvieren ist (lokomotorische Schnelligkeit), bedarf es eines hohen Niveaus an *Beschleunigungsfähigkeit*. Die Beschleunigung hängt maßgeblich von der *Schnellkraft* der beanspruchten Muskulatur ab und ist Voraussetzung, um in möglichst kurzer Zeit das Kraftmaximum zu erreichen (Hollmann & Strüder, 2009). Bedingt durch die Fortbewegung auf Kufen und auf glattem Eis, ist davon auszugehen, dass beim Abdruck die *Standstabilisation* eine wichtige Rolle spielt. Nach Quinn et al. (2003) ist für den Abdruck speziell beim Start und im Kurvenlauf eine *hohe Schnellkraft der Sprunggelenkmuskulatur* notwendig.

Mit einer Laufzeit von ca. 42 s über die kürzeste Wettkampfstrecke (500 m) bis ca. 2:30 min für die 1500 m liegt die Belastungszeit im Bereich der Kurzzeitausdauer mit Übergang zur Mittelzeitausdauer. Die Energiebereitstellung läuft somit überwiegend auf dem anaerob-laktaziden Weg ab (Hohmann et al., 2002). Zusätzlich kommt es durch die fast horizontale Oberkörperposition zu einem geringeren Blutfluss und Sauerstofftransport in die Arbeitsmuskulatur (Rundell, 1996b; a). Aufgrund der hohen muskulären Belastung speziell im Kurvenlauf (Huber (2007) ermittelte durchschnittliche Belastungen von 60-65% der Maximalkraft) kommt es zur Kompression bzw. zum Verschluss intramuskulärer Gefäße. Dies hat zur Folge, dass überwiegend *anaerobe Stoffwechselvorgänge* in Anspruch genommen werden müssen.

Als weiteres leistungsrelevantes Merkmal ist die Regenerationsfähigkeit zu nennen. Da Short Track Athleten bei einem Wettkampf mehrere Läufe innerhalb weniger Stunden absolvieren müssen, wird angenommen, dass die Regenerationsfähigkeit einen Einfluss auf die Wettkampfleistung hat. Die Optimierung der Erho-

lungsfähigkeit erfolgt vor allem durch eine gut ausgebildete Grundlagenausdauer (Martin et al., 1993; Hohmann et al., 2002; Weineck, 2002). Zudem ist ein umfangreiches und intensives Training nur auf Basis einer guten Ausdauer möglich. Aus diesen Gründen wird vermutet, dass die *aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit* die Leistung beim Short Track beeinflusst.

Zusammenfassend ergeben sich folgende logisch leistungsrelevanten Merkmale:

- Isometrische und dynamische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur
- Schnellkraft der Beinstreckmuskulatur
- Rumpfkraft
- Standstabilisation
- Beschleunigungsfähigkeit
- Anaerobe laktazide Leistungsfähigkeit
- Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit

4.1.2 Modellbildung

Zusammenhänge der komplexen Kraftfähigkeiten

Aufgrund dimensionsanalytischer Ergebnisse empfehlen Bührle & Schmidtbleicher die Einteilung der Kraft in komplexe Fähigkeiten (Bührle & Schmidtbleicher, 1981; Schmidtbleicher, 1984). Auf Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes erfolgt eine Einteilung in Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer. Die Reaktivkraft, als spezielle Ausprägung der Schnellkraft im kurzen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, ist eine relativ eigenständige motorische Dimension und wurde zuletzt in das Strukturierungsmodell aufgenommen (Pampus, 2001). Zu beachten gilt, dass Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer nicht gleichrangig nebeneinanderstehen. Diese sind vielmehr so anzuordnen, dass sowohl die Schnellkraft, die Reaktivkraft als auch die Kraftausdauer in hohem Maße vom willkürlichen aktivierbaren Kraftpotential und somit prinzipiell von der Maximalkraft, abhängig sind (vgl. Martin et al., 1993, S. 102).

Die Schnellkraftfähigkeit ist disziplinspezifisch ausgeprägt und differenziert sich in zwei Komponenten: die Start- und die Explosivkraft (Schnabel et al., 1997). Da die Startkraft nur leistungsbestimmend ist, wenn auf ein Ereignis schnell mit hoher

Anfangsbeschleunigung reagiert werden muss, wie beispielsweise beim Boxen oder Fechten (Schmidtbleicher, 1987), hat die Startkraft beim Short Track keine Relevanz. Da es beim Short Track darauf ankommt, auf dem vorhandenen Beschleunigungsweg eine hohe Endgeschwindigkeit zu erzielen, ist davon auszugehen, dass die Explosivkraft eine leistungsbestimmende Komponente darstellt. „Die Explosivkraft beschreibt die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen bereits begonnenen Kraftanstieg maximal weiter zu entwickeln“ (Hollmann & Strüder, 2009, S. 189).

Die Explosivkraft ist abhängig von der Kontraktionsgeschwindigkeit der motorischen Einheiten (mE) der FT-Fasern, der Zahl der kontrahierten mE und der Kontraktionskraft der rekrutierten Fasern (Weineck, 2002). Aufgrund des proportional umgekehrten Zusammenhangs zwischen Kraft F und Geschwindigkeit v , bestimmt die maximale statische Kraft (iMVC) wesentlich die Explosivkraft (Grosser & Zintl, 1994; Hollmann & Strüder, 2009)²².

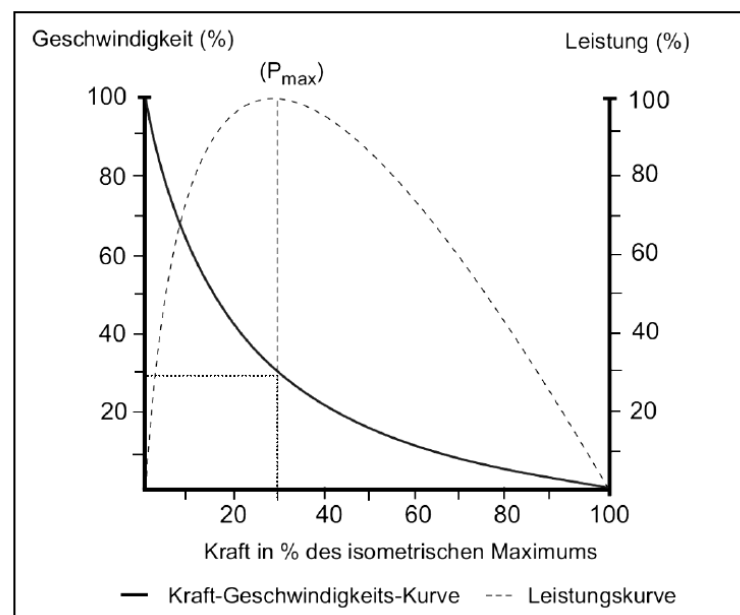


Abb. 4: Kraft-Geschwindigkeits-Kurve und Muskelleistungskurve (Olivier, 2007)

²² Durch Steigerung der Maximalkraft kann die Bewegungsgeschwindigkeit erhöht werden. Auch wenn dies grundsätzlich zutrifft, gilt es zu beachten, dass in Schnellkraftbewegungen gegenüber geringen Widerständen die maximale Verkürzungsgeschwindigkeit der begrenzende Faktor ist. In diesem Fall führt eine Maximalkraftsteigerung zu keiner weiteren Leistungsverbesserung (vgl. Grosser & Zintl, 1994, S. 47).

Der Abbildung 4 ist zu entnehmen, dass die maximale Schnellkraftleistung (P_{max}) bei etwa einem Drittel der Maximalgeschwindigkeit (v_{max}) erreicht wird und in diesem Beispiel auch bei einem Drittel der maximalen statischen Kraft²³.

Zusammenhang zwischen Rumpf- und Beinstreckkraft

Für die Bewältigung hoher Lasten im aufrechten Stand, wie es z. B. bei Kniebeugen mit Zusatzlasten der Fall ist, ist eine gut ausgebildete Rumpfmuskulatur Voraussetzung. Nur bei ausreichender Stabilisierung der Körpermitte kann im aufrechten Stand mit maximalen Lasten zur Verbesserung der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur trainiert werden. Andersherum steigert das Training zur Entwicklung der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur, durchgeführt unter Einsatz von Zusatzlasten im Stand, gleichzeitig die Rumpfkraft. Aus diesem Grund wird ein bilateraler Zusammenhang zwischen der Rumpfkraft und den Maximalkraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur vermutet.

Zusammenhang zwischen den Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur und der Standstabilisation

Dem M. quadriceps femoris wird eine hohe funktionelle Relevanz für die Aufrechterhaltung der statischen und dynamischen posturalen Kontrolle zugeschrieben (Moxley Scarborough et al., 1999; Barbeau et al., 2000).

²³ Untersuchungen an Einzelmuskeln (isolierter Muskel) haben gezeigt, dass die maximale Leistung bei einem Krafteinsatz von ca. 30-35% der Maximalkraft erreicht werden (Grosser & Zintl, 1994). Für die Tätigkeit von Muskelgruppen bzw. Muskelschlingen gelten anderen Prozentzahlen, die nach Grosser und Zintl (1994) für jede Trainingsübung eigens bestimmt werden müssen. Nach Zatsiorsky (2000) erreicht die Leistung, da $iMVC$ und v_{max} umgekehrt proportional sind, bei optimalen Kraft- und Geschwindigkeitswerten ihr Maximum in etwa bei einem Drittel der maximalen Geschwindigkeit und etwa bei der Hälfte der maximalen Kraft. Die maximale Leistung beträgt dementsprechend ein Sechstel des Wertes, der erreicht werden könnte, wenn die Maxima von Kraft und Geschwindigkeit gleichzeitig auftreten würden.

Einflussfaktoren auf die Beschleunigungsfähigkeit

Nach Hollmann und Hettinger (2000) hängt die Sprintbeschleunigung maßgeblich von der dynamischen Kraft (Schnellkraft) der beanspruchten Muskulatur ab. Hohmann et al. (2002) betonen, dass die Sprintfähigkeit eine komplexe Schnelligkeitsfähigkeit darstellt, die nicht nur von der Schnelligkeit sondern vor allem von der Schnellkraft, speziell von der Explosivkraft, abhängt. Beim Start ist die Beschleunigung aufgrund der tiefen Startposition ebenso von der statischen Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur abhängig (Kwon et al., 1997). Da beim Short Track die Kraft zunächst auf das Eis übertragen werden muss, ist davon auszugehen, dass auch die Standstabilisation einen Einfluss auf die Beschleunigungsfähigkeit ausübt.

Zusammenhänge der Ausdauerleistungsfähigkeiten

Als Ausdauer wird die Fähigkeit bezeichnet, eine bestimmte muskuläre Leistung lang andauernd zu erbringen. Aus diesem Grund wird Ausdauer allgemein als Ermüdungswiderstandsfähigkeit definiert (Schnabel et al., 1997; Hollmann & Hettinger, 2000; Hohmann et al., 2002; de Marées, 2003; Wilmore et al., 2008; Hollmann & Strüder, 2009).

Für die Aufrechterhaltung muskulärer Leistungen über eine gegebene Zeit bedarf es einer entsprechenden Energiebereitstellung. Während der Muskelkontraktion kommt es zum Abbau von ATP zu ADP (primäre Energiebereitstellung). Da die lokal vorrätige ATP-Menge bereits nach ein bis zwei maximalen Kontraktionen verbraucht ist, muss die Resynthese von ATP aus ADP durch sekundäre Energiequellen sichergestellt werden. Hierbei werden aerobe und anaerobe Energiebereitstellungsformen unterschieden. Die Kreatinphosphatpaltung ist zeitlich gesehen der erste Mechanismus der sekundären Energiebereitstellung und verläuft anaerob-alkalisch. Die in der Muskulatur gespeicherte Kreatinphosphatmenge reicht allerdings in Abhängigkeit vom Trainingszustand nur für zehn bis maximal 20 s aus. Bei länger andauernden Belastungen (über 10 min) wird ein Großteil der Energie oxidativ bereitgestellt. Die zugrunde liegende Fähigkeit wird deshalb als aerobe Ausdauer bezeichnet. Im Gegensatz dazu dominiert bei maximalen Belastungen

von bis zu zwei Minuten Dauer die anaerobe Ausdauer (Hollmann & Hettinger, 2000; Hohmann et al., 2002).

Bei hochintensiven Belastungen kann der hohe Energiebedarf nur durch anaerobe Energiebereitstellungswege gedeckt werden. Nach Ausschöpfung des im Muskel gespeicherten Kreatinphosphats kommt es zur vermehrten Produktion von Pyruvat. Dieses wird zu Laktat hydriert und nimmt dabei Wasserstoffionen auf. Da unter physiologischen Bedingungen das Laktat zu 95% dissoziiert vorliegt, steigt die Wasserstoffionenkonzentration proportional zur Laktatkonzentration an. Durch die Anhäufung der H^+ -Ionen kommt es zur Übersäuerung der Muskulatur (pH-Wert-Abfall) (de Marées, 2003). Nach Schnabel et al. (vgl. 1997, S. 152) wird der Laktatabbau durch eine gut ausgebildete aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit beschleunigt.

Weineck (2002) betont, dass die Ausdauerleistungsfähigkeit auf der allgemeinen (= Grundlagenausdauer) und speziellen Ausdauer beruht. Dabei bildet die Grundlagenausdauer die Grundlage für jede spezielle Ausdauer. Dies liegt darin begründet, dass beim Grundlagenausdauertraining die Voraussetzungen in Bezug auf die Stoffwechsel- und Herz-Kreislaufparameter (z. B. Erhöhung der Kapillardichte, Herzvergrößerung, Verbesserung der Sauerstofftransportfunktion des Blutes) ausgebildet werden, die für intensive Belastungen und eine schnelle Wiederherstellung nach Belastung verantwortlich sind.

Gleichzeitig gilt es zu berücksichtigen, dass das Ausdauertraining den Erfordernissen der Sportart angepasst werden muss. Ein Zuviel an Ausdauer kann die Schnelligkeits- und Schnellkrafteigenschaften des Sportlers beeinträchtigen (Hollmann et al., 1981; Roth et al., 1981; Kindermann, 1984; Föhrenbach et al., 1991; Wineck, 2002). Beim Short Track könnte dies zu einer Geschwindigkeitsreduzierung bei explosiven Antritten führen. Die Ursachen dafür sind in biochemischen Veränderungen im Muskel zu finden. Nach Howald (1989) kann es im Extremfall dazu kommen, dass FT-Fasern in ST-Fasern umgewandelt werden. Umgekehrt, „kann ein zu viel an spezieller Ausdauer, speziell in Form der Schnelligkeitsausdauer, zu einer Abnahme der Grundlagenausdauer führen und parallel dazu zu einer verschlechterten Erholungsfähigkeit“ (Weineck, 2002, S. 146).

4.1.3 Das a priori Strukturmodell

Die zuvor beschriebenen Zusammenhänge der logisch leistungsrelevanten Merkmale werden in Abbildung 5 in einem Strukturmodell, angelehnt an das Pyramidenmodell von Hohmann (1985), grafisch erfasst. Die Zielebene, die Pyramiden- spitze, bildet die komplexe Wettkampfleistung. Die erste Erklärungsebene wird ausgefüllt durch die Zuordnung von Streckenabschnitten bzw. durch die primären Teilqualifikationen (Beschleunigungsfähigkeit und Schnelligkeitsausdauer²⁴). In der 2. Erklärungsebene befinden sich die sekundären Teilqualifikationen (konditionelle Fähigkeiten), über die die Primären wirksam werden.

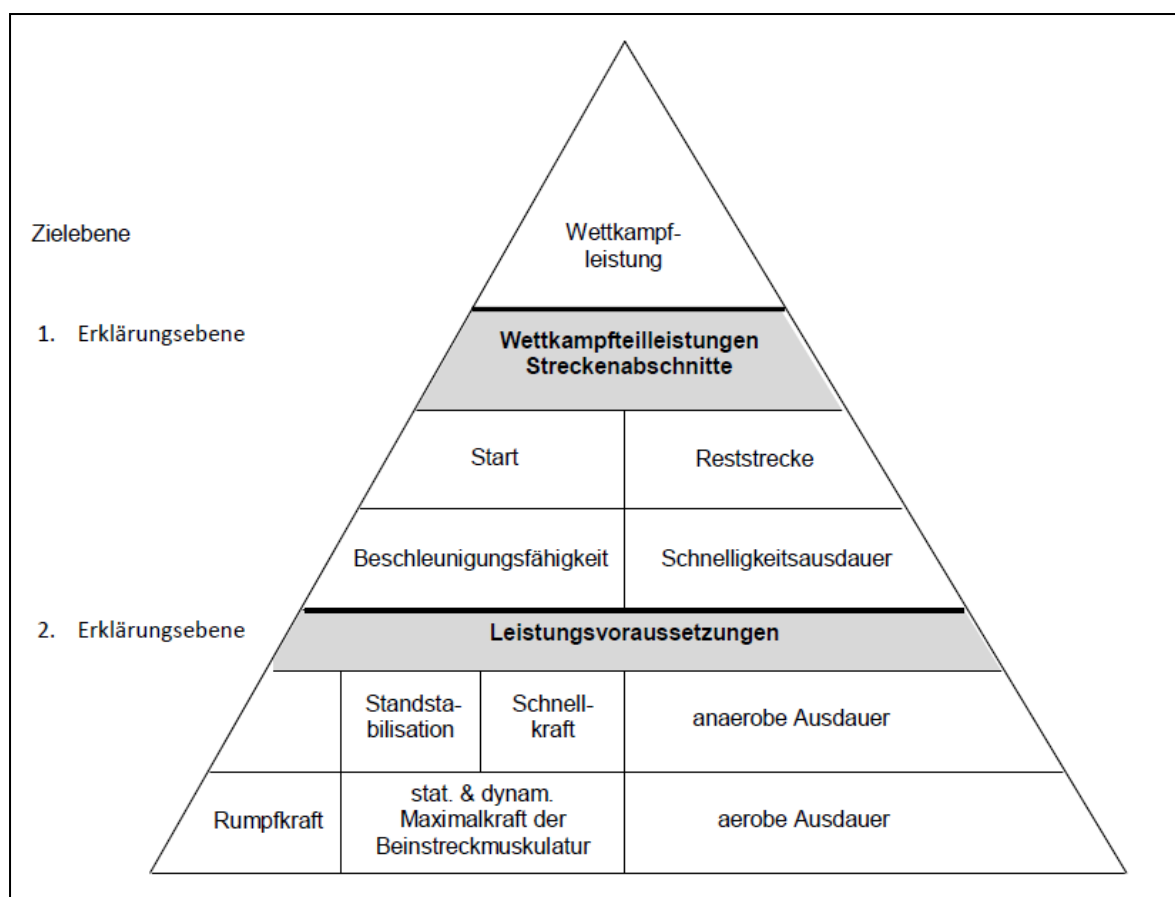


Abb. 5: a priori Modell der Leistungsstruktur beim Short Track

²⁴ Unter Schnelligkeitsausdauer wird in der Trainingslehre die Fähigkeit verstanden, die Phase der höchsten Geschwindigkeit über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten zu können (Weineck, 2002).

4.2 Hypothesenformulierung

Bezug nehmend auf die beschriebenen Zusammenhänge der logisch leistungsrelevanten Merkmale und das a priori aufgestellte Strukturmodell lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

- H₁: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und der Rumpfkraft.
- H₂: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Standstabilisation.
- H₃: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Schnellkraft.
- H₄: Je besser die Standstabilisation, desto besser die Beschleunigungsfähigkeit.
- H₅: Je besser die Schnellkraft, desto besser die Beschleunigungsfähigkeit.
- H₆: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Beschleunigungsfähigkeit.
- H₇: Je besser die Beschleunigungsfähigkeit, desto besser die Wettkampfleistung.
- H₈: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Wettkampfleistung.
- H₉: Je besser die Rumpfkraft, desto besser die Wettkampfleistung.
- H₁₀: Je besser die Schnellkraft, desto besser die Wettkampfleistung.
- H₁₁: Je besser die Standstabilisation, desto besser die Wettkampfleistung.
- H₁₂: Je besser die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit, desto besser die anaerobe Leistungsfähigkeit.
- H₁₃: Je besser die anaerobe Leistungsfähigkeit, desto besser die Wettkampfleistung.
- H₁₄: Je besser die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit, desto besser die Wettkampfleistung.

4.3 Konstrukt-Operationalisierung

In diesem Abschnitt geht es um die Wahl geeigneter Messindikatoren und -verfahren, sog. sportmotorische Tests, die eine quantitative Beurteilung der einzelnen leistungsrelevanten Merkmale gewährleisten. Dabei sollen notwendige Anforderungen an die Gütekriterien (Objektivität, Reliabilität und Validität) im ausreichenden Maße erfüllt werden.

4.3.1 Messindikatoren der sportlichen Leistung

In der Trainingswissenschaft werden für das Ergebnis einer erbrachten sportlichen Leistung zwei Dimensionen unterschieden. Dabei wird der *Rangplatz* einer Einzelperson oder Mannschaft unter den Teilnehmern eines Wettkampfes zugeordnet. Ihm gegenüber steht die *Maßzahl*, die den Bewegungshandlungen einer einzelnen Person oder Gruppe zugeordnet wird. Carl (1983) schlägt vor, den Rangplatz mit dem Begriff *sportlicher Erfolg* zu belegen und die Maßzahl mit dem Begriff der *sportlichen Leistung*. Daraus lässt sich folgende Begriffsbestimmung ableiten:

„Sportliche Leistung ist das Ergebnis einer sportlichen Handlung, das speziell im Wettkampfsport seinen Niederschlag in einer Maßzahl findet, die der Bewegungshandlung nach vorher festgelegten Regeln zugeordnet wird“ (Martin, et al., 1993, S. 23).

Da der Rangplatz stark vom Niveau und der Leistungsfähigkeit der Konkurrenz abhängt, bietet es sich an, beim Short Track die Bestzeiten über die jeweiligen Einzelwertungs-Wettkampfstrecken als Leistungskriterium heranzuziehen. Vorteil dieser Maßzahl ist, dass sie absolut objektivierbar ist.

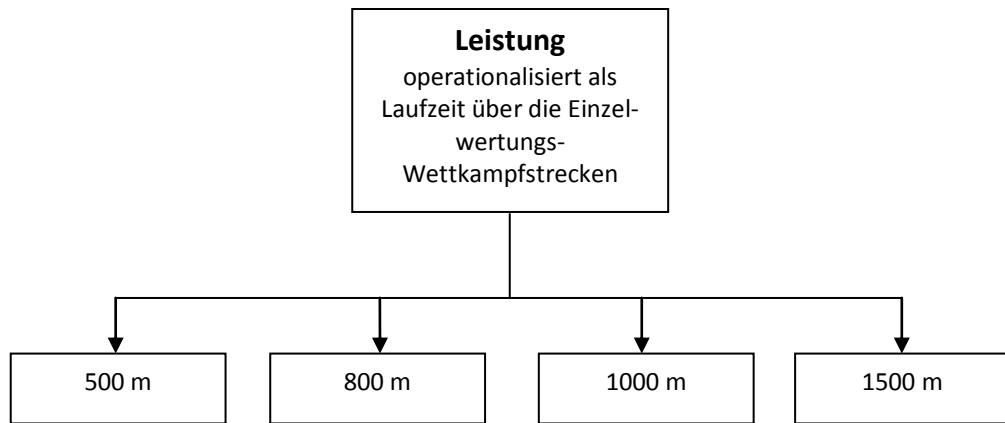


Abb. 6: Messindikatoren zur Beurteilung der sportlichen Leistung

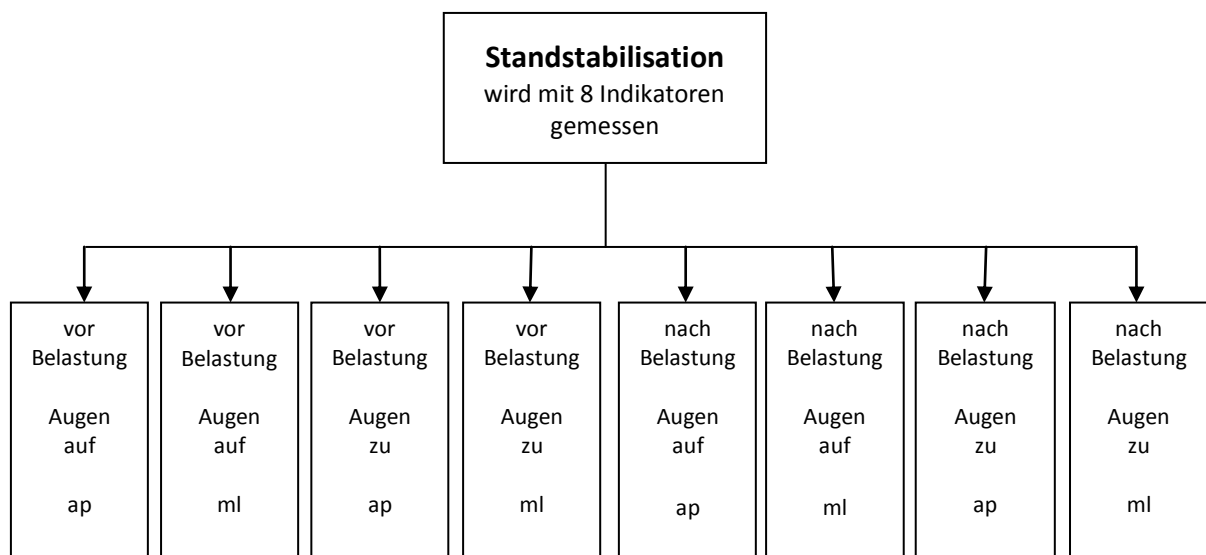
4.3.2 Messindikatoren der Standstabilisation

Unter *Standstabilisation* soll im Rahmen dieser Arbeit die Balancierfähigkeit des eigenen Körpers über seiner Standfläche verstanden werden. Balancieren bedeutet im Zustand der Ruhe, den eigenen Körperschwerpunkt entgegen der Schwerkraft und von außen angreifenden Kräften über der Unterstützungsfläche zu halten (Bruhn, 2009).

Nach Bruhn (2009) bieten Perturbationen der posturalen Kontrolle derzeit den größten Erkenntnisgewinn, da sie den eigentlichen Problemsituationen, wie z. B. Stürze, nachempfunden sind. Bei diesen Testmethoden wird durch Auslenkung einer Standplattform die statische posturale Kontrolle der Testpersonen destabilisiert. Um aussagefähige Erkenntnisse zu gewinnen, sollte die posturale Kontrolle gezielt von außen mit hoher Dynamik destabilisiert werden. Die Parameter (Bewegungen der Standplattform im Raum), die dabei erhoben werden, quantifizieren die reflektorischen Kompensationsreaktionen, die dem Wiedererlangen der Gleichgewichtssituation dienen. Nach Bruhn (2009) können bei dieser Belastungssituation spezifische Defizite in der Wahrnehmung und der Wahrnehmungsverarbeitung durch selektive Ausschaltung sensorischer Ressourcen (z. B. durch das Schließen der Augen) analysiert werden. Kollmitzer et al. (2003) verweisen darauf, dass das zentrale Nervensystem, zur Aufrechterhaltung der Stabilität, afferente Informationen über visuelle, vestibuläre und propriozeptive Kanäle benutzt.

Da die Läufer beim Short Track nicht auf abgetrennten Bahnen, sondern direkt gegeneinander (nebeneinander) laufen, kommt es speziell bei Überholmanövern

zu seitlichen Zusammenstößen. Deshalb bieten sich, neben den in der Literatur häufig genannten Tests mit Auslenkung in anterior-posteriorer Richtung, Tests mit Auslenkung in medio-lateraler Richtung an. Auch während des Rennverlaufs, bei dem es aufgrund der zunehmenden Übersäuerung zu einer Ermüdung der beanspruchten Muskulatur kommt, werden hohe Anforderungen an die Standstabilisation gestellt. Aus diesem Grund sollte untersucht werden, ob sich die Kompensationsmechanismen im ausgeruhten Zustand von denen nach einer Belastung unterscheiden. Abbildung 7 stellt eine Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen zur Beurteilung der Standstabilisation dar.



ap = Auslenkung antero-posterior, ml = Auslenkung medio-lateral

Abb. 7: Messindikatoren zur Beurteilung der Standstabilisation

4.3.3 Messindikatoren der Kraftfähigkeiten

4.3.3.1 Messung der Maximalkraft

Die Maximalkraft ist die höchstmögliche Kraft, die das Nerv-Muskel-System bei maximaler willkürlicher Kontraktion auszuüben vermag (Martin et al., 1993; Weineck, 2002). Dabei unterscheidet man eine *statische (isometrische) Maximalkraft*, nach Frey (1977) die höchste Kraft, die gegen einen unüberwindlichen Widerstand aufgebracht werden kann, von der dynamischen Maximalkraft. Im anglo-amerikanischen Sprachraum wird die isometrische Maximalkraft als *isometric maximal voluntary contraction*, kurz iMVC, bezeichnet (Knuttgen & Kraemer, 1987).

Für die Messung der Maximalkraftfähigkeit der Beinstreckmuskulatur, die sich anhand des isometrisch gemessenen Kraftmaximums (iMVC) abschätzen lässt, kommt in der Praxis häufig das sog. Beinkraftmessgerät (BKM) zur Anwendung. Mit dieser Messvorrichtung können in der Regel beidbeinige als auch einbeinige isometrische Kraftmaxima gemessen werden. Ein Nachteil bei dieser Kraftmessung ist allerdings, dass nicht die Kraft einzelner Muskeln, sondern agonistischer Muskelgruppen samt Synergisten gemessen wird.²⁵ Weiterhin ist zu beachten, dass bei Anwendung dieser Methode der Maximalkraftwert von den Gelenkwinkeln abhängig ist. Aus diesem Grund gilt es zu berücksichtigen, dass nur Werte aus Messungen mit gleichen Winkeln verglichen werden können.

Für die Bestimmung der Maximalkraft der Rumpfmuskeln bieten sich, wie zur Bestimmung der Maximalkraft der Beine, isometrische Messverfahren an. Allerdings sind hierfür spezielle Messgeräte notwendig, auf die im Rahmen dieser Studie nicht zurückgegriffen werden konnte. Da in der Literatur funktionelle Kräftigungsübungen für die Rumpfmuskulatur beschrieben werden, fanden einige ausgewählte Übungen als sportmotorische Tests Anwendung. Aufgrund der Messmethodik sind diese Tests zur Bestimmung der Rumpfkraft der Kraftausdauer zuzuordnen und werden deshalb weiter hinten beschrieben.

Die *dynamische Maximalkraft* ist die höchste Kraft, die das Nerv-Muskel-System bei willkürlicher Kontraktion innerhalb eines Bewegungsablaufes realisieren kann. Die isometrisch ermittelte Maximalkraft ist stets größer als die dynamische Maximalkraft, wobei zwischen beiden ein enger Zusammenhang besteht (Müller, 1987). Die Differenz zwischen isometrischer und dynamischer Maximalkraft, die einige Autoren mit 5-20% angeben, hängt von verschiedenen Faktoren, u. a. vom Kraftniveau und Trainingszustand, von der Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels²⁶, von der Messtechnik und vom Muskel- bzw. von der Muskelschlinge ab. Je

²⁵ Zu den Protagonisten am BKM zählen der M. gluteus maximus, der M. quadriceps femoris und der M. triceps surae.

²⁶ „Je schneller der Muskel sich verkürzt, desto weniger Querbrücken sind gleichzeitig geschlossen, da ein Teil der Myosinköpfe sich vom Aktin lösen muss, um einen neuen Greifvorgang einzuleiten.“

nach Komplexität der auszuführenden Bewegung wirken sich zusätzlich koordinative Faktoren auf die dynamische Maximalkraft aus (Bührle, 1985; Martin et al., 1993; Weineck, 2002).

Da sich bei dynamischen Kraftmessungen die Gliedmaßen um eine Gelenkachse bewegen (= Rotation) wird nicht die Kraft direkt, sondern das sog. Drehmoment²⁷ der Kraft ermittelt (de Marées, 2003). Die ausgegebenen Kraftwerte entsprechen meist den abgelesenen Werten der Kraftmesseinrichtungen.

Für die Messung der dynamischen Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur bieten sich sog. Drehmomenttests auf dem Fahrradergometer an. Bei diesen Tests wird die maximal erbrachte Leistung als *peak power* bezeichnet. Nach der Hill'schen Kraft-Geschwindigkeitskurve²⁸ lässt sich für eine gegebene Kontraktionsgeschwindigkeit eine entsprechende Muskelleistung bestimmen (siehe Abbildung 4). Im isokinetischen Betriebsmodus kann durch die konstante Trittfrequenz über die Leistung direkt auf das Drehmoment geschlossen werden (Stapelfeldt, 2001; Sust, 2009).

4.3.3.2 Messung der Schnellkraft

Angenommen wird, dass beim Short Track, vor allem beim Start und bei Überholmanövern, die Schnellkraft eine entscheidende Rolle spielt. In diesen Situationen erfordert die Bewegung in einer möglichst kurzen Zeit die Entwicklung einer mög-

leiten. Da nur geschlossene Querbrücken Kraft übertragen, ist die während einer konzentrischen Kontraktion zu realisierende Kraft geringer, als die isometrische Maximalkraft“ (Stapelfeld, 2001, S. 29).

²⁷ Drehmoment = Kraft * Hebelarm

²⁸ Die Hillsche Gleichung wird zur Analyse, Beschreibung und Optimierung von Bewegungen und Trainingsmethoden genutzt. Um die Entwicklung des Wissens um die Hillsche Gleichung in groben Zügen nachzuvollziehen und dabei die Entwicklung ihres Gültigkeitsbereiches, aber auch ihrer Einschränkungen klarer zu werden wird an dieser Stelle auf die Arbeit von Sust verwiesen (Sust, 2009).

lichst hohen Kraft. Nach de Mareés (2003) ist der Kraftimpuls als Produkt aus Kraftdifferenz (ΔF) und Zeitdifferenz (Δt) umso größer, je steiler der Kraftanstieg erfolgt und je größer die hierbei entwickelte maximale Kraft ist. Die größte Kraftzunahme pro Zeiteinheit während eines Kraft-Zeit-Verlaufes wird als *Explosivkraft* (maximum rate of force development = MRFD) bezeichnet (Werchoshanskij & Tatjan, 1975; Bührle, 1985). Diese kann sowohl unter isometrischen Kontraktionsbedingungen als auch während dynamisch konzentrischer Muskelkontraktion entwickelt werden.

Anhand der aufgezeichneten Kraft-Zeit-Verläufe während der Messung der beidbeinigen und einbeinigen isometrischen Kraftmaxima am BKM, kann für die Beinstreckmuskulatur, wie in Abbildung 8 grafisch dargestellt, der Explosivkraftparameter bestimmt werden.

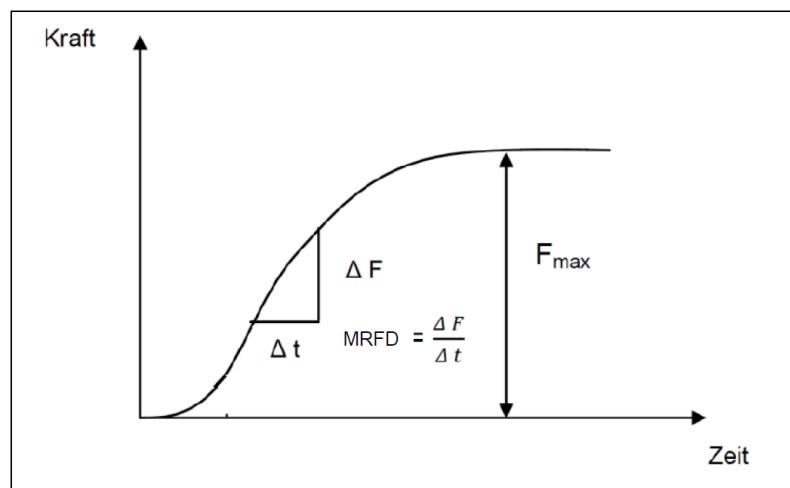


Abb. 8: Kraftanstiegskurve zur Bestimmung der Maximal- und Explosivkraft (nach Bührle & Schmidtbleicher, 1981)

Für die Beurteilung der Krafftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur standen somit Indikatoren für die dynamische und isometrische Maximalkraft sowie für die Schnellkraft zur Verfügung. Abbildung 9 stellt einen Überblick über die entsprechenden Messindikatoren dar.

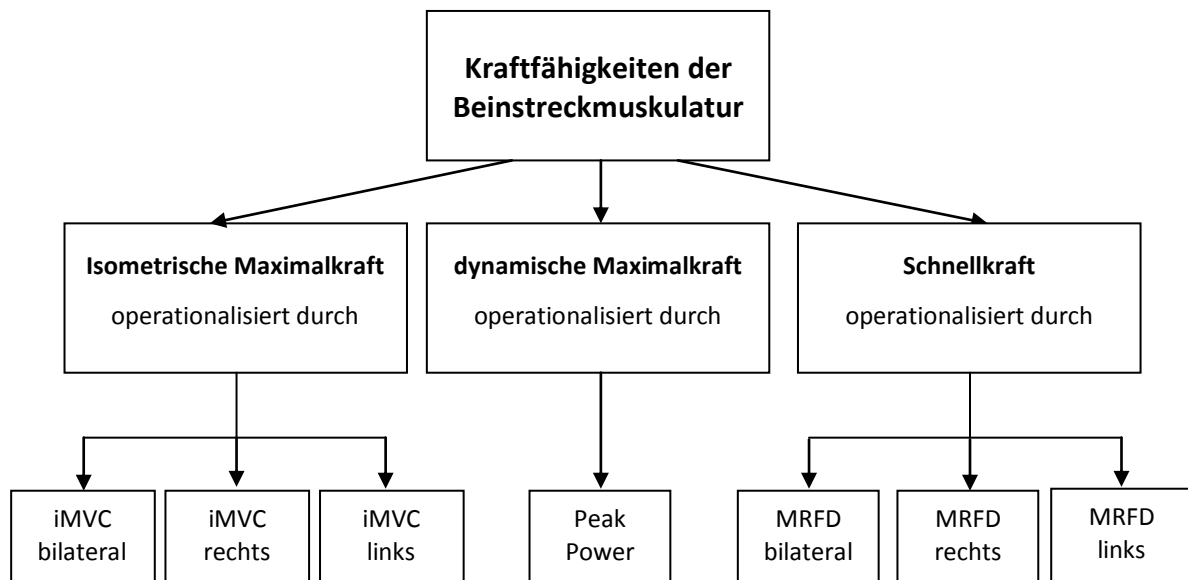


Abb. 9: Messindikatoren der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur

4.3.3.3 Messung der Kraftausdauer

Bei Kraftausdauerleistungen spielen nach Martin et al. (1993) zwei Merkmale eine Rolle. Zum einem hängt die Bewältigung einer Last von der Maximalkraft ab. Zum anderen ist die Dauer der Lastbewältigung von der Stoffwechselleistung der Muskulatur abhängig. „Dieses Merkmal, Abhängigkeit von der Stoffwechselleistung, ist das eigentliche Charakteristikum der Kraftausdauer und dasjenige, das sie von den anderen Erscheinungsformen der Kraft unterscheidet“ (Martin et al., 1993, S. 108).

Schmidtbleicher (1989, S. 13) bezeichnet die Kraftausdauer

„als die Fähigkeit des neuromuskulären Systems eine möglichst große Impulssumme in einem definierten Zeitraum (längstens 2 Minuten bei maximaler Auslastung) gegen höhere Lasten (mehr als 30% der Maximalkraft) zu produzieren und dabei die Reduktion der produzierten Impulse im Verlauf der Belastung möglichst gering zu halten.“

Somit ist ein Indikator für die Kraftausdauer der *individuelle Verringerungsbetrag des maximalen Kraftstoßes*, gemessen bei einer vorgegebenen Wiederholungszahl in einer vorgegebenen Zeit (Martin et al., 1993).

Da für diese Studie keine geeigneten Messgeräte zur Verfügung standen, um Kraftausdauerleistungen der Rumpfmuskulatur mittels dem Indikator *individuelle Verringerungsbetrag des maximalen Kraftstoßes* zu ermitteln, wurde auf sportmotorische Tests zurückgegriffen. Im Swiss olympic medical center werden zur Bestimmung der Rumpfkraftfähigkeiten verschiedene Tests durchgeführt, die sowohl die ventrale, die dorsale als auch die lateralen Rumpfkette berücksichtigen (Tschopp, 2003). Bei diesen Tests müssen die Athleten eine vorgeschriebene Körperposition einnehmen und vorgeschriebene Bewegungen ausführen²⁹. Der Testabbruch erfolgt, wenn die Athleten nicht mehr den Bewegungsvorgaben Folge leisten können. Als Indikator wird die Zeit gestoppt, in der die Athleten der Bewegungsaufgabe nachkommen³⁰. Aufgrund der Praktikabilität und des geringen Organisationsaufwandes dieser Testverfahren, wurde im Rahmen dieser Arbeit auf die bewährten Tests des Swiss olympic medical centers zurückgegriffen.

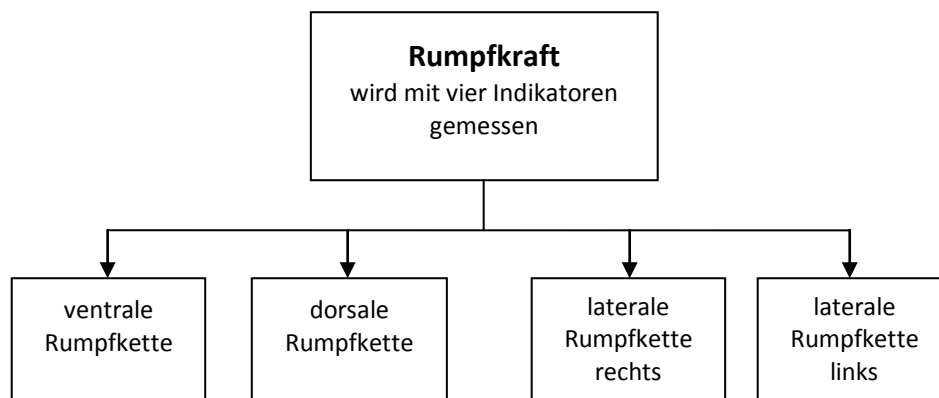


Abb. 10: Messindikatoren zur Beurteilung der Rumpfkraft

²⁹ Die Tests werden im Kapitel 5.2.2 ausführlich beschrieben.

³⁰ Für die Beurteilung und Auswertung der Testergebnisse werden Referenzdaten herangezogen, die an 253 männlichen Spitzensportlern aus 42 verschiedenen Sportarten ermittelt wurden. Untersuchungen zur Reliabilität zeigen, dass die gleiche Zuordnung mit mindestens 84%iger Wahrscheinlichkeit in einem zweiten Versuch wieder erreicht wird (Bland & Altman, 1986; Atkinson & Nevill, 1998).

4.3.3.4 Anmerkungen zu den Maximalkraft- und Kraftausdauer tests

Die Maximalkraft hängt neben der intra- und intermuskulären Koordination und der Muskelzusammensetzung auch vom Muskelquerschnitt³¹ ab. Aufgrund des Sexualhormons Testosteron, welches eine eiweißanabole Wirkung besitzt, steigt während der Pubertät die Kraft, speziell bei den Jungen³², rapide an (Wilmore et al., 2008). Das Kraftmaximum erreichen Frauen in etwa mit 20 Jahren und Männer zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr (Fukunage, 1976; Frey, 1978; Wilmore et al., 2008). Da die Studienteilnehmer zum Zeitpunkt der Untersuchungen zwischen 12 und 28 Jahre alt waren, ist davon auszugehen, dass die erbrachten Leistungen bezüglich der statischen und dynamischen Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur sowie der Rumpfkraft vom Alter abhängig sind³³. Aus diesem Grund ist es förderlich, um Fehlinterpretationen und falsche Rückschlüsse zu vermeiden, empirisch beobachtete Zusammenhänge zwischen den Kraftfähigkeiten und den Bestzeiten auf Scheinkorrelationen (Drittvariableneffekte) zu überprüfen.

4.3.4 Messindikatoren der Beschleunigungsfähigkeit

Die Beschleunigungsfähigkeit charakterisiert die Fähigkeit, dem eigenen Körper durch ein zweckmäßiges Nutzen des Beschleunigungsweges eine maximale Endgeschwindigkeit zu verleihen (Schnabel et al., 1997). Eine einfache Methode, die bereits differenzierte Aussagen zum Beschleunigungsverhalten bzw. Geschwindigkeitsverlauf zulässt, ist die Messung von Sprints mittels Lichtschrankensystemen (Baumann et al., 1986; Geese, 1992).

³¹ Es besteht eine lineare Beziehung zwischen der iMVC und dem Muskelquerschnitt. Dies gilt für männliche und weibliche Personen jeder Altersstufe, sowie für Trainierte und Untrainierte (Hollmann & Hettinger, 2000).

³² Bei der Rumpfmuskulatur, die überwiegend aus ST-Fasern besteht, muss es nicht, wie bei der Skelettmuskulatur der Extremitäten, zu geschlechtsspezifischen Differenzen in der Krafthöhe kommen (Fukunage, 1976; Frey, 1978).

³³ Da die Kraftausdauer u. a. von der Maximalkraft abhängt, ist davon auszugehen, dass diejenigen Athleten eine längere Haltezeit bei den Rumpfkrafttests erreichen werden, die im Besitz einer größeren Maximalkraft sind (Shaver, 1973).

Untersuchungen in der Leichtathletik haben gezeigt, dass in der Beschleunigungsphase zwei verhältnismäßig eigenständige Leistungsvoraussetzungen zu unterscheiden sind. Dabei ist für die Endleistung unter den Top-Sprintern die Startbeschleunigung auf den ersten 20-30 Metern eher unbedeutend. Erst die „Pickup-Beschleunigung“ auf dem Abschnitt 30-60 Meter ist für die Sprintleistung bedeutungsvoll (Bartonietz & Güllich, 1992; Hollmann & Hettinger, 2000; Hohmann et al., 2002).

Beim Short Track findet der Start in der Mitte des geraden Streckenabschnittes statt, der bereits nach ca. 15 Metern im Kurveneingang endet. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der wirkenden Zentripetalkräfte im Kurvenlauf verstärkt Anforderungen an die Maximalkraft der Beinstreck- und Rumpfmuskulatur gestellt werden. Aus diesem Grund sollen bei der Leistungsdiagnostik zwei unterschiedliche Tests zur Beurteilung der Beschleunigungsfähigkeit zum Einsatz kommen. Zum einem erfolgt ein Sprint über 30 m auf gerader Strecke aus der gewohnten tiefen Startposition. Zum anderen wird, ebenfalls aus der typischen Startposition, ein Sprint über eine halbe Runde (55,5 m) absolviert. Der Abbildung 11 sind die Indikatoren, die zur Beurteilung der Beschleunigungsfähigkeit erhoben wurden, zu entnehmen.

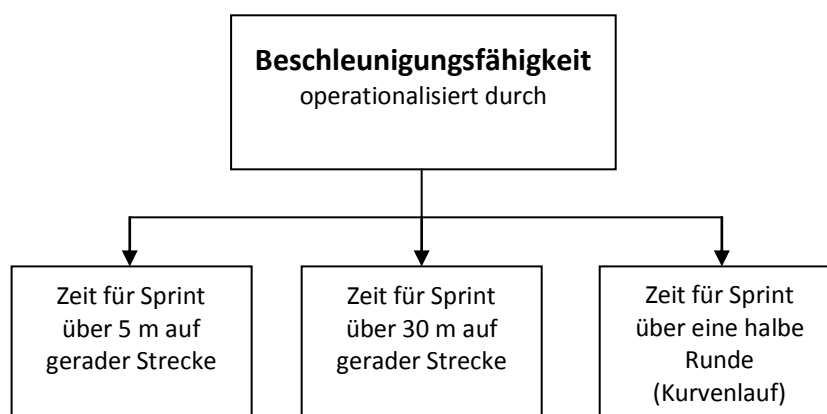


Abb. 11: Messindikatoren zur Beurteilung der Beschleunigungsfähigkeit

4.3.5 Messindikatoren der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit

In der Literatur werden verschiedene Kriterien beschrieben, die der Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit dienen (Mader et al., 1976a; Dickhuth et al., 1991; Astrand, 1993; Howley et al., 1995; Graf et al., 2002a; de Marées, 2003;

Hollmann & Strüder, 2009). Darunter finden sich zum einen Kriterien die eine Ausbelastung der Testperson voraussetzen und zum anderen solche, die im submaximalen Belastungsbereich bestimmt werden.

Nach Åstrand (1993) und Howley et al. (1995) ist der klassische sportmedizinische Leistungsparameter zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit die *maximale Sauerstoffaufnahme*.

„Maximal oxygen uptake is regarded by most as the best single massurement of cardiorespiratory endurance and aerobic fitness.“ (Wilmore, 2008, S. 107)

Die maximale Sauerstoffaufnahme, die mittels Spirometrie gemessen werden kann, repräsentiert das maximale Transportvermögen von Sauerstoff aus der Luft zur Arbeitsmuskulatur (Shepard, 1993a). Sie ist ein direktes Maß für den aeroben Energieumsatz. Zum Vergleich der Werte unterschiedlicher Personen wird die maximale Sauerstoffaufnahme auf die Körpermasse bezogen, was der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme entspricht.

Zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit im submaximalen Bereich wurden verschiedene Schwellenkonzepte entwickelt, darunter auch laktatbasierte. Anfang der 70er Jahre prägte Mader den Begriff der *aerob-anaeroben Schwelle* als den Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben laktazid gedeckten muskulären Energiestoffwechselleistung (de Marées, 2003). Anhand von empirischen Untersuchungen fanden Mader und sein Mitarbeiter heraus, dass die aerobe-anaerobe Schwelle der Belastung entspricht, bei der im Mittel das Laktat auf 4 mmol/l im peripheren Blut angestiegen war. Aus diesem Grund legten Mader et al. (1976a; Mader et al., 1976b) ein Laktatwert von 4 mmol/l als aerob-anaerobe Schwelle fest. In den Folgejahren wurden zahlreiche weitere Laktatschwellenkonzepte entwickelt. Ein Konzept, welches heute noch praktische Bedeutung erfährt, ist das von Dickhuth et al. (1991) entwickelte Konzept der individuellen anaeroben Schwelle. Die individuelle anaerobe Schwelle wird bei einer

Laktatkonzentration ermittelt, die um 1,5 mmol/l höher liegt als das minimale Laktatäquivalent³⁴ (Heck & Roskopf, 1994).

Zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit wurden beide Kriterien, die relative maximale Sauerstoffaufnahme und die Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle nach Dickhuth (IAAS_D), bestimmt.

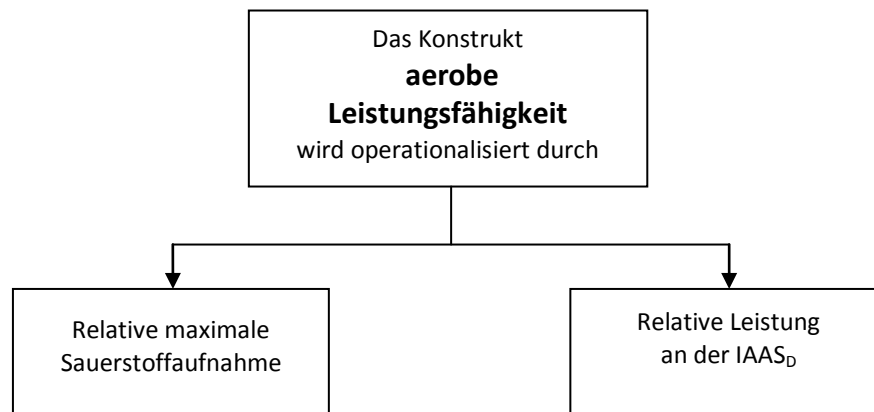


Abb. 12: Messindikatoren zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit

4.3.6 Messindikatoren der anaeroben Leistungsfähigkeit

Während die direkte Messung des aeroben Energiestoffwechsels auch unter sportartspezifischen Bedingungen ohne große Beeinträchtigungen der Testpersonen möglich ist, existieren für die direkte Ermittlung der anaeroben Leistungsfähigkeit nur sehr aufwendige Verfahren. Dies liegt darin begründet, dass die für die Stoffwechselprozesse benötigten Substrate in der Muskelzelle vorliegen. Diese können nur durch z. B. muskelbiopsische Analysen und Magnetresonanzspektroskopie direkt gemessen werden (de Marées, 2003).

Nach de Marées (2003) liegt eine Beanspruchung auf die allgemeine anaerobe dynamische Ausdauer vor, wenn größere Muskelgruppen mit maximaler Intensität für eine Dauer von 20-120 Sekunden dynamisch beansprucht werden. Auch Hollmann und Hettinger (2000) konnten nachweisen, dass die höchsten Laktatwerte bei Kurzzeitausdauerbelastungen (35-120 s) erreicht werden. Allerdings wird

³⁴ Das Laktatäquivalent entspricht dem Quotienten aus Laktat und Sauerstoffaufnahme.

strecken- bzw. zeitspezifisch zusätzlich zur anaeroben Energieversorgung die aerobe Energieversorgung einbezogen. Sonntag (1991) stellte beispielsweise in seinen Untersuchungen fest, dass bei einem 400 m-Lauf die aerobe Energieversorgung mehr als 50% erreichen kann. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Medbø und Tabata (1989) die nachweisen konnten, dass bei maximalen Belastungen von einer Minute der aerobe Stoffwechsel bereits einen Anteil von 50% hat.

Ein weiteres Problem bei kurzzeitigen hochintensiven Belastungen (10-20 s) ist die Trennung des Einflusses der alaktaziden und laktaziden Komponenten, da beide energiebereitstellende Systeme nahezu gleichzeitig wirken. Durch den gegenseitigen Einfluss der Stoffwechselsysteme ist die eindeutige Zuordnung von Testergebnissen zu den einzelnen Ausdauerdimensionen nicht möglich (Stege-mann, 1991; de Marées, 2003).

Aufgrund dieser metabolischen Interaktionen, so Bachl und Baron (1998, S. 49)
„können alle zur Verfügung stehenden anaeroben Testverfahren nur jene Aspekte valide beantworten, die sich auf die Diagnostik der Leistung per se beziehen“.

Die Autoren schlagen deshalb die Messung der physikalischen Leistung zur Quantifizierung der anaeroben Leistungsfähigkeit vor. Bachl und Baron (1998) gehen in ihren Arbeiten auf Untersuchungen und Verfahren anderer Autoren ein, die zur Erfassung der anaeroben Leistung, entweder die *peak power* oder die *mean power* oder beides messen. Für solche Messungen gewinnen zunehmend Tests im isokinetischen Betriebsmodus auf dem Fahrradergometer an Bedeutung. Ein Test der dabei zur Anwendung kommt ist der sog. Plateauleistungstest (PLT). Beim PLT erhalten die Athleten die Vorgabe, gegen den Widerstand des Ergometers von Beginn an mit maximaler Leistung zu fahren und diese bis zum Ende so hoch wie möglich zu halten. Wie in Abbildung 13 zu erkennen, nimmt die Leistung nach einem maximalen Anfangswert (peak power) kontinuierlich ab. Bei einer gut ausgeprägten aeroben Kapazität bildet sich am Ende ein Plateau.

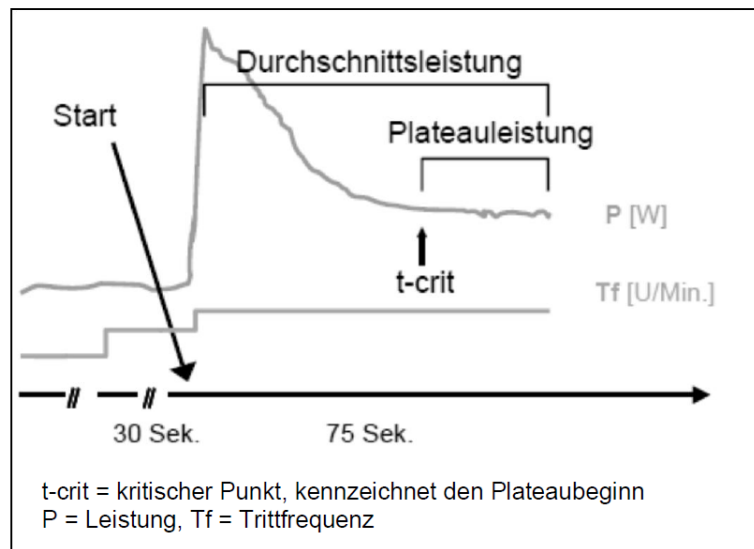


Abb. 13: Schematische Darstellung des Plateau-Leistungs-Tests (nach Stapelfeldt, 2001)

Nach Stapelfeldt (2001, S. 282) „wird die Leistung beim PLT bis zum Plateaubeginn maßgeblich durch die anaerobe-laktazide und –alaktazide Ausdauer und danach durch den Energiefluss der aerob-glykolytischen Ausdauer geprägt. Der den Plateaubeginn kennzeichnende kritische Punkt trennt hier empirisch eindeutig. Die Aussagekraft der physiologischen Parameter ist gering. Bei submaximalen bis maximalen radspezifischen Belastungen sollte daher die Leistung als Beurteilungskriterium im Vordergrund stehen.“

Für die Beurteilung der anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit wurde als Indikator die durchschnittliche relative Leistung in den ersten 45 s des PLTs herangezogen. 45 Sekunden entsprechen in etwa der Laufzeit über 500 m.

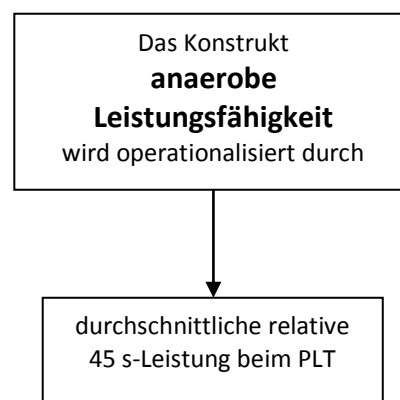


Abb. 14: Messindikator zur Beurteilung der anaeroben Leistungsfähigkeit

Als Alternative zur Quantifizierung der anaeroben laktaziden Ausdauerleistungsfähigkeit, wird in der sportwissenschaftlichen Literatur als Indikatorgröße sehr häufig das Laktatverhalten bzw. die Fähigkeit eine hohe Laktatazidose zu ertragen, ausgedrückt durch den maximalen Blutlaktatwert, angegeben (Szögy & Cherebetiu, 1974; Grosser & Neumaier, 1988; Pressenhofer et al., 1990; Simon, 1994). Zur Anwendung kommen dabei sog. Kurzzeit-Tests, bei denen der Proband seine individuelle Maximalleistung über einen kurzen Zeitraum abgeben muss (z. B. PLT). Dabei wird die abgegebene Energie aufgrund der „Anlauf-Trägheit“ des aeroben Stoffwechsels den beiden anaeroben Mechanismen zugeschrieben. Eine Unterteilung in alaktatide und laktatide Mechanismen wird durch die erreichte maximale Laktatkonzentration³⁵ versucht (Szögy & Cherebetiu, 1974; Schwabergger et al., 1987).

Pressenhofer et al. (1994) überprüften mittels Modellsimulation die Validität von laktatorientierten Testverfahren. Dabei kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass die Testgröße „maximale Laktatkonzentration“ keine valide Aussage in Hinblick auf die anaerobe laktatide Kapazität zulässt.

„Bildung, Abbau und Verteilung des Laktats hängen von so vielen Einflussgrößen einschließlich der Ernährung ab, dass die augenblickliche Konzentration in der Durchgangsstation Blut Ergebnis verschiedenster Reaktionen sein kann.“ (Böning, 1994)

Wilmore et al. (2008) betonen ebenfalls, dass die Blutlaktatkonzentration nicht nur von der Laktatbildung im Skelettmuskel abhängt, sondern ebenso vom Laktatabbau in Leber, Herzmuskel und anderen Körpergeweben beeinflusst wird. Verschiedene Studien belegen, dass Tests wie der Wingate anaerobic test und

³⁵ Die maximale Blutlaktatkonzentration hängt u. a. von der betriebenen Sportart und der Belastungsdauer ab. Da die Fähigkeit zur Laktatbildung von der Muskelfaserzusammensetzung bestimmt wird, sind bei hochausdauertrainierten Marathonläufern, Straßenradrennfahrern u. ä. die niedrigeren maximalen Laktatwerte auf die Dominanz der Typ-I-Faser zurückzuführen. Ebenso wird die Laktatbildungsrate von der Höhe des Substratangebotes beeinflusst. So wirken sich z. B. leere Glykogenspeicher negativ auf die maximale Blutlaktatkonzentration aus (de Marées, 2003).

der critical power test validere Ergebnisse liefern, unabhängig davon, dass mit diesen Test nur indirekte Indikatoren für die anaerobe Stoffwechselleistung gemessen werden können.

„Although it is generally agreed that lactat in the blood indicates increased anaerobic glycolysis, such measurement do not give a quantitative estimate of the anaerobic energy production [...]“ (Wilmore et al., 2008, S.110)

Die fehlende Validität ist ein Grund dafür, dass die in dieser Studie ermittelten maximalen Blutlaktatwerte nicht zur Beurteilung der anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen wurden, sondern lediglich zur Beurteilung der metabolischen Ausbelastung³⁶. Ein weiterer Grund ist, dass es wesentliche Unterschiede zwischen Heranwachsenden und Erwachsenen im Bezug auf die einzelnen energieliefernden Systeme gibt, die die aerobe und anaerobe Kapazität betreffen. So sind Kinder weniger in der Lage, ihre Leistungsfähigkeit nach Erreichen der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit durch zusätzliche Milchsäurebildung weiter zu steigern. Bei Kindern und Jugendlichen liegen die Laktatwerte, bezogen auf 100% der Maximalleistung, deutlich niedriger als bei Erwachsenen. Als Grund dafür wird die geringere Ausreifung des anaeroben Systems analog zur noch nicht ausgereiften Skelettmuskulatur angesehen (Graf et al., 2002a; Graf et al., 2002b).

4.3.7 Allgemeine Anmerkungen zu den ausgewählten Testverfahren

Um differenzierte Aussagen anhand von Ergebnissen aus Test- und Kontrollverfahren treffen zu können, sollten diese, so Neumaier und Rieder (1992), möglichst nur eine Leistungskomponente erfassen. Andernfalls ist es schwierig zu entscheiden, was und wie viel die einzelnen Komponenten zum Resultat beitragen. Ein Problem, welches resultieren könnte, ist, dass sich bei komplexen sportmotorischen Tests vorhandene Fähigkeiten untereinander kompensieren. Nach Grosser und Neumaier (1988) lassen in diesem Fall gleiche Leistungen keinen Rückschluss auf gleiche Fähigkeiten zu.

³⁶ Im Ausbelastungsbereich sollten Laktatwerte von mindestens 8 mmol/l erreicht werden, wobei Laktatwerte zwischen 8 - 12 mmol/l als mittlere und Laktatwerte > 12 mmol/l als hohe Ausbelastung interpretiert werden (de Marées, 2003).

Speziell bei Testaufgaben, die einem dynamischen Ablauf der geforderten Bewegung verlangen, wird die Leistung u. a. durch koordinative Fähigkeiten mitbestimmt. Dies ist z. B. bei den Tests auf dem Fahrradergometer (Stufentest, PLT) als auch bei den sportartspezifischen Tests auf dem Eis (Beschleunigungsfähigkeit, Beanspruchung auf den Einzelwertungs-Wettkampfstrecken) der Fall. Speziell bei den Tests auf dem Eis kann vor allem eine gute Technik geringe konditionelle Fähigkeiten stark kompensieren. Aufgrund der hohen Altersspanne der Studienteilnehmer und der unterschiedlichen Anzahl an Trainingsjahren, ist davon auszugehen, dass das technische Leistungsvermögen stark divergiert. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss dieser Punkt berücksichtigt werden.

4.3.8 Anmerkungen zum Einsatz der Fahrradergometrie

Ergebnisse aus Kontroll- bzw. Testverfahren sind nur brauchbar, wenn die Verfahren den sog. Gütekriterien genügen. Eine hohe Gültigkeit bezüglich der sportlichen Leistung kann nach Neumaier und Rieder (1992) nur gewährleistet werden, wenn die Leistungskomponenten in ihrer sportartspezifischen Ausprägung überprüft werden.

Verschiedene Forschungsgruppen kamen zu dem Ergebnis, dass die Fahrradergometrie nicht als spezifische Methode der Leistungsdiagnostik für Eisschnellläufer betrachtet werden kann, da (1) die extreme Haltung beim Eisschnelllaufen nicht berücksichtigt wird (Green, 1978; Kandou et al., 1987; Rundell & Pripstein, 1995; Rundell, 1996a), (2) andere Bewegungsmuster (Green, 1978; Kandou et al., 1987; Rundell & Pripstein, 1995; Rundell, 1996a) und (3) Rekrutierungen verschiedener neuromuskulärer Einheiten zu Grunde liegen (Green, 1978; Kandou et al., 1987; Rundell & Pripstein, 1995; Rundell, 1996a)

(1) Die Forschungsgruppe um Rundell (1995; Rundell, 1996a) konnte nachweisen, dass die maximale Sauerstoffaufnahme in der Eisschnelllaufposition signifikant geringer ist als beim Laufen und der Fahrradergometrie. Als Begründung gaben die Autoren zum einen die fast horizontale Oberkörperstellung beim Eisschnelllaufen und den damit verringerten Blutfluss in die Arbeitsmuskulatur an. Desweiteren diskutierten sie ein verringertes Herzzeitvolumen aufgrund der mehr statischen

Beanspruchung beim Eisschnelllaufen im Vergleich zur dynamischen Bewegung beim Fahrradfahren.

(2) Kandou et al. (1987) untersuchten neben physiologischen Parametern auch die Hüft- und Kniewinkel hinsichtlich der Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen bei unterschiedlichen Belastungsarten (Eisschnelllauf, Skateboard, Fahrrad). Dabei zeigten sich grundlegend verschiedene Kraftmuster. Während beim Fahrradfahren ein sinusförmiges Kraftmuster beschrieben wird, wirken die dynamischen Kräfte beim Eisschnelllaufen in der letzten Phase der Bewegung in einem nur kurzen Zeitintervall. Dabei ist die Geschwindigkeit der dynamischen Bewegung um ein Vielfaches höher als bei der Fahrradergometrie.

(3) Green (1978) kam in seiner Untersuchung zu dem Ergebnis, dass speziell auf den kurzen Strecken des Eisschnelllaufens überwiegend Typ-II-Muskelfasern rekrutiert werden. Im Gegensatz dazu werden bei hohen Belastungen auf dem Fahrrad die Typ-I und II-Muskelfasern gleichermaßen beansprucht (Gollnick et al., 1974).

Da für die Untersuchungen dieser Studie keine Spezialergometer³⁷ zur Verfügung standen und die Eiskapazitäten im Untersuchungszeitraum begrenzt waren, wurden trotz der kritischen Anmerkungen bzgl. der Gültigkeit zwei Tests auf dem Fahrradergometer (Stufentest und PLT) durchgeführt. Da beim Short Track vor allem in der allgemeinen Vorbereitungsphase das Radfahren als Trainingsmittel speziell zur Schulung der aeroben Ausdauerfähigkeiten eingesetzt wird, ist davon auszugehen, dass die Koordination nur einen geringen Einfluss auf die erbrachten Leistungen hat.

³⁷ Nach Bachl et al. (1994) sind Tests auf Spezialergometern allenfalls als semispezifisch anzusehen.

5. Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten sportmotorischen Tests sowie die Messsysteme beschrieben³⁸. Gleichzeitig bekommt der Leser einen Überblick über den Ablauf der Leistungsdiagnostik und den zeitlichen Aufwand. Zudem wird das untersuchte Probandenkollektiv vorgestellt, deren Leistungsergebnisse die Grundlage dieser Arbeit bilden. Die zu erhebenden Merkmale werden entsprechend dem a priori Strukturmodell (siehe Kapitel 4.1.3, Abbildung 5) in Kriteriumsvariablen (abhängige Variablen) und Prädiktorvariablen (unabhängige Variablen) eingeteilt.

³⁸ Für diesen Abschnitt wird auf den Forschungsbericht der Arbeitsgruppe Bruhn an das Bundesinstitut für Sportwissenschaft Aktenzeichen: 070501/09 zurückgegriffen.

5.1 Studiendesign

Die umfassende Leistungsdiagnostik wurde im Zeitraum März-April 2009 durchgeführt. Dabei kamen sowohl sportartspezifische Tests, wie auch sportartunspezifische Tests zur Anwendung. Jeder Athlet hatte insgesamt fünf Untersuchungstermine. An drei Tagen erfolgten die sportartspezifischen Messungen auf dem Eis über die jeweiligen Einzelwertungs-Wettkampfstrecken. An zwei weiteren Tagen wurden Untersuchungen im Labor durchgeführt.

5.2 Untersuchungsdesign und Methoden

5.2.1 Standstabilisation

Für die Messung der Standstabilisation wurde eine Standplattform GKS-1000 MED der Firma IMM Elektronik GmbH verwendet. Für den Test wurde ein Haltegestell mit Swingrahmen und mechanischer Provokationseinheit für eine definierte Auslenkung genutzt. Für die Messung kam der Dynamik-Auslenkung-Test zum Einsatz. Die Standplattform wurde an vier Ketten eingehängt, was eine zweidimensionale Bewegung der Unterstützungsfläche ermöglichte. Die definierte Auslenkung betrug vier Zentimeter und induzierte eine Perturbation des aufrechten Standes. Über vier hochsensible Sensoren in der Messplattform wurde dabei die Fläche der Körperschwerpunktauslenkung, mit einer Abtastrate von 40 Hz, über die gegebene Messzeit gemessen.

Die Athleten standen mit parallelen Füßen mit einer Fußaußenrotation von ca. 7° auf der Standplattform. Die Spurbreite wurde der Fuß- und Körpergröße angepasst. Der Oberkörper war aufrecht gerade, die Hände auf dem Beckenkamm fixiert und die Kniegelenke entriegelt (Beugung ca. 15°). Zusätzlich trugen die Athleten Kopfhörer, um das Klicken des Auslösemechanismus nicht zu hören.

Die Messungen der Standstabilisation wurden einmal zu Beginn der Kraftdiagnostik im ausgeruhten Zustand (ohne vorherige Belastung) und zum anderen nach Abschluss der Kraftdiagnostik, also nach Belastung, durchgeführt. Zu beiden Messzeitpunkten kamen vier unterschiedliche Untersuchungsdesigns zum Ein-

satz. Zum einen erfolgte die Auslenkung in antero-posteriorer sowie in medio-lateraler Richtung. Zum anderen wurden die Messungen einmal mit geöffneten und einmal mit geschlossenen Augen durchgeführt. Zu Beginn der Messungen, also vor Belastung, wurde der jeweilige Testversuch erst durchgeführt, wenn die Athleten über mehrere Eingewöhnungsversuche hinweg eine relativ konstante Fläche der Körperschwerpunktauslenkung beschrieben. Nach der Belastung mussten die Athleten alle vier Testversuche, ohne erneute Eingewöhnungsversuche, nacheinander absolvieren.

Folgender Parameter wurde nach der Erfassung der Standstabilisation ermittelt:

- beschriebene Fläche der Körperschwerpunktauslenkung [cm²] bei insgesamt 8 Tests

5.2.2 Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur

Für die Messung der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur wurden die Athleten auf einer Beinpresse positioniert und mittels Widerlagern an den Schultern fixiert. Dadurch konnte eine Veränderung der Gelenkwinkel während der isometrischen maximalkräftigen Versuche weitestgehend verhindert werden. Die Positionierung auf dem Messschlitten wurde den individuellen anatomischen Gegebenheiten der Athleten angepasst. Die Arme waren vor der Brust verschränkt. Die Messungen wurden bei einem Kniewinkel von 90° durchgeführt. Der Sprunggelenkwinkel wurde so eingestellt, dass die komplette Fußsohle auf der Messdruckplatte aufgesetzt werden konnte. Die Versuche wurden bilateral und unilateral rechts und links durchgeführt. Zu Beginn absolvierten die Athleten zwei Probeversuche mit submaximaler Intensität. Im Anschluss führten die Athleten je zwei Testversuche mit explosivem Krafteinsatz und maximaler Intensität aus. Zwischen den einzelnen Messungen erfolgte eine Regenerationspause von 30 s.

Die Messvorrichtung bestand aus einer vertikal eingebauten, zweigeteilten DigiMax[®] Kraftmessplatte der Firma mechaTronic (Test- Diagnose- und Trainingssysteme GmbH & Co. KG, Deutschland). Die senkrecht zur Plattenoberfläche aufgebrachte Kraft wurde von Dehnungsmessstreifen erfasst. Das analoge Signal wurde verstärkt und zur Digitalisierung weitergeleitet. Die Digitalisierung der Sig-

nale erfolgte durch eine mit dem Messrechner verbundene A/D-Wandlerkarte (DAQCard-6024E National Instruments®, USA). Die Messdaten wurden mit einer LABVIEW®-basierten Software (IMAGO 5.05, Pfisoft, Deutschland) mit einer Abtastrate von 1500 Hz aufgezeichnet. Für die Glättung des Signals wurde ein Tiefpassfilter verwendet (Cutoff Frequency 50 Hz).

Bezogen auf den höchsten Kraftwert wurde der jeweils beste Versuch der zwei Testwiederholungen je Versuchsbedingung für die Datenauswertung und Dateninterpretation herangezogen. Die Maximalkraft wurde am höchsten Wert der Kraft-Zeit-Kurve abgelesen. Die maximale Explosivkraft wurde als Spitzenwert der differenzierten Kraft-Zeit-Kurve bestimmt.

Folgende Parameter wurden anhand der Kraft-Zeit-Kurven bei drei Versuchsbedingungen ermittelt:

- Relative isometrische Maximalkraft iMVC [$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$]
- Relative maximale Explosivkraft MRFD [$\text{N} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]

5.2.3 Rumpfkraft

Für die Bestimmung der Rumpfkraft wurde der „Grundkrafttest Rumpf“ des Swiss olympic medical centers (Tschopp, 2003) eingesetzt. Berücksichtigt wurden dabei die ventrale, dorsale sowie die lateralen Rumpfkette.

Ventrale Rumpfkette

Die Athleten befanden sich im Unterarmstütz mit vertikaler Oberarmstellung. Die Beine waren gestreckt. Während des Tests mussten die Athleten die Füße wechselseitig im Einsekundentakt um zwei bis fünf Zentimeter abheben. Die Knie sollten dabei gestreckt bleiben. Desweiteren musste das Becken auf einer Höhe konstant gehalten werden. Geriet der Athlet aus dem Rhythmus bzw. konnte er das Becken nicht auf der vorgegebenen Höhe halten, wurde eine Ermahnung ausgesprochen. Bei der dritten Ermahnung wurde der Test beendet.



Abb. 15: Rumpfkrafttest, ventrale Rumpfkette (Tschopp, 2003)

Laterale Rumpfkette

Die Athleten befanden sich im Unterarmstütz auf der rechten bzw. linken Seite. Die Füße waren bei gestreckten Knien übereinander und gegen die Wand gestützt. Die freie Hand wurde auf dem Beckenkamm abgestützt. Während des Tests mussten die Athleten im Wechsel das Becken seitwärts abheben, bis der Rumpf in Nullstellung war und absenken bis eine Handbreit über den Boden. Für jeden Bewegungszyklus standen zwei Sekunden zur Verfügung. Geriet der Athlet aus dem Rhythmus bzw. erreichte er nicht mehr die Nullstellung des Rumpfes wurde eine Ermahnung ausgesprochen. Bei der dritten Ermahnung wurde der Test beendet.



Abb. 16: Rumpfkrafttest, laterale Rumpfkette (Tschopp, 2003)

Dorsale Rumpfkette

Die Athleten lagen bäuchlings auf einer Physiotherapieliege, wobei sich die Spina iliaca anterior superior vier Zentimeter vor der vorderen Kante der Liege befand. Die Hände wurden auf dem Rücken zusammengenommen und mussten stabil gehalten werden. Die Beine der Athleten wurden fixiert. Während des Tests mussten die Athleten ihren Rumpf bei gerader Wirbelsäule zwischen zwei Endpunkten im Sekundentakt bewegen. Der eine Endpunkt war bei gestrecktem Rumpf, also

bei 0° Flexion, erreicht (Horizontal) und der zweite Endpunkt befand sich bei 30° Flexion. Wurden die Endpunkte vom Athleten nicht mehr erreicht, wurde der Test abgebrochen. Bei mangelnder Bewegungsqualität wurden bis zu zwei Ermahnungen ausgesprochen, bei der dritten Ermahnung wurde der Test beendet.

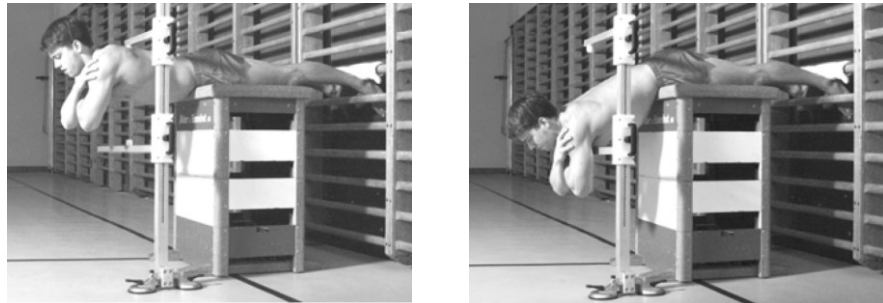


Abb. 17: Rumpfkrafttest, dorsale Rumpfkette³⁹ (Tschopp, 2003)

Die Rumpfkrafttests wurden in der Reihenfolge ventrale Rumpfkette, laterale Rumpfkette (links, rechts) und dorsale Rumpfkette absolviert. Zwischen den einzelnen Tests durften sich die Athleten jeweils fünf Minuten erholen. Als Taktgeber diente ein Metronom.

Folgender Parameter wurde nach der Erfassung der Rumpfkraft ermittelt:

- Haltezeit [s] bei insgesamt 4 Tests

5.2.4 Beschleunigungsfähigkeit

Um die Beschleunigungsfähigkeit auf dem Eis zu bestimmen, wurden zwei Tests durchgeführt. Zum einen mussten die Athleten einen Sprint aus dem Stand über 30 m auf einer Geraden absolvieren. Dabei wurden mit drei Doppel-Funk-Reflexions-Lichtschranken DRL F02 (Sendeeinheit) und TS 01-R04 (Empfangeinheit) sowie dem mobilen Digital-Timer DT800+ der Firma sportronic® die Laufzeiten über 5 m und 30 m ermittelt. Beim zweiten Test sollten die Athleten eine halbe Runde (55,5m), ebenfalls aus dem Stand, schnellstmöglich zurückgelegt.

³⁹ Im Gegensatz zu der Position auf den Abbildungen, hatten die Short Track Athleten während des Tests die Hände auf dem Rücken zusammengekommen.

Für diesen Test wurden zwei Doppel-Funk-Reflexions-Lichtschranken (RLS) eingesetzt.

Das Aufwärmen wurde von den Athleten individuell vorgenommen. Je Untersuchungsdesign hatten die Athleten drei Versuche. Die Startreihenfolge der Athleten war festgelegt, so dass alle erst den ersten Testlauf, dann den Zweiten usw. absolvierten. Dieses Vorgehen gewährleistete bei allen Athleten gleiche Pausenlängen zwischen den Läufen (etwa drei Minuten). In die Auswertung ging der jeweils schnellste Lauf je Untersuchungsdesign ein.

Folgende Parameter wurden zur Erfassung der Beschleunigungsfähigkeit ermittelt:

- Laufzeit [s] über 5 m und 30 m auf einer Geraden
- Laufzeit [s] über 55,5 m (halbe Runde)

5.2.5 metabolische und kardiale Beanspruchung beim Absolvieren der Einzelwertungs-Wettkampfstrecken

Insgesamt drei Testtage waren für jeden Athleten vorgesehen, an denen jeder seiner Altersklasse entsprechend die drei Einzelwertungs-Wettkampfstrecken im Einzelrennen absolvieren musste. Die Senioren, A-, B- und C-Junioren liefen die Strecken 500 m, 1000 m und 1500 m. Die D-Junioren liefen 500 m, 777 m und 1000 m.

Während der Läufe wurde über die mobile Spirometrie OXYCON mobile® der Firma Jäger eine Atemgasanalyse vorgenommen. Dabei wurden alle fünf Sekunden die Sauerstoffaufnahme, die Kohlendioxidabgabe, die Atemfrequenz und das expiratorische Atemminutenvolumen gemessen. Im Anschluss wurde für jeden Lauf, mit Hilfe der aufgezeichneten Daten, die relative maximale Sauerstoffaufnahme berechnet.

Mit einer Pulsuhr des Typs S 810i der Firma Polar® wurden die Herzfrequenzverläufe, im Intervall von 5 s, vor, während und nach den Läufen aufgezeichnet. Die gespeicherten Daten wurden nach den Läufen mit Hilfe eines USB-Interface eben-

falls der Firma Polar® und der Software Polar Precision Performance in das Trainingstagebuch übernommen und im Anschluss nach Excel exportiert.

Vor den Läufen erwärmten sich die Athleten individuell. Dabei hatten sie die Möglichkeit sich an die mobile Spirometrie zu gewöhnen. Direkt vor dem Start wurde die Blutlaktatkonzentration gemessen. Unmittelbar nach dem Zieleinlauf, sowie 3, 5, 7 und 10 min nach Zieleinlauf wurden weitere Blutproben entnommen und die Blutlaktatkonzentration bestimmt. Hierfür wurden jeweils 10 µl Kapillarblut aus dem Ohrläppchen entnommen. Alle Blutproben wurden mit dem mobilen Laktatmessgerät Miniphotometer plus LP 20 der Firma Dr. Lange® ausgewertet. Die Messergebnisse wurden in das entsprechende Lauf-Protokoll eingetragen.

Folgende Parameter wurden beim Absolvieren der Einzelwertungs-Wettkampfstrecken ermittelt:

- Laufzeit [s]
- Relative maximale Sauerstoffaufnahme [$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$]
- Maximale Blutlaktatkonzentration [$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$]
- Maximale Herzfrequenz Hf_{max} [$\text{S} \cdot \text{min}^{-1}$]

5.2.6 Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit

Für die Bestimmung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit mussten die Athleten einen Stufentest auf dem Fahrradergometer am Olympiastützpunkt (OSP) Rostock absolvieren. Der Stufentest wurde auf einem Fahrradergometer Excalibur Sport der Marke Lode® durchgeführt. Gesteuert wurde das Ergometer über die Software WLP Excalibur Sport. Die Anfangsleistung betrug 25 Watt und wurde alle 3 min um weitere 25 Watt gesteigert. In den letzten 20 Sekunden jeder Belastungsstufe wurden die Herzfrequenz, die Blutlaktatkonzentration, die Sauerstoffaufnahme, die Kohlendioxidabgabe sowie der Blutdruck gemessen und protokolliert. Die Athleten hatten die Aufgabe bis zur völligen Erschöpfung zu fahren. Nach Testabbruch wurde die Blutlaktatkonzentration jeweils nach 1, 3, 5 und 10 min bestimmt.

Die Laktatmessungen erfolgten Hardwareseitig mit dem Super GL der Firma Dr. Müller® und wurden mit der Software winlactat (Version 2.0) der Marke mesics®

(V.2.0.9.105 Professional) ausgewertet. Die Spirometrie wurde durchgeführt mit einem OXYCONBETA[®] (Version 3.0) der Marke Mijnhardt.

Folgende Parameter wurden während des Stufentests ermittelt:

- Relative maximale Sauerstoffaufnahme [$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$]
- Relative maximale Leistung [$\text{Watt} \cdot \text{kg}^{-1}$]
- Relative Leistung an der IAAS nach Dickhuth [$\text{Watt} \cdot \text{kg}^{-1}$]
- Herzfrequenz an der IAAS nach Dickhuth [$\text{S} \cdot \text{min}^{-1}$]
- Maximale Blutlaktatkonzentration [$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$]
- Maximale Herzfrequenz Hf_{max} [$\text{S} \cdot \text{min}^{-1}$]

5.2.7 Anaerobe Leistungsfähigkeit

Zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit wurde der Plateauleistungstest eingesetzt. Der Test wurde bei isokinetischem Betriebsmodus mit 90 U/min auf einem Schoberer-Rad-Messsystem (SRM) durchgeführt. Die Athleten hatten die Aufgabe, 90 Sekunden lang mit maximaler Intensität zu fahren. Während der Fahrt wurde die Leistungskurve aufgezeichnet (SRM Version 6.32.57), welche später nach Excel exportiert wurde.

Während des PLTs wurde über die mobile Spirometrie OXYCON mobile[®] der Firma Jäger eine Atemgasanalyse durchgeführt. Zeitgleich wurde separat die Herzfrequenz mit einer Pulsuhr des Typs S 810i der Firma Polar[®] aufgezeichnet.

Vor Teststart hatten die Athleten zehn Minuten Zeit sich individuell, auf dem zuvor auf die jeweiligen Körpermaße eingestellten Fahrradergometer, aufzuwärmen. Unmittelbar vor Testbeginn erfolgte eine Kapillarblutentnahme am Ohrläppchen zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration. Selbiges wurde unmittelbar nach Testende, sowie 3, 5, 7 und 10 min nach Testende durchgeführt. Die Blutproben wurden mit dem Miniphotometer plus LP 20 der Firma Dr. Lange[®] ausgewertet und im Protokoll schriftlich festgehalten. Um Kreislaufprobleme der Athleten zu verhindern, sollten die Athleten nach Testende locker ausfahren. Während des Tests wurden die Athleten durch Zurufe motiviert.

Folgende Parameter wurden während des PLTs ermittelt:

- Relative Peak Power [$\text{Watt} \cdot \text{kg}^{-1}$]
- Relative durchschnittliche Leistung der ersten 45 s [$\text{Watt} \cdot \text{kg}^{-1}$]
- Relative maximale Sauerstoffaufnahme [$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$]
- Maximale Blutlaktatkonzentration [$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$]
- Maximale Herzfrequenz $Hf_{\max}$ [$\text{S} \cdot \text{min}^{-1}$]

5.3 Methodenkritik

Messung der Standstabilisation

Um die Bedingungen auf der Standplattform GKS-1000 MED der Firma IMM Elektronik GmbH möglichst konstant zu halten, wurden die vorgegebenen Fußpositionen auf der Plattform benutzt und für die medio-laterale Auslenkung zusätzliche Markierungen angebracht. Desweiteren mussten alle Athleten bei jedem Test auf vorgegebene Punkte schauen, damit die Kopfposition nicht variierte. Durch die Fixierung der Hände auf den Beckenkämmen wurden zusätzliche Ausgleichbewegungen vermieden. Über verwendete Kopfhörer sollte verhindert werden, dass die Athleten das Klicken des Auslösemechanismus hören und dadurch vorgewarnt werden. Geringfügige Abweichungen bei der Positionierung der Athleten können trotz der Vorkehrungen nicht ganz ausgeschlossen werden.

Der Dateneinzug über eine Software lässt hinsichtlich der Berechnung der beschriebenen Fläche kaum Fehlermöglichkeiten zu. Dennoch muss die Anwendung dieses Tests zur Bestimmung der Gleichgewichtsfähigkeit kritisch, speziell in Hinblick auf die Validität, betrachtet werden. Durch die Applizierung der Perturbation an der Unterstützungsfläche bei aufrechtem Stand kann lediglich die statische posturale Kontrolle analysiert werden. Da die Short Track Athleten bei ihrer Sportausübung mit schmalen Kufen auf festen Boden stehen, gibt dieser Test nicht die Verhältnisse wieder, wie sie auf dem Eis sind. In nachfolgenden Untersuchungen werden deshalb Testmethoden empfohlen, bei denen die Athleten auf festem Boden stehen und die Instabilität z. B. durch eine kleine Bodenkontaktfläche hervorgerufen wird.

Messungen der Maximal- und Explosivkraftparameter

Eine sehr gut eingestellte Probandenposition und der Dateneinzug der Kraftdaten mit einer Software lassen in Hinblick auf die Berechnung der Maximalkraft kaum Fehlermöglichkeiten zu. Der Explosivkraft-Parameter unterliegt dagegen aufgrund der mathematischen Differenzierung einer Fehleranfälligkeit. Diese kann jedoch durch Glättung des Signals mit geeigneten Filteralgorithmen im akzeptablen Bereich gehalten werden.

Rumpfkraftmessungen

Bei den Rumpfkraftmessungen muss kritisch angemerkt werden, dass die Ermahnungen vom Versuchsleiter ausgesprochen wurden und somit subjektiv erfolgten. Die Zeiten wurden per Hand gestoppt und können kleinste Abweichungen aufweisen. Bezüglich der Reliabilität der verwendeten Rumpfkrafttests führten Atkinson et al. (1998) und Bland et al. (1986) Untersuchungen durch. Die Arbeitsgruppen kamen zu dem Ergebnis, dass die Zeiten mit mindestens 84%iger Wahrscheinlichkeit in einem zweiten Versuch wieder erreicht werden, so dass von einer guten Reliabilität ausgegangen werden konnte.

Messung der Beschleunigungsfähigkeit

Bei den Eismessungen muss kritisch angemerkt werden, dass die Bedingungen in einer Eishalle nicht immer gleich sind. Auch wenn vor den Starts jeweils die Eisfläche erneuert wurde, spielen die Hallentemperatur und die Luftfeuchtigkeit neben der Eisbeschaffenheit (Rillen, Wasser auf dem Eis etc.) eine entscheidende Rolle. Um diese Effekte weitestgehend zu umgehen, wurden möglichst viele Messungen am selben Tag durchgeführt. So wurde ein Messtag für die Rostocker Athleten festgelegt, an dem jedoch aufgrund von Krankheit, Arbeit etc. nicht alle Athleten die Sprints absolvieren konnten. Bei diesen Athleten mussten die Messungen der Beschleunigungsfähigkeit an einem anderen Tag nachgeholt werden. Die Athleten der Nationalmannschaft wurden ebenfalls alle an einem Tag unter denselben Bedingungen getestet.

Messungen der Einzelwertungs-Wettkampfstrecken

Die mobile Spirometrie, welche auf dem Rücken befestigt wurde, wirkte sich nachteilig auf die Laufzeiten aus. Durch die Atemmaske wurde die Ventilation beeinträchtigt, was aber zugunsten der Atemgasanalyse in Kauf genommen wurde. Da die Sportler die Teststrecken alleine laufen mussten, konnten sie weder im Windschatten fahren noch konnten sie sich ziehen lassen. Um Verfälschungen bezüglich des momentanen Leistungszustandes zu vermeiden, wurden die Saisonbestzeiten (2008/09) über den Einzelwertungs-Wettkampfstrecken zur Auswertung herangezogen. Weitere Gründe für die Berücksichtigung der Saisonbestzeiten sind u. a. Stürze während der Testläufe und nicht durchgeführte Testläufe aufgrund von Verletzungen.

Spirometriemessungen

Um die Messfehler bei der Atemgasanalyse so gering wie möglich zu halten, wurde nach jedem Ab- und Wiederaufbau der Messtechnik bzw. einmal täglich eine Eichung der Gasanalysatoren vorgenommen. Zusätzlich wurde die aktuelle Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit gemessen und entsprechend abgespeichert. Um Fehlmessungen hinsichtlich der analysierten Luft zu vermeiden, wurden Atemmasken in verschiedenen Größen verwendet. Die Masken wurden entsprechend der Kopfgröße und Kopfform ausgewählt und möglichst eng am Kopf mittels Bändern fixiert. Trotz der Vorkehrungen kann nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass die Athleten während den Tests Nebenluft eingeatmet haben und dies zu Verfälschungen der Ergebnisse geführt hat.

Laktatmessungen

Bei den Messungen der Laktatwerte muss angemerkt werden, dass die Abnahme der Blutmenge manuell auf den μl genau erfolgen musste. Zur Einhaltung der vorgegebenen Blutmenge (10 μl) diente eine Markierung an den Küvetten-Test-Pipetten. Je nach Blickwinkel kann es hier zu minimalen Abweichungen gekommen sein. Um diese weitestgehend gering zu halten, wurden alle Blutentnahmen, mit Ausnahme der beim Stufentest, von ein und derselben Person vorgenommen. Da die Stufentests von den Athleten am OSP Rostock absolviert wurden, wurden hier die Blutentnahmen von einer Laborassistentin durchgeführt.

Dadurch, dass die Blutentnahmen aus dem Ohrläppchen während und nach sportlicher Betätigung entnommen wurden, ist nicht auszuschließen, dass durch Schweiß die Laktatwerte „künstlich“ erhöht wurden. Um diesen Messfehler zu umgehen, wurde der Schweiß am Ohr vor der Blutentnahme abgewischt und das Ohrläppchen desinfiziert.

Stufentest

Die Steuerung des Stufentests erfolgte rechnergestützt, so dass es hier bezüglich der Stufendauer und der voreingestellten Leistung zu keinen Abweichungen und Unregelmäßigkeiten gekommen sein sollte. Durch den Einsatz von Softwareprogrammen werden auch bei der Datenauswertung die Fehlermöglichkeiten minimiert.

Plateauleistungstest

Der Dateneinzug über eine Software (SRM Version 6.32.57) lässt für das Auslesen der peak power und der durchschnittlichen Leistung kaum Fehlermöglichkeiten zu. Das Einstellen der Lenker- und Sattelposition erfolgte individuell, so dass die Athleten die für sich optimale Position hatten.

5.4 Versuchsablauf

Die Untersuchungen am Labortag, an dem u. a. die Kraftmessungen stattfanden, wurden von allen Athleten in der gleichen Reihenfolge absolviert. Begonnen wurde mit den Messungen zur Standstabilisation im ausgeruhten Zustand. Nach einer Eingewöhnungsphase, die individuell angepasst wurde, wurden die Messungen in folgender Reihenfolge vorgenommen:

- 1.1 offene Augen, Auslenkung: anterior-posterior
- 1.2 geschlossene Augen, Auslenkung: anterior-posterior
- 1.3 offene Augen, Auslenkung: medio-lateral
- 1.4 geschlossene Augen, Auslenkung: medio-lateral

Nach diesen Messungen erfolgte eine individuelle Erwärmung von 10minütiger Dauer auf dem SRM. Danach wurden die Messstationen in nachstehender Reihenfolge absolviert:

2. Rumpfkraftmessung (ventral, lateral links, lateral rechts, dorsal)
3. Beinkraftmessung (90° bilateral, unilateral rechts und links)
4. Plateauleistungstest
5. Messung der Standstabilisation nach Belastung (ohne Eingewöhnung)
 - 5.1 offene Augen, Auslenkung: anterior-posterior
 - 5.2 geschlossene Augen, Auslenkung: anterior-posterior
 - 5.3 offene Augen, Auslenkung: medio-lateral
 - 5.4 geschlossene Augen, Auslenkung: medio-lateral

Der zeitliche Aufwand pro Athlet betrug im Durchschnitt 110 Minuten.

Der Stufentest auf dem Fahrradergometer wurde separat an einem anderen Tag am OSP Rostock von den Athleten absolviert. Der zeitliche Aufwand hierfür betrug zirka 60 Minuten.

Bei den Eismessungen zur Bestimmung der Beanspruchung auf den Einzelwertungs-Wettkampfstrecken wurden die Athleten als erstes mit einem Brustgurt zur Registrierung der Herzfrequenz ausgestattet. Als nächstes wurde die mobile Spirometrie angelegt. Nach Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Messapparaturen konnten sich die Athleten individuell erwärmen. Vor dem Start wurde Blut zur Laktatbestimmung aus dem Ohrläppchen entnommen. Nach absolviertem Testlauf wurden weitere Blutabnahmen vorgenommen. Pro Testlauf waren 30-45 min zu veranschlagen.

Die Messungen der Indikatoren zur Beurteilung der Beschleunigungsfähigkeit auf dem Eis wurden an gesonderten Tagen vorgenommen.

Da die Athleten der Short Track Nationalmannschaft nur fünf Tage in Rostock weilten, musste jeder von ihnen jeden Tag einen andern Test absolvieren. Eine völlige Erholung ist damit aufgrund der hohen Belastung auszuschließen. Bei den

Rostocker Athleten wurde darauf geachtet, dass zwischen zwei Tests mindestens eine Erholungszeit von 48 Stunden lag. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Rostocker Athleten während des gesamten Untersuchungszeitraumes ihr normales Training weiter durchführten und zwischenzeitlich auch Wettkämpfe besucht wurden.

Um einen Gesamtüberblick über die gemessenen Indikatoren aller Konstrukte zu bekommen, wurden diese in Tabelle 1 zahlenmäßig noch mal aufgeschlüsselt. Für die statistische Auswertung wurden Indikatoren bei ausgewählten Konstrukten zusammengefasst. So z. B. wurden bei der Standstabilisation die vier durchgeführten Tests vor Belastung zu einem Merkmal zusammengefasst und die vier durchgeführten Tests nach Belastung ebenfalls. In die statistische Auswertung flossen somit für die Standstabilisation nur zwei Variablen ein. Ebenso wurden bei den Rumpfkrafttests alle vier Indikatoren zu einem Merkmal zusammengefasst.

Tab. 1: quantitative Zusammenfassung der Indikatoren und Anzahl resultierender Variablen

Konstrukt	Anzahl der Indikatoren	Anzahl der Variablen
Sportliche Leistung	3	3
Standstabilisation	8	2
Statische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur (iMVC)	3	3
Dynamische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur	1	1
Schnellkraft der Beinstreckmuskulatur (MRFD)	3	3
Rumpfkraft	4	1
Beschleunigungsfähigkeit	3	3
Aerobe Leistungsfähigkeit	2	2
Anaerobe Leistungsfähigkeit	1	1
Gesamt	28	19

5.5 Merkmalstichprobe

Bezogen auf das a priori erstellte Strukturmodell (Kapitel 4.1.3, Abbildung 5) werden im Folgenden die zu erhebenden Merkmale in abhängige und unabhängige Variablen unterteilt.

Abhängige Variablen (einschließlich intervenierender Variablen)

- Laufzeiten über die Einzelwertungs-Wettkampfstrecken
 - Laufzeit über 500 m
 - Laufzeit über 800 m (nur D-Junioren)
 - Laufzeit über 1000 m
 - Laufzeit über 1500 m (außer D-Junioren)
- Standstabilisation (beschriebene Fläche)
 - vor Belastung
 - nach Belastung
- Beschleunigungsfähigkeit (Zeit) über
 - 5 m
 - 30 m
 - 55,5 m (halbe Runde)
- Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur
 - Schnellkraft
 - Relative maximale Explosivkraft MRFD bilateral, unilateral rechts und links
- Anaerobe Leistungsfähigkeit
 - Relative durchschnittliche 45 s-Leistung beim PLT

Unabhängige Variablen

- Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur
 - Maximalkraft
 - Relative isometrische Maximalkraft (iMVC) bilateral, unilateral rechts und links
 - Relative dynamische Maximalkraft (peak power)

- Rumpfkraft
 - Haltezeit (ventrale, laterale (links und rechts) und dorsale Muskelkette)
- Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit
 - Relative maximale Sauerstoffaufnahme
 - Relative Leistung an der IAAS nach Dickhuth

Zusätzlich wurden anthropometrische Daten erhoben, um einen eventuellen Einfluss auf die abhängigen/unabhängigen Variablen nachzuweisen und um Messwerte zu relativieren.

- Alter [Jahre]
- Körpergröße [m]
- Gewicht [kg]
- Body Mass Index: $BMI = \frac{\text{Körpermasse [kg]}}{\text{Körpergröße [m]}^2}$

5.6 Personenstichprobe

An der Leistungsdiagnostik nahmen 16 männliche und 10 weibliche Short Track Athleten teil. Von den 26 untersuchten Athleten gehörten insgesamt 16 dem Kader an. Untersucht wurden Athleten von der Altersklasse D-Junioren bis Senioren. Der jüngste Athlet war 12 Jahre, der älteste 28 Jahre alt. Der Altersdurchschnitt der Studienteilnehmer lag bei $17,5 \pm 4$ Jahren. Eine genaue Aufschlüsselung der Probanden nach Altersklasse, Geschlecht und Kaderzugehörigkeit ist der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Altersklassen und Kaderzugehörigkeit der untersuchten Athleten

Altersklasse	n	w / m	NM	JWM-Kader	C-Kader	D/C-Kader
Senioren	8	1 / 7	6	-	-	-
A-Junioren	5	2 / 3	2	-	2	-
B-Junioren	2	1 / 1	-	1	-	1
C-Junioren	3	2 / 1	-	-	-	2
D-Junioren	8	4 / 4	-	-	-	2
gesamt	26	10 / 16	8	1	2	5

NM = Nationalmannschaft, JWM = Juniorenweltmeisterschaft

5.7 Statistische Verfahren

Zur statistischen Auswertung der Daten wurde die Software-Programme IBM® SPSS® Statistics 19 und 20 sowie IBM® SPSS® AMOS 20 und Excel 2007 benutzt. Für die Auswertung und Analyse der Untersuchungsergebnisse wurden folgende statistische Standardverfahren eingesetzt: deskriptive Verfahren, Korrelationsanalyse, partielle Korrelation, Regressionsanalyse, explorative Faktorenanalyse (EFA) und Pfadanalyse.

Bei den angewendeten statistischen Verfahren wurden für die Irrtumswahrscheinlichkeit p folgende Signifikanzniveaus festgelegt:

$p > 0,05$ nicht signifikant

$p < 0,05$ signifikant (*)

$p < 0,01$ hoch signifikant (**).

6. Prämissen, Ziele und elementare Grundzüge der statistischen Verfahren

In diesem Teil der Arbeit geht es um die Vorstellung der im Kapitel 7 „Datenverarbeitung und Datenanalyse“ zum Einsatz kommenden statistischen Analyseverfahren. Dies sind neben der Deskriptiv- und Inferenzstatistik (Häufigkeitsverteilungen und Produkt-Moment-Korrelation) die multivariaten Methoden „partielle Korrelation“, „explorative Faktorenanalyse“, „multiple lineare Regressionsanalyse“ und die „Pfadanalyse“. Eingegangen wird speziell auf die Ziele und Prämissen der einzelnen Methoden.

Die Darstellung der elementaren Grundzüge der einzelnen Verfahren soll es dem Leser ermöglichen, sich einen schnellen Überblick über die Kriterien und Parameter zu verschaffen, die zur Überprüfung der Hypothesen dieser Arbeit über die Leistungsstruktur beim Short Track verwendet wurden. Ergänzend wird der Ablauf der „z-Transformation“ kurz beschrieben sowie allgemeine Erklärungen zum „Hypothesentest“ gegeben.

Für die zusammenfassende Darstellung wurden folgende Standardwerke verwendet:

- ❖ „Statistische Methoden“ von M. Pospeschill (2006)
- ❖ „Multivariate Analysemethoden“ (12. Auflage), von Backhaus et al. (2008)
- ❖ „Strukturgleichungsmodellierung“ von Weiber & Mülhhaus (2010)
- ❖ „Grundlegende multivariate Modelle der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse“ (3. Auflage) von D. Holtmann (2010)
- ❖ „Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler“ (7. Auflage) von Bortz & Schuster (2010)

6.1 Deskriptiv- und Inferenzstatistik

Anhand der Methoden der deskriptiven Statistik werden Daten sinnvoll geordnet und in übersichtlicher Form bezüglich ihrer Verteilung, Lage und Streuung zusammenfassend beschrieben (Haag, 1999a). Speziell im Fall der hypothesenprüfenden Verfahren dient sie der Suche nach Besonderheiten und Auffälligkeiten in den Datensätzen, so z. B. der Auffindung von Extremwerten und Ausreißern⁴⁰. Die Inferenzstatistik ermöglicht im Unterschied zur deskriptiven Statistik die Überprüfung von Hypothesen (Bortz & Schuster, 2010).

6.1.1 Statistische Kennwerte

Charakteristische Kennzeichen einer Verteilung sind deren

- Zentrale Tendenz
- Variabilität und
- Form

Zentrale Tendenz

Das Konzept der zentralen Tendenz orientiert sich an der Bestimmung eines einzelnen repräsentativen Durchschnittswerts für ein Set von Daten. Bevorzugtes Maß, da sämtliche Daten einfließen, ist das *Arithmetisches Mittel* kurz *Mittelwert* $\bar{x}$. Dieser berechnet sich aus der Addition aller Einzelwerte x_i und anschließender Division durch die Anzahl der Fälle n .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Der Mittelwert $\bar{x}$ (Stichprobe) bzw. μ (Population) steht mit wichtigen Streuungsmaßen in Beziehung, die zusammengekommen eine wesentliche Grundlage für inferenzstatistische Verfahren darstellen. Zu beachten ist, dass der Mittelwert nicht robust gegenüber Ausreißern ist. Schon ein einzelner Extremwert kann den Mit-

⁴⁰ Ausreißer: ein extremer Beobachtungswert, der ein qualitatives, von der Gesamtheit abweichendes Element signalisiert (Rönz & Strohe, 1994). Andere Autoren (Barnett & Lewis, 1995) definieren Ausreißer als Beobachtungen, die mit dem Rest der Werte unvereinbar erscheinen.

telwert deutlich erhöhen bzw. verringern, so dass $\bar{x}$ dann kein guter Repräsentant der beobachteten Werte darstellt. Aus diesem Grund sollten Extremwerte und Ausreißer für weitere statistische Berechnungen aus den Datensätzen entfernt werden (Bortz & Schuster, 2010).

Variabilität

Variabilität dient der Quantifizierung des Streuungsgrades von Messwerten. Nach Pospeschill (2006) kann die Variabilität als Maß des Fehlers begriffen werden, der bei Verwendung einer Stichprobe zur Repräsentation einer Population zu erwarten ist. Je größer die Variabilität, desto schlechter wird die Verteilung durch den Mittelwert repräsentiert.

Zu den gebräuchlichsten Maßen zur Kennzeichnung der Variabilität zählen die *Varianz* s^2 und die *Standardabweichung* s . Die Varianz beinhaltet die mittlere quadrierte Abweichung und stellt den Durchschnitt der quadrierten Abweichungen zum Mittelwert dar.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

Durch ziehen der Quadratwurzel erhält man die Standardabweichung $s = \sqrt{s^2}$.

Form

Die Form bezieht sich auf die Symmetrie oder Schiefe (Skewness) einer Verteilung. Dabei gilt, dass jede nicht symmetrische Verteilung schief ist. Berechnet wird die Schiefe v gemäß der Formel (3)⁴¹. Werte größer Null weisen auf eine rechtsschiefe (linkssteile), Werte kleiner Null auf eine linksschiefe (rechtssteile) Verteilung hin.

$$v = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (3)$$

⁴¹ Hierbei handelt es sich um die erwartungstreue Schätzfunktion für die Schiefe.

Je nachdem, ob sich die Merkmalswerte einer Verteilung in der Mitte oder an den Enden häufen, spricht man von verschiedenen Arten der Wölbung (Kurtosis). Für die Berechnung der Wölbung wird folgende Formel verwendet⁴²:

$$w = \frac{n(n+1) \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 - 3(n-1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \quad (4)$$

Wölbungskoeffizienten kleiner Null weisen auf eine steil- bzw. hochgipflige und Werte größer Null auf eine breitgipflige bzw. flachere Verteilung im Vergleich zur Normalverteilung hin.

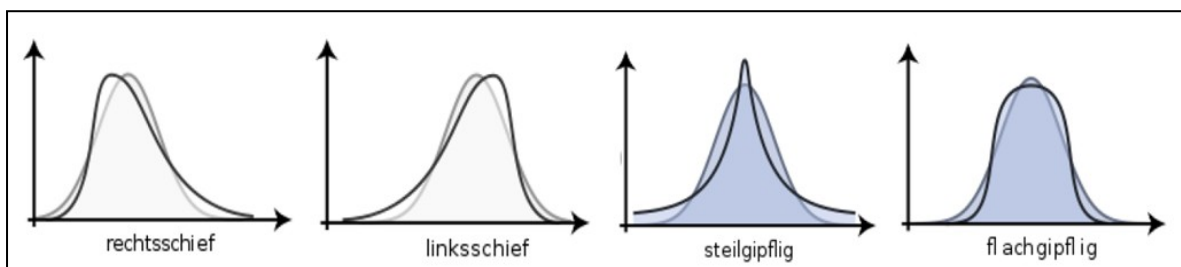


Abb. 18: Schiefe und Wölbung einer Häufigkeitsverteilung (nach Bortz & Schuster, 2010)

6.1.2 Identifikation von Extremwerten und Ausreißern

Extremwerte und Ausreißer wirken sich, je nach Gewichtung der Streuungen in den einzelnen Analysemethoden, überproportional aus. Dies ist z. B. bei Berechnung der Varianz und der Methode der kleinsten Quadrate, die bei der Regressionsanalyse zur Anwendung kommt (siehe Kapitel 6.2.3) der Fall. Dadurch verzerren Extremwerte und Ausreißer die statistischen Resultate und können zu irreführenden Ergebnissen führen (Pospeschill, 2006; Bortz & Schuster, 2010).

Zur Identifikation von Ausreißern existieren graphische und rechnerische Methoden. Im eindimensionalen Fall sind graphische Darstellungen das einfachste und anschaulichste Instrument für die Identifikation von Ausreißern. Nach Schlittgen (1993) finden immer mehr die sog. Box-Plots Verbreitung. Box-Plots bieten den

⁴² Hierbei handelt es sich um die erwartungstreue Schätzfunktion für die Wölbung.

Vorteil, dass sie aufgrund der Quartile⁴³ bestimmt werden, die gegenüber Ausreißern relativ unempfindlich sind (Bortz & Schuster, 2010). Dabei werden die mittleren 50% einer Verteilung durch eine Box repräsentiert (entspricht dem Interquartilbereich = IQR), in die der Median eingezeichnet wird⁴⁴ (siehe Abbildung 19).

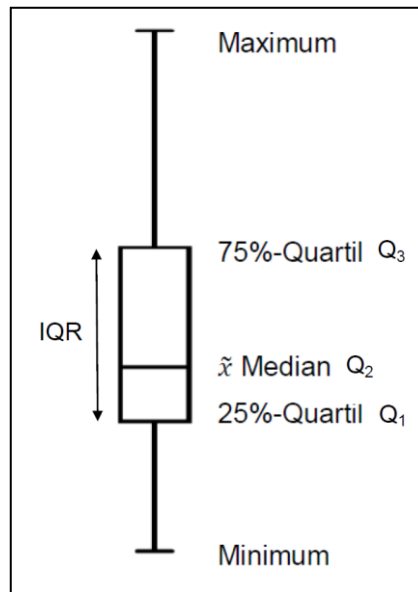


Abb. 19: Box-Whisker-Plot (nach Bortz & Schuster, 2010)

Die Werte an den Rändern einer Verteilung werden durch Striche, welche jeweils von den Enden der Box ausgehen, repräsentiert. Diese Striche, auch „Whisker“ genannt, kennzeichnen die Verteilung der Werte die kleiner als das erste bzw. größer als das dritte Quartil sind. Um die Länge der Whisker zu bestimmen, werden zum oberen Angelpunkt Q_3 das 1,5-fache des IQR addiert (obere Ausreißergrenze) und vom unteren Angelpunkt Q_1 das 1,5-fache des IQR subtra-

⁴³ Quartile trennen (geordnete) Datenwerte in vier gleich große Gruppen: $\frac{1}{4}$ der Datenwerte sind $\leq$ dem Wert des 25%-Quartils. Die Hälfte der Datenwerte ist $\leq$ dem Wert des 50%-Quartils, $\frac{3}{4}$ der Datenwerte sind $\leq$ dem Wert des 75%-Quartils.

⁴⁴ Der Median, der Wert, der eine Verteilung halbiert, wird auch als Angelpunkt Q_2 bezeichnet. Der Angelpunkt Q_1 entspricht dem Median der Werte, die unterhalb des Medians Q_2 liegen. Der obere Angelpunkt Q_3 wird analog dazu aus dem Median der Werte die oberhalb des Medians Q_2 liegen berechnet. Der Bereich $Q_3 - Q_1$, in dem die mittleren 50% der Rohdatenverteilung streuen, wird als Interquartilbereich bezeichnet.

hiert (untere Ausreißergrenze). Die Länge der Whisker entspricht dem größten bzw. kleinsten Beobachtungswert, der noch unter- bzw. oberhalb dieser Grenzen liegt. Enthalten die Daten Beobachtungen, deren Werte die Grenzen über- bzw. unterschreiten, werden diese als Ausreißer betrachtet (Bortz & Schuster, 2010). Die Ausreißer werden in den Box-Plots individuell, z. B. durch einen Stern gekennzeichnet (siehe Abbildung 20, Mitte).

Grafische Darstellung von Häufigkeitsverteilungen und Statistik Software

Intervallskalierte Daten werden bevorzugt als Histogramm mit eingezeichneter Normalverteilung dargestellt. Die Häufigkeitsverteilung des Explosivkraftparameters in Abbildung 20 lässt eine linkssteile bzw. rechtsschiefe Verteilung erkennen. Bestätigt wird dies durch den positiven Schiefekoeffizienten von 2,261.

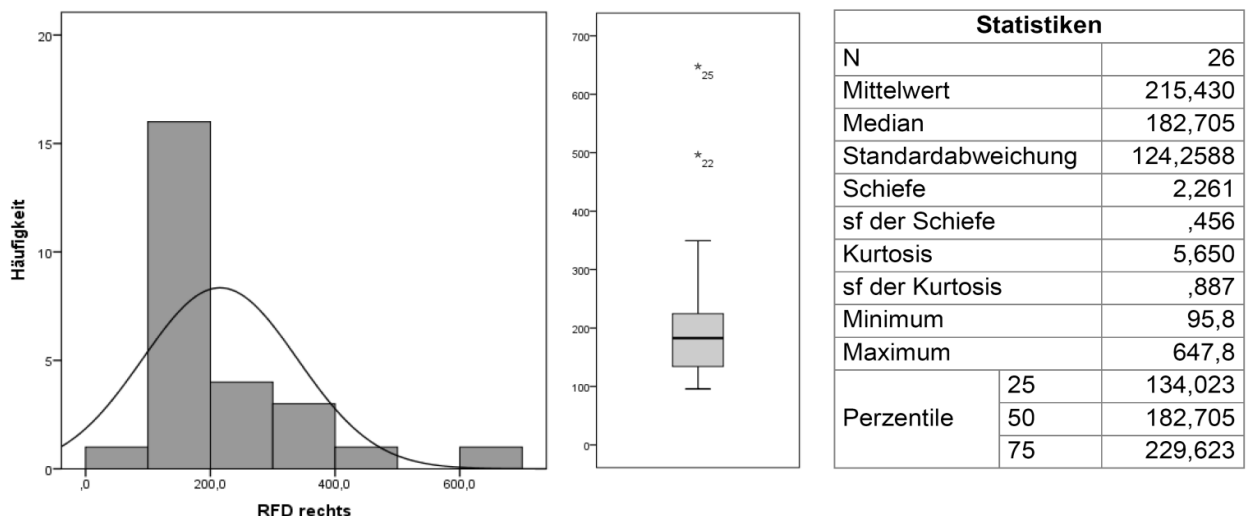


Abb. 20: Histogramm mit eingezeichneter Normalverteilung (links) Box-Whisker-Plot (Mitte) und deskriptive Statistik (rechts) für die Explosivkraft (RFD)

Eine weitere Möglichkeit Häufigkeitsverteilungen darzustellen besteht in der Verwendung von Box-Plots bzw. Box-Whisker-Plots (Abbildung 20, Mitte). Ausreißer werden bei dieser Darstellungsform im Statistikprogramm SPSS® mit einem Sternchen gekennzeichnet. Die Nummer neben dem Sternchen kennzeichnet die Fallzahl. Im Beispiel stellen die Fallzahlen 22 und 25 Ausreißer bezüglich des Explosivkraftparameters dar.

6.1.3 Normalverteilung und z-Transformation

Normalverteilung

Ist eine Verteilung durch einen glockenförmigen Verlauf und ihrer Symmetrie gekennzeichnet, so liegt eine *Normalverteilung* vor (Schiefe und Wölbung gleich Null). Ab wann im Rahmen einer Strukturgleichungsmodellierung bedeutsame Verletzungen der Normalverteilung vorliegen, ist umstritten. So geben Temme und Hildebrand (2009) an, dass Schiefe- und Wölbungsmaße betragsmäßig nicht größer 1 sein sollten. West et al. (1995) sehen eine Verletzung der Normalverteilung erst ab Werten $|>2|$ für Schiefe- und $|>7|$ für den Wölbungskoeffizienten. Weiber und Mülhhaus (2010) betonen, dass Verzerrungen der Gütemasse und Standardfehler der Parameterschätzungen erst bei nennenswerten Abweichungen von der Normalverteilung auftreten und empfehlen deshalb, nicht zu restriktiv vorzugehen.

z-Transformation

Um Daten unterschiedlicher Verteilungen vergleichen zu können, wird die z-Transformation angewandt. Dabei wird jeder einzelne x-Wert (x_i) in einen standardisierten Wert (z_i) wie folgt konvertiert:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \quad (5)$$

Verteilungen von z-Werten besitzen dadurch immer einen Mittelwert von $\bar{z} = 0$ und eine Standardabweichung von $s_z = 1$.

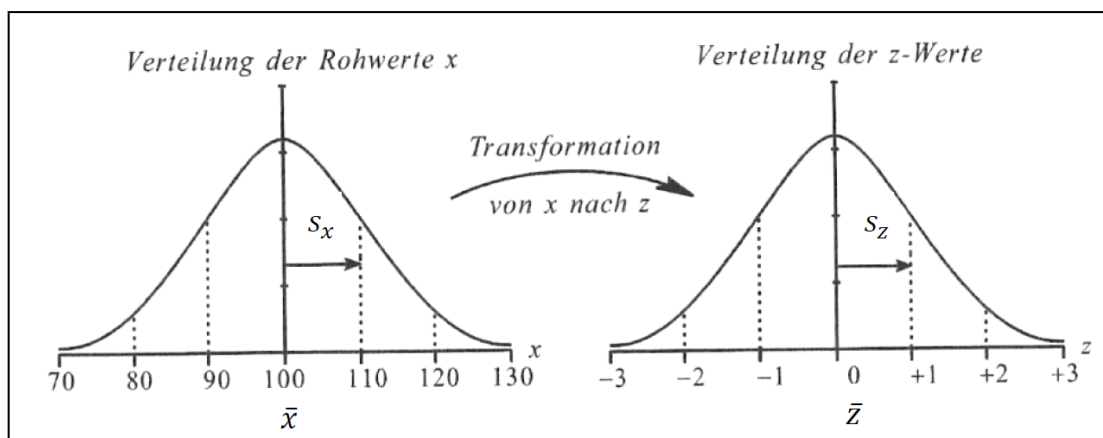


Abb. 21: Transformation einer Rohwertverteilung in eine Standardnormalverteilung (nach Pospeschill, 2006, S. 97)

6.1.4 Statistische Signifikanz und Hypothesentest

Signifikant bedeutet, dass sich ein statistisches Ergebnis von einem reinen Zufallseffekt unterscheidet. Signifikante Ergebnisse berechtigen die Nullhypothese (H_0) zu verwerfen. Diese behauptet, dass das Treatment keinen Effekt besitzt. Die zweite Hypothese, die Alternativhypothese (H_1), behauptet genau das Gegenteil von H_0 . Sie sagt aus, dass das Treatment (unabhängige Variable X) einen Effekt auf die abhängige Variable (Y) ausübt (Conzelmann, 1999).

Einseitiger und zweiseitiger Hypothesentest

Enthält die aufgestellte Hypothese Informationen zur Richtung, so handelt es sich um eine einseitige (gerichtete) Alternativhypothese. Postuliert die Alternativhypothese lediglich eine Abweichung ohne Festlegung der Richtung, handelt es sich um eine zweiseitige (ungerichtete) Alternativhypothese⁴⁵. Mit anderen Worten: Ist es das Ziel zu überprüfen, ob eine Eigenschaft über oder unter einem vorgegebenen Grenzwert liegt, dann muss ein einseitiger Test angewendet werden. Einseitige Tests haben somit nur einen Ablehnungsbereich. Ist es von Interesse, zu bestimmen, ob eine Eigenschaft innerhalb gewisser Grenzen liegt, dann ist es notwendig, zwei Grenzen zu setzen. In diesem Fall kommt ein zweiseitiger Test zur Anwendung. Hierbei wird nach der Wahrscheinlichkeit gefragt, mit der ein Ereignis innerhalb oder außerhalb dieser Grenzen liegt. Bei Abweichungen in beide Richtungen wird die Nullhypothese verworfen (Pospeschill, 2006; Bortz & Schuster, 2010).

Konfidenzwahrscheinlichkeit und Konfidenzintervall

Ausgehend von einer Standardnormalverteilung mit $\bar{z} = 0$ und $s_z = 1$, liegen im sog. Konfidenzintervall $\bar{z} \pm 1s_z$ 68,28% aller Werte. Im Intervall $\bar{z} \pm 2s_z$ liegen 95,5% und 99,8% aller Werte liegen im Intervall $\bar{z} \pm 3s_z$ (siehe dazu Abbildung 22). Anders ausgedrückt lässt sich sagen, ein Wert liegt mit 68,28%iger Wahrscheinlichkeit im Konfidenzintervall von $\bar{z} \pm 1s_z$ usw.. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass

⁴⁵ Beispiel für eine gerichtete Hypothese: Bei Verbesserung der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur nimmt die Laufzeit ab. Die ungerichtete Hypothese würde lauten: Bei Verbesserung der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur ändert sich die Laufzeit. Hierbei bleibt die Richtung offen.

ein Wert im geschlossenen Konfidenzintervall $[a;b]$ liegt, wird *Konfidenzwahrscheinlichkeit* genannt. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Wert außerhalb der Grenzen des Konfidenzintervalls liegt, wird als *Irrtumswahrscheinlichkeit* α angegeben. Entscheidend ist die Frage, welches Konfidenzintervall (welches α -Niveau) gewählt wird. Bei medizinisch-naturwissenschaftlichen Problemen werden häufig Konfidenzwahrscheinlichkeiten von 95%, 99% und 99,9% festgelegt (Keller, 1993).

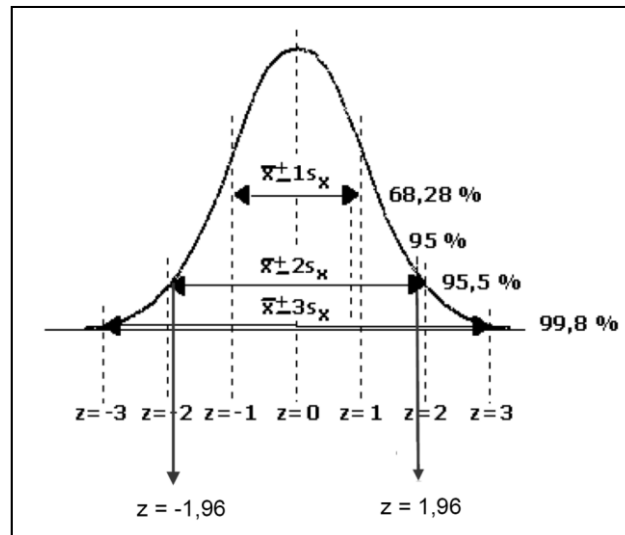


Abb. 22 Konfidenzwahrscheinlichkeit verschiedener Konfidenzintervalle bei einer Normalverteilung

t-Teststatistik

Um die z-Statistik zur Bestimmung des kritischen Bereiches für den Hypothesentest zu nutzen, müssen Informationen über die Varianz der Population (σ^2) vorliegen. Da diese Informationen in den meisten Fällen fehlen, kommt die t-Statistik zur Anwendung. Der t-Test verwendet die Stichprobenvarianz (s^2) bzw. Stichprobenstandardabweichung (s) um eine erwartungsgetreue Schätzung für die Populationsvarianz vorzunehmen. Dabei berechnet sich t aus:

$$t = \sqrt{n} \left(\frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \right) \quad (6)$$

Da sich t-Verteilungen in Abhängigkeit von den Freiheitsgraden⁴⁶ (df) in ihrer Form unterscheiden (siehe Abbildung 23), ist der kritische t-Wert bei einem t-Test von den Freiheitsgraden abhängig. Je größer die Anzahl der Freiheitsgrade, desto mehr nähert sich die t-Verteilung der Standardnormalverteilung an und umso besser schätzt s^2 den Wert für σ^2 (Pospeschill, 2006)

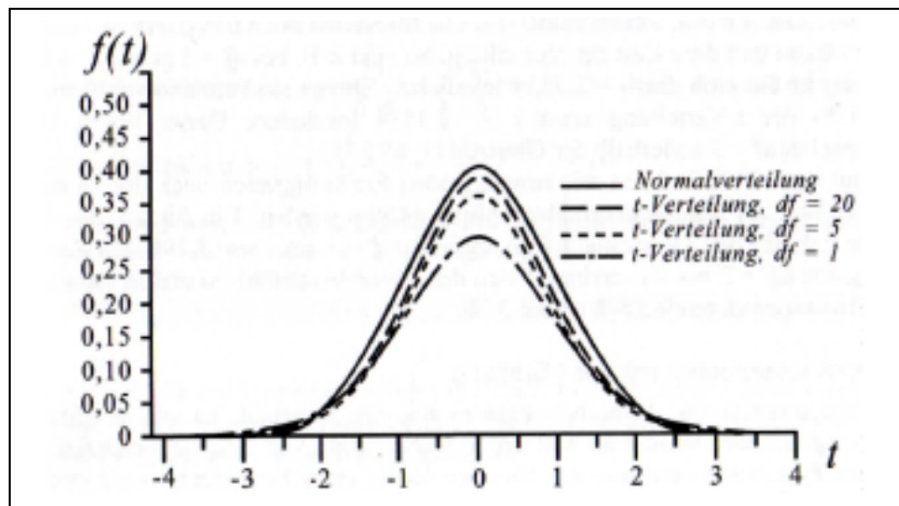


Abb. 23: t-Verteilung bei unterschiedlichen Freiheitsgraden (Pospeschill, 2006)

Zur Bestimmung des kritischen t-Wertes ist die t-Tabelle⁴⁷ heranzuziehen. Die Entscheidung, ob die Nullhypothese beibehalten oder abgelehnt wird, hängt für ein gegebenes Signifikanzniveau davon ab, ob der empirische t-Wert einen der beiden kritischen Werte, welche den Ablehnungsbereich der Nullhypothese begrenzen, übersteigt bzw. unterschreitet. Ist der Betrag des empirischen t-Wertes größer als $t_{df;1-\alpha/2}$, so wird die Nullhypothese abgelehnt. Bei der gerichteten Hypothese wird die Nullhypothese verworfen, falls $t > t_{df;1-\alpha}$ ($H_0: \mu > \mu_0$) bzw. $t < t_{df;1-\alpha}$ ($H_0: \mu < \mu_0$) (Bortz & Schuster, 2010).

⁴⁶ Freiheitsgrade beschreiben die Anzahl der Werte in einer Stichprobe, die frei variieren können. Da der Stichprobenmittelwert für einen Wert der Stichprobe eine Restriktion bedeutet, ergeben sich $n-1$ Freiheitsgrade für die Stichprobe.

⁴⁷ Die Tabellen sind in Statistik-Lehrbüchern abgebildet bzw. im Internet zu finden.

6.1.5 Produkt-Moment-Korrelation

Mittels der Produkt-Moment-Korrelation, die auch als Pearson-Korrelation bezeichnet wird, lassen sich lineare Zusammenhänge zwischen zwei Variablen analysieren. Für die Durchführung der Pearson-Korrelation müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Skalenniveau (mindestens intervallskalierte Daten)
- empfindlich gegenüber Ausreißern,
- annähernde Normalverteilung der Daten beider Variablen,
- Linearitätsbedingung und
- Signifikanzbedingung.

Kovarianz und Korrelationskoeffizient r

Der Grad und die Richtung eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen X und Y werden ausgedrückt im Korrelationskoeffizienten r. Nach Pospeschill (2006) ergibt sich r konzeptuell aus dem Grad, in dem X und Y gemeinsam variieren, dividiert durch den Grad, in dem X und Y getrennt variieren. Die gemeinsame Variabilität wird dabei als *Kovarianz* $cov(X,Y)$ bezeichnet. Sie ist ein Indikator für die Systematik in den Veränderungen der Ausprägungen zweier Variablen und errechnet sich aus:

$$cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}) \quad (7)$$

Da die Kovarianz kein Definitionsintervall besitzt, kann über die Stärke des Zusammenhangs keine Aussage getroffen werden. Diese Eigenschaft macht es schwer die absoluten Werte der Kovarianz zu interpretieren. Aus diesem Grund wird der maßstabsunabhängige Korrelationskoeffizient r betrachtet. Die Normierung erfolgt mittels Division der Kovarianz durch die Standardabweichung⁴⁸.

$$r_{XY} = \frac{cov(X,Y)}{s_x * s_y} \quad (8)$$

⁴⁸ Die Korrelation zweier Variablen entspricht der Kovarianz der z-transformierten Variablen mit Mittelwert = 0 und Standardabweichung = 1 (Bortz & Schuster, 2010).

Grad der Beziehung

Wenn die Merkmale statistisch unabhängig sind, nimmt der Korrelationskoeffizient stets den Wert Null an. Der Wert ± 1 deutet auf einen perfekten linearen Zusammenhang hin. Die Zwischenwerte zeigen den Grad, mit dem sich die Datenpunkte einer Geraden annähern.

Richtung der Beziehung

Bei der positiven Korrelation tendieren beide Werte (X, Y) in die gleiche Richtung. Tendieren beide Werte in entgegengesetzte Richtung, handelt es sich um eine negative Korrelation. Besteht eine Null-Korrelation zwischen beiden Variablen, gibt es keine systematische Richtungsbeziehung.

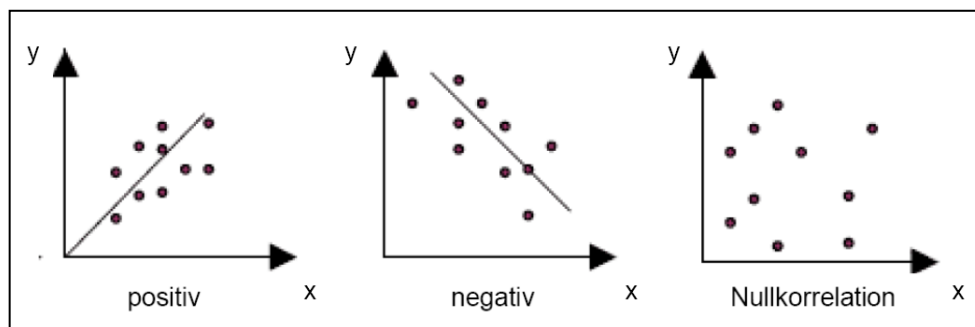


Abb. 24: Richtungsbeziehungen bei Korrelationen

Linearitätsbedingung

Bei der Pearson-Korrelation wird ein linearer Zusammenhang zwischen X und Y vorausgesetzt. Bei einer linearen Beziehung tendieren die Punkte im Streudiagramm dazu, eine Gerade zu bilden. Bei nichtlinearen Beziehungen sind die Punkte nicht linear angeordnet.

Signifikanzbedingung

Ein positiver bzw. negativer Korrelationskoeffizient allein berechtigt noch nicht zu der Aussage, dass ein statistischer Zusammenhang zwischen X und Y besteht, also dass der Zusammenhang auch in der Grundgesamtheit existiert. Hierfür muss erst geprüft werden, ob der ermittelte Korrelationskoeffizient signifikant ist. Signifikant heißt hier: von Null verschieden. Zur Überprüfung der Hypothese ($H_0: r = 0$), wird ein Signifikanztest (t-Test) durchgeführt (siehe Kapitel 6.1.4).

Korrelation und Beziehungsstärke

Zur Beurteilung der Stärke einer Variablenbeziehung wird der Korrelationskoeffizient r quadriert. R^2 wird als Bestimmtheitsmaß bezeichnet, da in seinem Wert der Varianzanteil steckt, der durch die Beziehung von X (unabhängige Variable) und Y (abhängige Variable) erklärt werden kann. Durch Multiplikation mit 100 entsteht ein Prozentwert.

Beispiel: $r = 0,80 \rightarrow R^2 = 0,64$, daraus folgt: 64% der Varianz in Y können durch Veränderung in X vorhergesagt werden.

Graphische Darstellung von Korrelationen und Statistik Software

Die Punkteverteilung in Abbildung 25 lässt erkennen, dass es sich um eine positive lineare Beziehung handelt. Zudem ist deutlich zu erkennen, dass die Punkte dazu tendieren eine Gerade zu bilden.

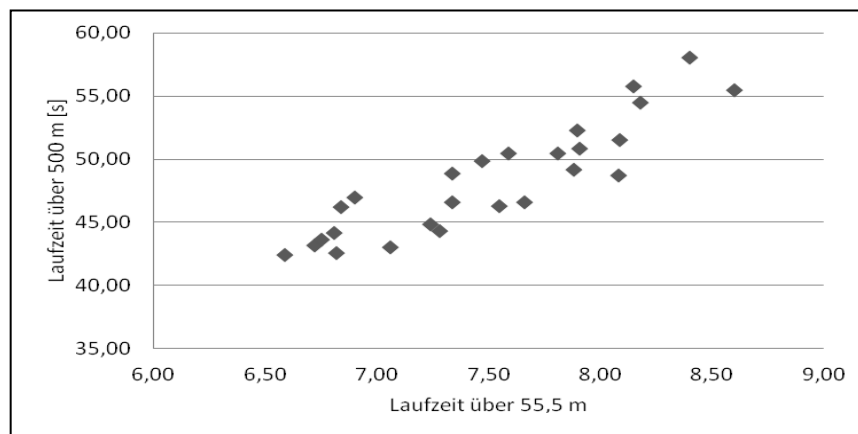


Abb. 25: Streudiagramm (SPSS) Korrelation zwischen den Laufzeiten [s] über 55,5 und 500 m

Der Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = 0,899$ kennzeichnet einen hohen Grad der Beziehung (siehe dazu Tabelle 4), der auf dem Niveau $\alpha = 1\%$ hoch signifikant ist⁴⁹ (siehe Tabelle 3).

⁴⁹ Die meisten Softwarepakete geben die Wahrscheinlichkeit p dafür an, dass die Ablehnung der Nullhypothese (H_0) eine Fehlentscheidung darstellt. Bei $p \leq 0,05$ handelt es sich um signifikante, bei $p \leq 0,01$ um hoch signifikante Korrelationen (Weiber & Mülhhaus, 2010).

Tab. 3: (SPSS) Korrelation zwischen den Laufzeiten [s] über 55,5 und 500 m

	Bestzeit 500 m	Sprint 55,5 m
Bestzeit 500 m	Korrelation nach Pearson Signifikanz (1-seitig)	1 ,899 ,000

Tab. 4: Interpretation der Höhe von Korrelationen (Weiber & Mülhhaus, 2010)

Korrelationswert r	Bestimmtheitsmaß R ²	Interpretation
r = 0	0%	statistisch unabhängig
0,0 < r ≤ 0,2	0% bis 4%	sehr geringe Korrelation
0,2 < r ≤ 0,5	4% bis 25%	geringe Korrelation
0,5 < r ≤ 0,7	25% bis 49%	mittlere Korrelation
0,7 < r ≤ 0,9	49% bis 81%	hohe Korrelation
0,9 < r ≤ 1,0	81% bis 100%	sehr hohe Korrelation

Korrelationen und Kausalität

Bei Vorliegen einer signifikanten Korrelation zwischen zwei Variablen kann nach Larzafeld (1955) nur auf Kausalität geschlossen werden, wenn

1. ein Wirkzusammenhang theoretisch/sachlogisch besteht,
2. die unabhängige Variable der abhängigen Variable zeitlich vorgelagert ist und
3. der statistische Zusammenhang bestehen bleibt, wenn mögliche Drittvariableneffekte⁵⁰ kontrolliert werden.

Ist mindestens eine der drei Bedingungen nicht erfüllt, ist der Nachweis einer statistischen Korrelation zwischen zwei Variablen kein Beweis für Kausalität! (Weiber & Mülhhaus, 2010). Dies liegt u. a. darin begründet, dass die Korrelation zwischen zwei Variablen rein zufallsbedingt sein kann. Desweiteren können sog. Drittvariableneffekte oder Ausreißer in den Daten verursachend für Korrelationen sein. Im Falle einer Nullkorrelation kann Kausalität lediglich widerlegt (falsifiziert) werden. Im Gegensatz dazu besteht die Möglichkeit, dass statistische Abhängigkeiten vor-

⁵⁰ Drittvariableneffekte liegen vor, wenn die bivariate Korrelation zwischen zwei Variablen durch die Wirksamkeit einer dritten Variable z verändert wird.

liegen, die durch Korrelationen nicht erfasst werden. Dies kann z. B. vorkommen, wenn eine sog. unterdrückte Korrelation vorliegt. In diesem Fall wird eine tatsächlich vorliegende Kausalbeziehung durch eine oder mehrere Drittvariablen verdeckt.

Interpretationsmöglichkeiten einer Korrelation (Abbildung 26)

Kausal interpretierbare Korrelationen liegen nur vor, wenn Variationen der Variable X_1 verursachend für Variationen der Variable X_2 (a) sind oder umgekehrt (b). Desweiteren sind wechselseitige Beeinflussungen, sog. Interdependenzen (c), kausal interpretierbar.

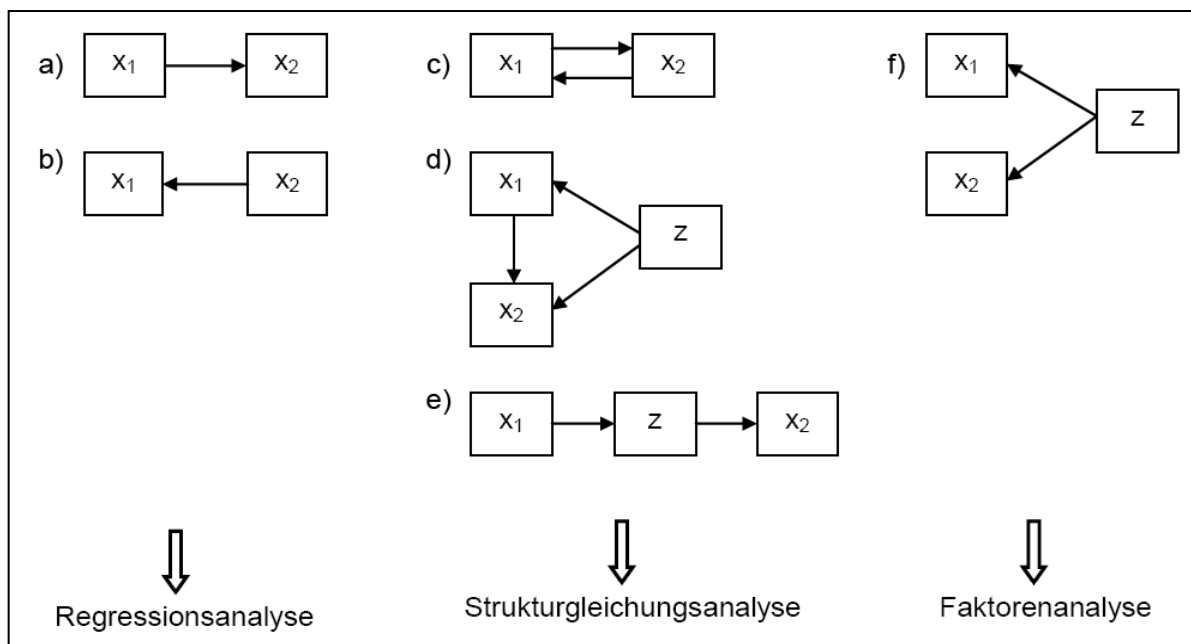


Abb. 26: kausale Interpretationsmöglichkeiten von Korrelationen und relevante Analysemethoden (nach Weiber & Mülhau, 2010)

Kausal teilweise interpretierbare Korrelationen liegen vor, wenn die Abhängigkeit der Variablen X_1 und X_2 teilweise durch den Einfluss einer dritten Variablen z bedingt wird (d), oder die Variable z eine intervenierende Variable darstellt (e).

Kausal nicht interpretierbare Korrelationen liegen vor, wenn ein Zusammenhang zwischen X_1 und X_2 allein aus dem Einfluss einer dritten Variablen z resultiert (f).

Zusammenfassend gilt: Ohne Zusatzinformationen dürfen Korrelationen nicht kausal interpretiert werden (Bortz & Schuster, 2010).

6.2 Multivariate Methoden

6.2.1 Partielle Korrelation

Die partielle Korrelation kann dafür eingesetzt werden, den Einfluss von Drittvariablen in der Analyse von Variablenbeziehungen zu „kontrollieren“. Der Grundgedanke ist, dass die Korrelation zwischen zwei Variablen x_1 und x_2 von einer dritten Variablen x_3 verursacht wird. In diesem Fall würde eine kausale Interpretation der Korrelation r_{x_1, x_2} zu falschen Schlussfolgerungen führen, da es sich um eine sog. Scheinkorrelation⁵¹ handelt. Um die Korrelation zwischen den Variablen x_1 und x_2 zu bestimmen, die von der Variablen x_3 nicht beeinflusst ist, müssen die Variablen x_1 und x_2 vom Einfluss der Variablen x_3 bereinigt werden. Dies geschieht mit Hilfe der Regressionsrechnung (siehe Kapitel 6.2.3). Bortz und Schuster (2010) beschreiben diesen Vorgang wie folgt: als erstes wird eine Regressionsgleichung bestimmt, mit der $\hat{x}_1$ -Werte aufgrund der Variablen x_3 vorhergesagt werden können. Die Varianz dieser vorhergesagten Werte wird durch die Variable x_3 bestimmt. Werden die vorhergesagten Werte $\hat{x}_1$ von den tatsächlichen Werten x_1 subtrahiert, resultieren bereinigte Werte, deren Varianz von der Variablen x_3 unbeeinflusst ist. Dieser Vorgang wird auch als *Herauspartialisieren* der Variablen x_3 aus x_1 bezeichnet. Auf selben Wege wird im nächsten Schritt die Variable x_2 vom Einfluss der Variablen x_3 bereinigt. Zum Abschluss werden die bereinigten Variablen x^*_1 und x^*_2 korreliert und es ergibt sich die sog. partielle Korrelation. Somit ist die partielle Korrelation „die bivariate Korrelation zweier Variablen, welche mittels linearer Regression vom Einfluss einer Drittvariablen bereinigt wurde“ (Bortz & Schuster, 2010).

⁵¹ Scheinkorrelation liegt vor, wenn zwei Variablen von einer dritten Variable z beeinflusst werden und bei Kontrolle der dritten Variable die bivariate Korrelation r_{x_1, x_2} gleich Null wird = sog. Drittvariableneffekt.

Die partielle Korrelation lässt sich anhand der bivariaten Korrelationen nach folgender Formel berechnen:

$$r_{p_{1,2}} = \frac{r_{12} - r_{13} * r_{23}}{\sqrt{1 - r_{13}^2} * \sqrt{1 - r_{23}^2}} \quad (9)$$

Beispiel: die Einzelkorrelationen haben die Werte $r_{1,2} = 0,89$, $r_{13} = 0,77$, $r_{23} = 0,80$, daraus erhalten wir als partielle Korrelation $r_{p_{1,2}} = \frac{0,89 - 0,77 * 0,80}{\sqrt{1 - 0,77^2} * \sqrt{1 - 0,80^2}} = 0,72$.

Abbildung 27 zeigt, wie partielle Korrelationen in der Literatur grafisch dargestellt werden.

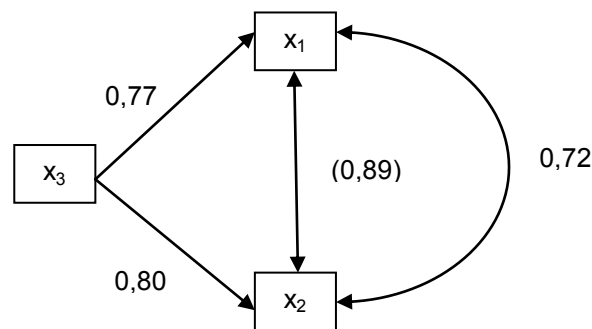


Abb. 27: Pfadmodell einer partiellen Korrelation

6.2.2 Explorative Faktorenanalyse (EFA)

Die EFA zählt zu den strukturentdeckenden Verfahren. Sie kommt dann zur Anwendung, wenn eine Vielzahl von Variablen erhoben wurden und der Anwender an einer Reduktion bzw. Bündelung dieser Variablen interessiert ist. Durch die Vielzahl von Variablen ist davon auszugehen, dass sich einige dieser Variablen überlappen. Durch die EFA werden mittels Korrelation Variablen identifiziert, die miteinander in Beziehung stehen und von denen getrennt, die weniger miteinander korrelieren. Die Gruppen der Variablen, die hoch miteinander korrelieren, nennt man *Faktoren* (Backhaus et al., 2008).

Variablenauswahl

Da die Güte der EFA von der Qualität der Ausgangsdaten abhängt, sollten bei der Variablenauswahl einige Punkte berücksichtigt werden, u. a. dass die Probanden

einer homogenen Stichprobe entstammen und die Daten normalverteilt vorliegen. Anhand von Korrelationen lassen sich im Vorfeld Zusammenhänge zwischen einzelnen Variablen erkennen, was auf eine Bündelungsfähigkeit hinweist. Um eine Vergleichbarkeit der Variablen mit unterschiedlichen Maßeinheiten zu ermöglichen, empfiehlt es sich die Ausgangsdatenmatrix zu standardisieren (siehe Gleichung (5)).

Faktorenextraktion und Kommunalitäten

Graphisch lassen sich Korrelationskoeffizienten r als Winkel zwischen zwei Vektoren darstellen. Der Koeffizient entspricht dabei dem Cosinus des jeweiligen Winkels. Ist z. B. $r = 0,5$ dann beträgt der Winkel 60° . Bei einem Winkel von 90° sind die zwei Vektoren linear unabhängig ($\cos(90^\circ) = 0$). Zusammenhänge zwischen zwei Variablen lassen sich leicht, wie in Abbildung 28 geschehen, in einem zweidimensionalen Raum darstellen. Je mehr Variablen hinzukommen, desto mehr Dimensionen werden für die Positionierung der entsprechenden Winkel benötigt.

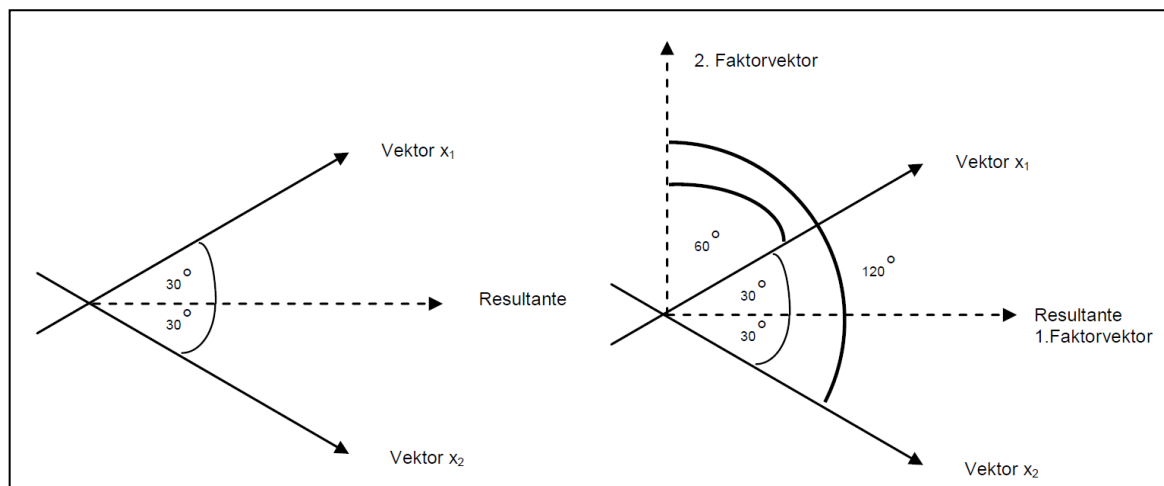


Abb. 28: Ein- und Zwei-Faktor-Lösung bei 2 Variablen (vgl. Backhaus et al., 2006)

Das Ziel der EFA besteht darin, das über die Korrelationskoeffizienten gemessene Verhältnis der Variablen zueinander in einem möglichst gering dimensionierten Raum zu reproduzieren. Die Anzahl der für die Reproduktion benötigten Achsen ergibt dabei die Anzahl der Faktoren (Backhaus et al., 2008).

Der 1. Faktor wird dabei als Resultante aller Vektoren bestimmt. Die Faktorladungen der einzelnen Variablen ergeben sich aus den gebildeten Winkeln zwischen dem 1. Faktor und den Ausgangsvektoren. Somit sind die

Faktorladungen als Maßgröße für den Zusammenhang zwischen den Variablen und dem Faktor zu verstehen. Sollen Faktorladungen für einen 2. Faktor berechnet werden, so wird ein weiterer Faktorvektor, der rechtwinklig zum 1. Faktor steht, erstellt⁵². Im Anschluss werden die entsprechenden Winkel zwischen dem 2. Faktorvektor und den Vektoren X_1 und X_2 betrachtet.

Beispiel an einem Zwei-Variablen-Modell

$r(X_1, X_2) = 0,5 \rightarrow \cos(0,5) = 60^\circ \rightarrow$ Resultante liegt genau zwischen den beiden Vektoren, daraus folgt, die Winkel zwischen 1. Faktor und Vektor X_1 und Vektor X_2 betragen jeweils 30° (Abbildung 28, links). Die Faktorladungen der Variablen X_1 und X_2 auf dem 1. Faktor betragen somit $\cos(30^\circ) = 0,866$.

Die Winkel zwischen dem 2. Faktorvektor, der im 90° -Winkel zur Resultante abgetragen wurde, und den Variablenvektoren betragen: $X_1 = 60^\circ$ und $X_2 = 120^\circ$ (Abbildung 28, rechts). Somit ergeben sich Faktorladungen auf dem 2. Faktor von $X_1 = \cos(60^\circ) = 0,5$ und $X_2 = \cos(120^\circ) = -0,5$. Als zweifaktorielle Ladungsmatrix zusammengefasst ergibt sich folgende Tabelle:

Tab. 5: Zweifaktorielle Ladungsmatrix

	Faktor 1	Faktor 2
Variable	Faktorladung	Faktorladung
X_1	0,866	0,5
X_2	0,866	-0,5

Zur Bestimmung der Kommunalität⁵³ h^2 einer Variablen werden die quadrierten Faktorladungen in einer Zeile addiert, dargestellt in Tabelle 6. Ergeben sich Kommunalitäten vom Wert Eins, so bedeutet dies, dass die Unterschiede in den Beobachtungsdaten durch die extrahierten Faktoren restlos erklärt werden. Nach Backhaus et al. (2008) ist die Summe der quadrierten Faktorladungen der wieder-

⁵² Rechtwinklig, weil die Faktoren unabhängig voneinander sein sollen.

⁵³ Teil der Gesamtvarianz einer Variablen, der durch die gemeinsamen Faktoren erklärt wird.

gegebene Varianzerklärungsanteil. Dieser Wert entspricht somit dem Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsanalyse (siehe Kapitel 6.2.3.2).

Tab. 6: Berechnung der Eigenwerte und der Kommunalitäten

	Faktor 1	Faktor 2	
Variable	Quadrierte Faktorladung	Quadrierte Faktorladung	Kommunalitäten h^2
X_1	0,75	0,25	1
X_2	0,75	0,25	1
Eigenwert λ	1,5	0,5	

Summiert man die quadrierten Faktorladungen spaltenweise auf, so erhält man den *Eigenwert* λ eines Faktors. Wird der Eigenwert des ersten Faktors λ_1 durch die Anzahl p Variablen⁵⁴, in diesem Fall $p = 2$, dividiert, und mit 100% multipliziert erhält man den Anteil der Gesamtvarianz, die dieser Faktor aufklärt (Bortz & Schuster, 2010). In diesem Fall sind das 75%. (1,5 von 2). Auf den zweiten Faktor entfallen 25% ($\lambda_2 = 0,5$ von 2). Zusammen erklären somit beide Faktoren 100% der Gesamtvarianz.

In der Regel wird bei der EFA der erste Faktor so bestimmt, dass mit ihm ein maximaler Varianzanteil aufgeklärt wird. Der zweite Faktor wird so bestimmt, dass dieser von der verbleibenden Varianz wiederum einen maximalen Varianzanteil aufklärt usw. (Bortz & Schuster, 2010). In dem gewählten Beispiel beträgt die aufgeklärte Varianz durch die Faktoren 1 und 2 100%, so dass die Restvarianz gleich Null ist. Die Extraktion eines weiteren Faktors ist somit unnötig. Prinzipiell gilt es zu überlegen, ob bei einer geringen Restvarianz, nach Extraktion einer bestimmten Anzahl von Faktoren, die Extraktion weiterer Faktoren sinnvoll ist. Die Faktorenzahl bei der EFA kann entweder willkürlich festgelegt werden oder man nutzt dafür statistische Kriterien.

⁵⁴ Jede Variable hat durch die z-Transformation eine Varianz von 1 ($(s=1)^2 = 1$). Somit ergibt sich für zwei Variablen eine Gesamtvarianz von 2.

Kaiser-Kriterium

Nach dem Kaiser-Kriterium werden ausschließlich Faktoren extrahiert, deren Eigenwert λ größer Eins ist. Nach Backhaus et al. (2008) beschreibt der Eigenwert den Varianzklärungsbeitrag eines Faktors im Hinblick auf die Varianz aller Variablen. Da bei einer standardisierten Variablen die Varianz gleich 1 ist, würde ein Faktor mit $\lambda < 1$, weniger Varianz erklären als eine einzelne Variable. Bortz und Schuster (2010, S. 415) merken kritisch an, „dass die Anzahl der bedeutsamen Faktoren nach dieser Regel meistens überschätzt werden.“ Ein weiteres Kriterium, anhand dessen die Faktorenanzahl bestimmt werden kann, ist der Scree-Test.

Scree-Test

Beim Scree-Test werden die Eigenwerte der einzelnen Faktoren in einem Diagramm betrachtet, beispielhaft dargestellt in Abbildung 29. Beginnend mit dem kleinsten der zehn abgebildeten Eigenwerte, ist bis zum vierten Eigenwert eine annähernde Konstanz der Größe festzustellen. Der dritte Eigenwert fällt aus dieser Kontinuität heraus, was zu einem Knick im Eigenwerteverlauf führt. Nach dem Scree-Test von Catell (1966) werden diejenigen Faktoren, deren Eigenwerte vor dem Knick liegen, als bedeutsam angesehen. In diesem Beispiel wären es somit drei Faktoren (Bortz & Schuster, 2010).

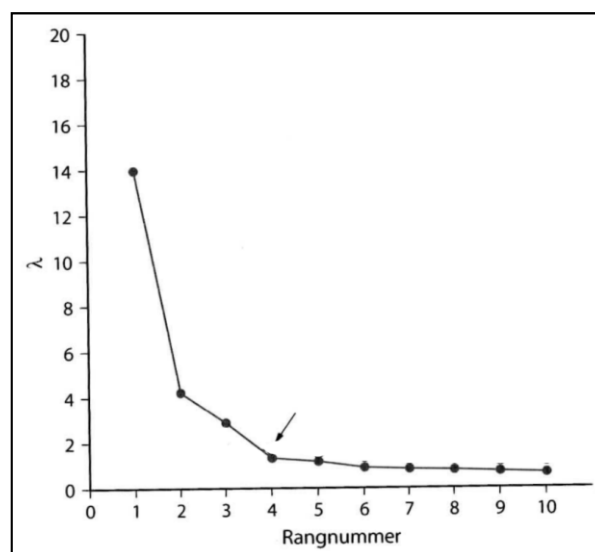


Abb. 29: Eigenwertendiagramm mit dem Scree-Test (Bortz & Schuster, 2010)

Faktorenextraktionsverfahren

Da in der Regel die Anzahl der Faktoren kleiner ist als die Anzahl der Variablen, ist fast immer die Summe der durch die Faktoren erklärten Varianz kleiner als 1. Zudem wird die Varianz einer Variablen oftmals nicht nur durch einen einzelnen Faktor zu 100% erklärt. Aus diesem Grund ist die Gesamtvarianz zu betrachten. Den Teil der Gesamtvarianz einer Variablen, der durch die gemeinsamen Faktoren erklärt wird, bezeichnet man als *Kommunalität* h^2 (Backhaus et al., 2008). Da die Bestimmung der Kommunalitäten eng mit dem Faktorenextraktionsverfahren verbunden ist, muss dieses im Vorfeld durch sachinhaltliche Überlegungen bestimmt werden.

Beim Ziel der umfassenden Reproduktion der Datenstruktur durch möglichst wenige Faktoren bietet sich die *Hauptkomponentenanalyse* an. Diese geht davon aus, dass die Varianz einer Variablen vollständig durch die Extraktion von Faktoren erklärt wird. Der durch die Faktoren nicht reproduzierbare Varianzanteil ($1 - h^2$) wird als Informationsverlust deklariert. Bei der Hauptkomponentenanalyse geht es um die Beantwortung der Frage, unter welchem „Sammelbegriff“ sich die auf einen Faktor hoch ladenden Variablen zusammenfassen lassen (Backhaus et al., 2008).

Faktoreninterpretation

Vor der Interpretation der Faktoren sollte entschieden werden, ab welcher Ladungshöhe eine Variable einem Faktor zugeordnet wird. Da die Ermittlung der Faktoren bei der EFA nach einem mathematischen Kriterium erfolgt, was lediglich die sukzessive Aufklärung maximaler Varianzen berücksichtigt, ist davon auszugehen, dass auf dem ersten Faktor viele Variablen hochladen. Entsprechend zeigen die Variablen auf den übrigen Faktoren viele mittlere bzw. niedrige Ladungen. Dies erschwert die inhaltliche Interpretation wesentlich. Um eine bessere Interpretierbarkeit zu gewähren, können die Faktoren rotiert werden (Backhaus et al., 2008; Bortz & Schuster, 2010). Zu unterscheiden sind dabei orthogonale (rechtwinklige) und oblique (schiefe) Rotationen. Bei der orthogonalen Rotation

wird keine Korrelation der Faktoren untereinander angenommen, d. h., die Faktoren bleiben unabhängig⁵⁵.

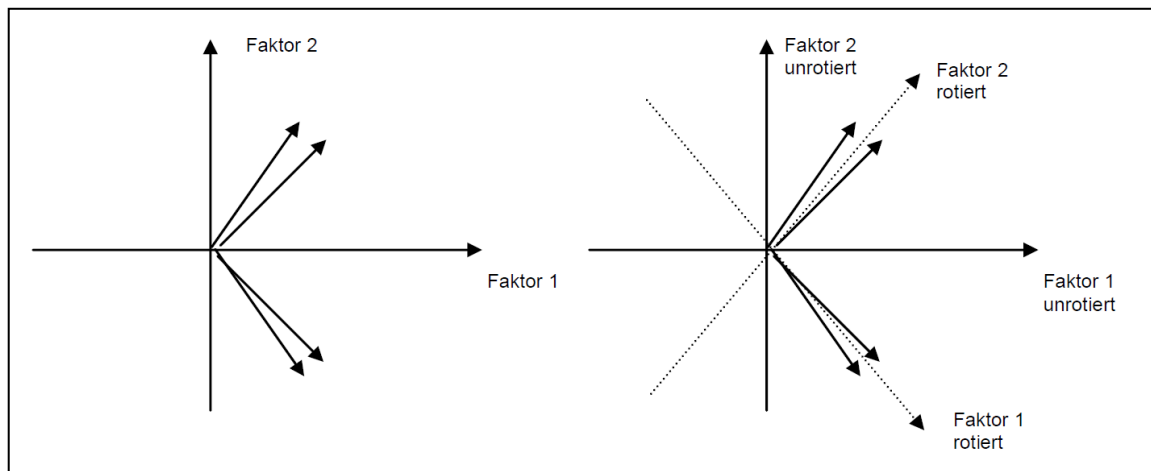


Abb. 30: Unrotierte und rotierte Faktorladungen (nach Backhaus et al., 2006)

Varimax-Kriterium

Ein Kriterium, welches eine möglichst gute Einfachstruktur für die bedeutsamen Faktoren herzustellen versucht, ist das *Varimax-Kriterium*. Das Einfachstrukturkriterium verlangt, dass pro Faktor einige Variablen möglichst hoch und andere möglichst niedrig laden. Dies ist nach Bortz und Schuster (2010, S. 419) mit der Forderung gleichzusetzen, dass die Varianz der Faktorladungen pro Faktor möglichst groß ist. Dafür werden als erstes die Faktorladungen quadriert, sodass hohe positive als auch hohe negative Ladungen mit Null-Ladungen zu einer Varianzerhöhung beitragen. Dann werden die Achsen so rotiert, dass Ladungen mittlerer Größe entweder unbedeutender oder extremer werden.

Nach Bortz und Schuster (2010) sollten die Kriterien, nach denen eine Faktorladung als bedeutsam und damit als interpretationswürdig anzusehen ist, nicht allzu rigide gehandhabt werden. Backhaus et al. (2006) sprechen von gewis-

⁵⁵ Bei der obliquen Rotation geht die Unabhängigkeit der Faktoren verloren. Dadurch wird die Interpretierbarkeit zwar im Allgemeinen erleichtert, aber die Faktoren enthalten aufgrund ihrer Interkorrelationen zum Teil redundante Informationen. Das eigentliche Ziel der EFA, eine Datenreduktion, wird dadurch wieder aufgegeben (Bortz & Schuster, 2010).

sen Regeln in der praktischen Anwendung, ab denen hohe Ladungen $> 0,5$ angenommen werden.

6.2.3 Multiple lineare Regression

Ein Anwendungsbereich der Regressionsanalyse ist die Ursachenanalyse, die klären soll, wie stark der Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf die abhängige Variable ist. Wenn die abhängige Variable (Y) nur durch eine Größe (X) bestimmt wird, so liegt eine monokausale Beziehung vor ($Y = f(X)$). In diesem Fall kommt die einfache Regressionsanalyse zum Einsatz. Wird die zu untersuchende Variable von zahlreichen Größen beeinflusst ($Y = f(x_1, x_2; \dots x_j)$), so findet die multiple Regressionsanalyse Anwendung (Backhaus et al., 2008).

6.2.3.1 Einfache lineare Regressionsanalyse

Besteht zwischen zwei Variablen X und Y eine lineare Beziehung, kann eine Gleichung (Funktion) berechnet werden, mit der es möglich ist, den y-Wert für jeden beliebigen x-Wert vorherzusagen. Für die Schätzung der abhängigen Variablen wird mittels der *Methode der kleinsten Quadrate* eine Gerade berechnet.

Regressionsfunktion und Regressionsgerade

Die Gerade wird durch zwei Parameter bestimmt, dem konstanten Glied a (Schnittpunkt mit der y-Achse) und den Regressionskoeffizienten b (Steigung bzw. Neigung). Der Regressionskoeffizient gibt an, um wie viele Einheiten sich y vermutlich ändert, wenn sich x um eine Einheit ändert. Die lineare Beziehung wird durch die Gleichung $y = a + b \cdot x$ beschrieben (Pospeschill, 2006; Backhaus et al., 2008).

Residuen und die Methode der kleinsten Quadrate

Wie in Abbildung 31 zu sehen, liegen nicht alle empirischen Werte auf der eingezeichneten Regressionsgeraden. Die Punkte streuen zum Beispiel aufgrund anderer Einflussgrößen, Beobachtungsfehler und gegebenenfalls Messfehler. Diese Abweichungen (senkrechte Entfernung der Punkte zur Geraden) werden durch die Variable e repräsentiert, deren Werte als *Residuen* bezeichnet werden $\rightarrow e = y - \hat{y}$ (Backhaus et al., 2008).

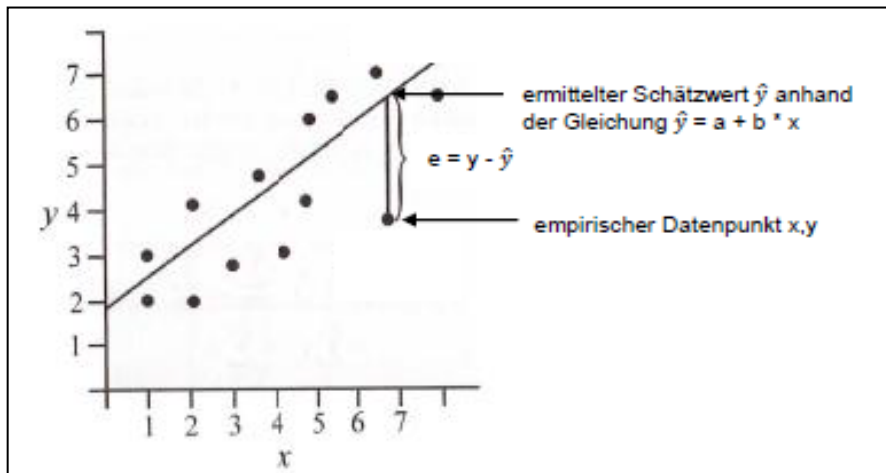


Abb. 31: Bestimmung der Residuen

Die unbekannten Parameter der Regressionsgeraden a und b werden so bestimmt, dass die Summe der quadrierten Residuen minimal ist. Es gilt: $\sum_{i=1}^n e_i^2 \rightarrow \min$.

Die bestangepasste Gerade wird gefunden mit:

$$b_{YX} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{s_X^2}, \quad (10)$$

wobei die Kovarianz $\text{cov}(X,Y)$, die gemeinsame Variabilität zwischen X und Y beschreibt und gemäß der Formel (7) berechnet wird, und

$$a_{YX} = \bar{y} - b_{YX} * \bar{x}. \quad (11)$$

6.2.3.2 Multiple lineare Regressionsanalyse

Wird die abhängige Variable von mehreren unabhängigen Variablen beeinflusst, dann hat der Regressionsansatz folgende Form: $\hat{Y} = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_j * x_j$. Die Berechnung der Regressionsparameter erfolgt, wie bei der einfachen linearen Regressionsanalyse, nach der Methode der kleinsten Quadrate. Die Größe der Regressionskoeffizienten darf allerdings nicht als Maß für die Wichtigkeit der betreffenden Variablen angesehen werden, da diese nur miteinander vergleichbar sind, wenn die Variablen in gleichen Einheiten gemessen wurden (Backhaus et al., 2008).

Beta-Werte

Zur Eliminierung unterschiedlicher Messdimensionen werden die Regressionskoeffizienten standardisiert. Dafür wird die lineare Regression bei zuvor standardisierten Variablen, siehe Formel (5), berechnet oder der standardisierte Regressionskoeffizient β_j (= Beta-Wert) direkt aus den Regressionskoeffizienten b_j für den Regressor x_j berechnet:

$$\beta_j = b_j \frac{s_{x_j}}{s_Y} \quad (12)$$

Interpretation der Steigung

Der Steigungskoeffizient in der multiplen Regression wird auch als *partieller Regressionskoeffizient* bezeichnet. Daraus ist abzuleiten, dass dieser den Effekt des Prädiktors auf das Kriterium widerspiegelt, der von anderen Prädiktoren bereinigt ist (Bortz & Schuster, 2010). Somit kann mit der multiplen Regression über die Vorhersage einer Kriteriumsvariablen aufgrund mehrerer Prädiktorvariablen hinaus der Einfluss von Drittvariablen kontrolliert werden. In Analogie zur partiellen Korrelation wird erwartet, dass sich der Steigungskoeffizient bei Aufnahme weiterer Prädiktoren verringert. Dies ist allerdings nicht immer der Fall.

Um die Ergebnisse der multiplen linearen Regression, die anhand einer Stichprobe ermittelt werden, auf die Population zu übertragen, müssen verschiedenen Annahmen erfüllt sein, dazu zählen:

- Normalität
- Linearität⁵⁶
- Homoskedastizität
- N ist größer als die Anzahl der Prädiktoren und
- keine Abhängigkeit zwischen den Prädiktoren

⁵⁶ Die in der Population vorliegende Abhängigkeit zwischen den Erwartungswerten des Kriteriums und den Prädiktorwerten ist durch eine Gerade gekennzeichnet.

Homoskedastizität

Homoskedastizität liegt vor, wenn bei einer bivariaten Verteilung zweier Variablen x und y die zu jedem beliebigen x_i -Wert gehörenden y -Werte gleich streuen (Bortz & Schuster, 2010). Zur Kontrolle, ob Homoskedastizität vorliegt, kann ein Test auf Heteroskedastizität durchgeführt werden. Eine Möglichkeit dafür ist die visuelle Inspektion der Residuen. Abbildung 32 zeigt auf der horizontalen Achse die aufgrund der Regressionsgleichung geschätzten $\hat{Y}$ -Werte. Auf der vertikalen Achse sind die standardisierten Residuen der empirischen Messwerte abgetragen. Würde Heteroskedastizität vorliegen, müssten die Residuen einen erkennbaren Zusammenhang mit den $\hat{Y}$ -Werten aufweisen. Dies ist in der Abbildung nicht der Fall, somit liegt die erforderliche Homoskedastizität vor. Generell gilt, erkennbare Muster in den Residuen sind ein Indiz für eine Verletzung der Prämisse (Backhaus et al., 2008).

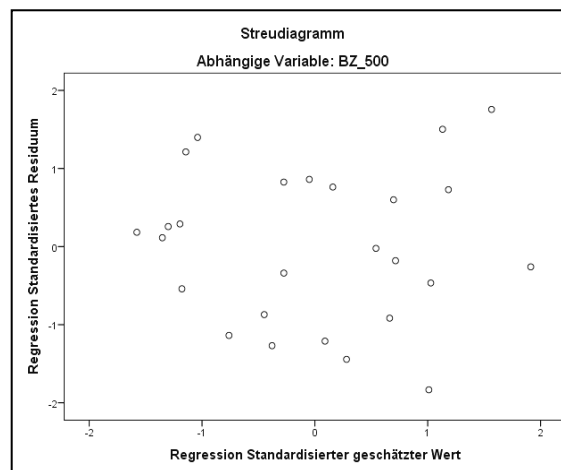


Abb. 32: Prüfung der Residuen auf Heteroskedastizität

Neben der visuellen Inspektion der Residuen zur Prüfung auf Heteroskedastizität kann eine Prüfung auf Normalverteilung der Residuen vorgenommen werden. Dabei sollten die standardisierten Residuen innerhalb eines Intervalls von ± 2 Standardabweichungen um den Nullpunkt liegen. Nach Backhaus et al. (2008) stellen Werte außerhalb dieses Intervalls Ausreißer dar.

Beispielhaft wird die Residualstatistik für den Zusammenhang zwischen dem Sprint über 55,5 m und der 500 m-Bestzeit in Tabelle 7 dargestellt. Die standardisierten Residuen liegen alle in einem Bereich von -1,83 bis 1,76 und sind somit normalverteilt. Der Zusammenhang ist damit linear.

Tab. 7: (SPSS) Residuenstatistik Sprint 55 m, abhängige Variable: Bestzeit über 500 m

	Min	Max	Mittelwert	s
Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	42,06	55,94	48,33	3,98
Nicht standardisierte Residuen	-3,62	3,47	,00	1,93
Standardisierter vorhergesagter Wert	-1,58	1,91	,00	1,00
Standardisierte Residuen	-1,83	1,76	,00	,98

Multikollinearität

Bestehen Abhängigkeiten zwischen den Prädiktorvariablen, ergeben sich „Instabilitäten“ der Regressionskoeffizienten, die als Multikollinearität bezeichnet werden. Multikollinearität liegt vor, wenn die Anzahl der Prädiktoren größer ist, als der Stichprobenumfang N . Ein weiterer Aspekt, der zur Vermeidung von Multikollinearität berücksichtigt werden muss, ist, dass keine linearen Abhängigkeiten zwischen den Prädiktoren bestehen. In dem Fall, dass die Regressoren untereinander exakt linear abhängig sind ($r = 1$), wäre rechnerisch eine Regressionsanalyse nicht durchführbar (Bortz & Schuster, 2010).

Zur Aufdeckung von Multikollinearität kann u. a. die Korrelationsmatrix verwendet werden. Hohe Korrelationskoeffizienten ($|r|$ nahe 1) deuten auf ernsthafte Multikollinearität hin. Da Korrelationskoeffizienten nur paarweise Abhängigkeiten messen, kann Multikollinearität aber trotz niedriger Korrelationskoeffizienten vorliegen. Deshalb wird in der Literatur empfohlen, für jede unabhängige Variable eine multiple Regression mit den übrigen unabhängigen Variablen durchzuführen. Dadurch kann der multiple Korrelationskoeffizient bzw. das Bestimmtheitsmaß R_j^2 berechnet werden. Ein Wert von $R_j^2 = 1$ besagt, dass die Variable x_j überflüssig ist, da sie keine neuen Informationen liefert (Backhaus et al., 2008). Wird das Bestimmtheitsmaß R_j^2 von 1 subtrahiert erhält man die sog. *Toleranz*. Der Kehrwert der Toleranz ist der sog. *Variance Inflation Factor (VIF)*⁵⁷. Er ist umso größer, je größer die multiple Korrelation eines Regressors in Bezug auf die übrigen Regressoren ist.

⁵⁷ Toleranz und VIF werden zusammen als „Kollinearitätskennwerte“ bezeichnet.

$$VIF = \frac{1}{(1-R_j)^2} \quad (13)$$

In der Literatur wird ein VIF-Wert ≥ 10 als Cutoff-Kriterium angenommen (Diamantopoulos & Winkelhofer, 2001; Herrmann et al., 2007). Andere Autoren (Diamantopoulos & Riefler, 2008) schlagen vor Indikatoren mit einem $R_j^2 > 0,8$ bzw. $VIF_j > 5$ zu eliminieren. Weiber und Mühlhaus (2010) sehen diese Cutoff-Werte als zu hoch an und empfehlen, schon ab VIF-Werten > 3 eine genaue inhaltliche Examination der Indikatoren vorzunehmen.

Konsequenzen geringer Prädiktortoleranzen bestehen in der Vergrößerung der Standardfehler der Regressionskoeffizienten (Wilcox et al., 2008). Mit anderen Worten, die Variabilität der Schätzung der Steigung wird groß und somit „instabil“. Dies kann dazu führen, dass das Bestimmtheitsmaß R^2 signifikant ist, obgleich keiner der Koeffizienten in der Funktion signifikant ist (Backhaus et al., 2008).

Prüfung der Regressionsfunktion und der Regressionskoeffizienten

Zur Überprüfung, ob die Regressionsfunktion für die Anwendung in der Realität geeignet ist, gibt es verschiedene Gütemaße. Bei der globalen Prüfung der Regressionsfunktion geht es darum, wie gut die abhängige Variable Y durch das Regressionsmodell erklärt wird. Bei der Prüfung der Regressionskoeffizienten geht es um die Frage, wie gut einzelne Variablen zur Erklärung von Y beitragen.

Zur Prüfung der Regressionsfunktion werden die globalen Gütemaße

- Bestimmtheitsmaß R^2 ,
- F-Statistik und
- Standardfehler der Schätzung herangezogen.

Bestimmtheitsmaß R^2

Das Bestimmtheitsmaß misst die Güte der Anpassung der Regressionsfunktion an die empirischen Daten („goodness of fit“). Es ergibt sich aus dem Verhältnis von erklärter Streuung zur Gesamtstreuung: $R^2 = \frac{\text{erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}}$. Je höher der Anteil der erklärten Streuung ist, desto größer R^2 .

Da die nicht erklärte Streuung leicht aus den Residuen e zu berechnen ist, kann nach Backhaus et al. (2008) und Pospeschill (2006) R^2 durch Subtraktion des Verhältnisses der nicht erklärten Streuung zur Gesamtstreuung vom Maximalwert 1 berechnet werden:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{nicht erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (14)$$

Die Zahl der Regressoren J bestimmt die Höhe des Bestimmtheitsmaßes R^2 . Bei einer gegebenen Stichprobengröße erhöht sich der Erklärungsanteil mit jedem hinzukommenden Regressor mehr oder weniger, möglicherweise nur zufällig bedingt. Bei einer kleinen Zahl von Freiheitsgraden ($N - J - 1$) verschlechtern sich mit der Zahl der Regressoren die Schätzeigenschaften des Modells. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen kann das korrigierte Bestimmtheitsmaß R^2_{korrr} berechnet werden. Dieses vermindert das einfache Bestimmtheitsmaß um eine Korrekturgröße, die umso größer ist, je größer die Zahl der Regressoren und je kleiner die Zahl der Freiheitsgrade ist (vgl. Backhaus et al. 2008, S. 71).

$$R^2_{\text{korrr}} = R^2 - \frac{J(1 - R^2)}{N - J - 1} \quad (15)$$

F-Statistik

Die F-Statistik wird zur Signifikanzprüfung eingesetzt um zu klären, ob das Modell über die Stichprobe hinaus, also für die Grundgesamtheit, Gültigkeit besitzt. Die Nullhypothese besagt $H_0: \beta = 0$, also X und Y sind unabhängig voneinander. Zur Prüfung der Nullhypothese wird der empirische F-Wert wie folgt berechnet:

$$F_{\text{emp}} = \frac{R^2}{1 - R^2} * \frac{N - J - 1}{J} \quad (16)$$

Da die Testgröße F-verteilt ist (siehe Abbildung 33), wird der kritische Wert zur Prüfung der Nullhypothese der F-Tabelle (F_{tab}) entnommen. Ist $F_{\text{emp}} > F_{\text{tab}}$ wird die Nullhypothese verworfen. In dem Fall besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen X und Y .

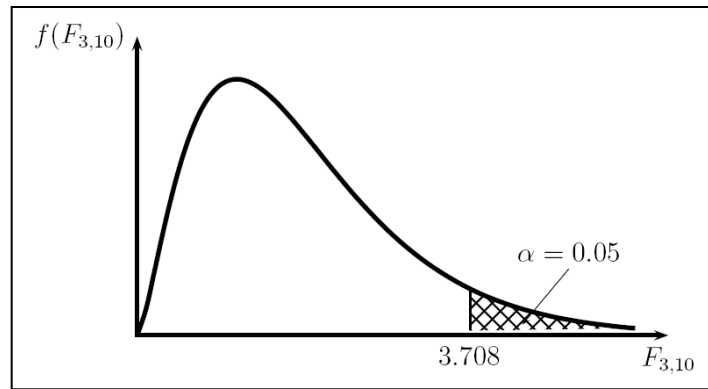


Abb. 33: F-Verteilung (nach Pospeschill, 2006)

Standardfehler der Schätzung

Der Standardfehler s gibt an, welcher mittlere Fehler gemacht wird, wenn die Regressionsfunktion zur Schätzung der abhängigen Variablen verwendet wird. Dabei gilt, je kleiner der Standardfehler, umso genauer die Vorhersage.

$$s = \sqrt{\frac{\sum e_n^2}{N-J-1}} \quad (17)$$

Die Überprüfung der Regressionskoeffizienten erfolgt mittels t- Wert. Wie bei der Prüfung der Regressionsfunktion lautet auch hier die Nullhypothese $H_0: \beta_j = 0$. Der t-Wert berechnet sich durch Division des Regressionskoeffizienten b_j durch dessen Standardfehler $t_{\text{emp}} = \frac{b_j}{s_{b_j}}$. Ist $|t_{\text{emp}}| > t_{\text{tab}}$ ist die Nullhypothese zu verwerfen. Der Einfluss von X_j auf Y ist damit signifikant.

Graphische Darstellung der linearen Regression und Statistik Software

Das korrigierte Bestimmtheitsmaß in Tabelle 8 ($R_{\text{kor}}^2 = 0,801$) besagt, dass 80,1% der Varianz bezüglich der Laufzeit über 500 m durch die Variable Laufzeit über 55,5 m erklärt werden. Somit bleiben 19,9% der Varianz unerklärt. Der Standard-schätzfehler (1,97) beschreibt eine geringe Streuung der Stichprobendaten um die Regressionsgeraden. Aus der F-Statistik ist ablesbar, dass die Regressionsbeziehung hoch signifikant ist.

Tab. 8: (SPSS) Regressionsanalyse der Bestzeit über 500 m auf die Laufzeit [s] über 55,5 m

Modellzusammenfassung									
	R	R ²	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Änderungsstatistiken				
					Änderung in R-Quadrat	Änderung in F	df1	df2	Sig. Änderung in F
1	,899 ^a	,809	,801	1,97394	,809	101,493	1	24	,000

		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	-3,460	5,156		-,671	,509
	Sprint halbe Runde	6,907	,686	,899	10,074	,000

Der Regressionskoeffizient B (6,907) beschreibt die Steigung der Geraden, während B der Konstanten (-3,460) den Schnittpunkt mit der y-Achse angibt (vgl. Abbildung 34).

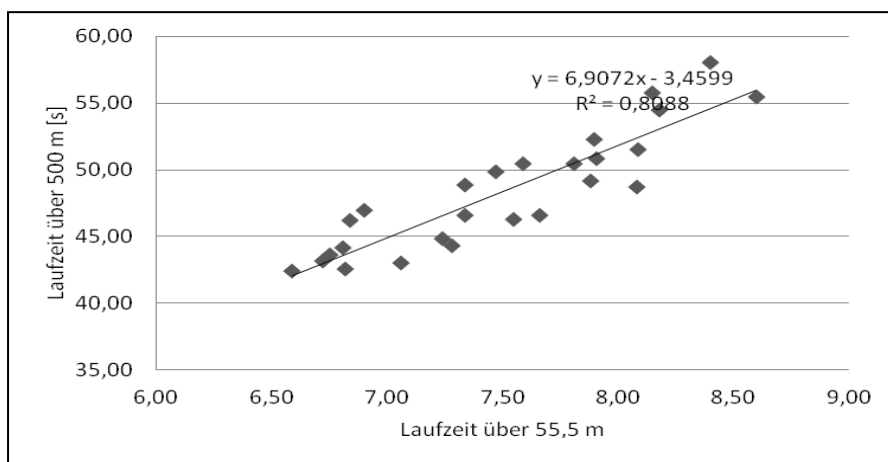


Abb. 34: Lineare Regression mit Regressionsfunktion und Bestimmtheitsmaß

Der nach der z-Transformation ermittelte standardisierte β -Koeffizient (0,899) bestätigt den hohen Grad der Regressionsbeziehung. Der t-Wert des Regressionskoeffizienten prüft, ob der Regressionskoeffizient in der Grundgesamtheit von Null verschieden ist. In diesem Fall ist der t-Wert hoch signifikant von Null verschieden, folglich wird die Nullhypothese verworfen. Es besteht ein hoch signifikanter Einfluss der Laufzeit über 55,5 m auf die 500 m-Bestzeit.

6.2.4 Methoden der Strukturgleichungsanalyse (SGA)

Die Verfahren der SGA gehören zur Gruppe der strukturprüfenden multivariaten Analysemethoden. Sie dienen der Beurteilung von a priori theoretisch oder sachlogisch formulierten Hypothesensystemen. Mittels Einsatz verschiedener statisti-

scher Verfahren zur Untersuchung komplexer Beziehungsstrukturen zwischen manifesten und/oder latenten Variablen⁵⁸ erfolgt die quantitative Abschätzung der Wirkzusammenhänge. Ziel ist es, die formulierten Wirkungszusammenhänge in einem linearen Gleichungssystem abzubilden. Die Modellparameter werden so geschätzt, dass sie die zu den Variablen erhobenen Ausgangsdaten möglichst gut reproduzieren (Weiber & Mülhau, 2010).

„Komplexe Beziehungsstrukturen“ heißt, es werden mehrere Kausalhypothesen gleichzeitig betrachtet. Einzelne Variablen können dabei in verschiedenen Hypothesen sowohl abhängige wie auch unabhängige Variablen⁵⁹ darstellen, sog. intervenierende Variablen. Ebenso sind bilaterale Beziehungen (Wechselwirkungen) zwischen den Variablen möglich. Strukturgleichungsanalysen sind somit immer Mehrgleichungssysteme.

Besteht das Strukturmodell nur aus manifesten und auf metrischem Skalenniveau messbaren Variablen und sind keine Wechselbeziehungen zwischen den Variablen gegeben, kommt die Regressionsanalyse zum Einsatz (siehe Kapitel 6.2.3). Bestehen Wechselwirkungen zwischen den manifesten Variablen, kommt die *Pfadanalyse* (multiple Regressionsanalysen) zur Anwendung. Allerdings können nur Modelle überprüft werden, bei denen die Kausalpfeile alle in eine Richtung zeigen, also keine Rückkopplungen auftreten. Für Strukturmodelle mit latenten Variablen, müssen erst geeignete Messmodelle gefunden werden, mit deren Hilfe empirische Messwerte für die latenten Variablen gewonnen werden können. Für Strukturmodelle mit latenten Variablen wird in der Literatur die Bezeichnung Kausalanalyse verwendet (Weiber & Mülhau, 2010).

⁵⁸ Manifeste Variablen sind auf empirischer Ebene direkt beobachtbar und können mit geeigneten Instrumenten direkt erfasst werden (z. B. Maximalkraft an der Beinpresse). Latente Variablen sind hypothetische Konstrukte (z. B. Leistungsfähigkeit) und entziehen sich der direkten Beobachtbarkeit auf der empirischen Ebene. Folglich sind geeignete Messmodelle notwendig.

⁵⁹ Variablen, die in einem Strukturmodell eine abhängige Variable darstellen, werden als endogene Variablen bezeichnet. Variablen die ausschließlich als unabhängige Variable auftreten, stellen exogene Variablen dar.

Die Pfadanalyse

Die Pfadanalyse eignet sich, um Wechselbeziehungen zwischen den Variablen zu analysieren. „Wechselbeziehungen“ bedeutet, dass einzelne Variablen gleichzeitig abhängige und unabhängige Variable sein können. Für jede endogene Variable wird genau eine Regressionsgleichung, die sog. Strukturgleichung formuliert. Als Dateninput dient die Korrelationsmatrix (= Varianz-Kovarianz-Matrix (S), da die Pfadanalyse eine Standardisierung der Ausgangsdaten vornimmt).

Die a priori aufgestellten Kausalhypothesen lassen sich in einem Pfaddiagramm grafisch darstellen. Dabei geht von jeder Prädiktorvariablen (X) ein Pfeil zu der von ihr beeinflussten Kriteriumsvariablen (Y). Bezogen auf Abbildung 35 stellen X_1 und X_2 exogene Variablen dar und Y_1 und Y_2 endogene Variablen. X_1 und X_2 beeinflussen Y_2 direkt und zusätzlich über Y_1 indirekt.

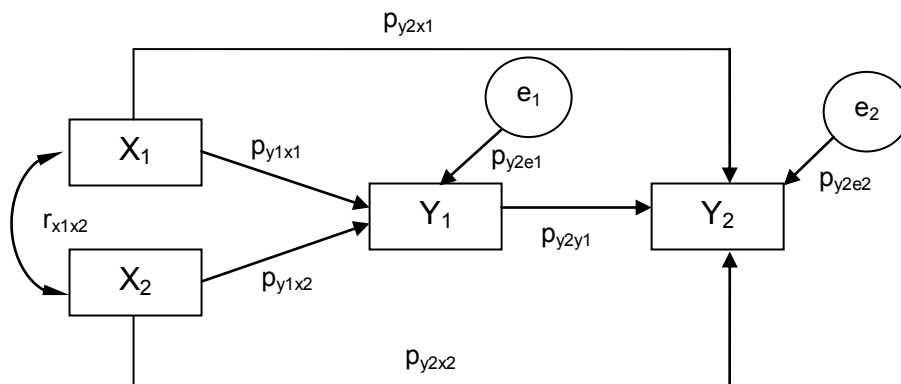


Abb. 35: Pfaddiagramm

Die Einflussstärke wird durch die Pfadkoeffizienten p_{ij} beschrieben (i = Bezeichnung der Kriteriumsvariablen, j = Bezeichnung der Prädiktorvariablen). Die Pfadkoeffizienten sind standardisierte partielle Regressionskoeffizienten, also Beta-Werte (Berechnung gemäß Formel (12)) (Weiber & Mühlhaus, 2010).

Die Residualvariablen e_1 und e_2 erfassen mögliche Drittvariableneffekte (= modellexterne unabhängige Variable) (Weiber & Mühlhaus, 2010). Somit repräsentieren die Residualvariablen den Anteil der nicht erklärten Varianz ($e = 1 - R^2$). Das Kausalmodell kann somit als formal geschlossen angesehen werden (= vollständig determiniert).

Bestehen Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen, spricht man von Multikollinearität. Diese führt bei Regressionsanalysen, die eine isolierte Wirkung der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable unterstellen, zu Verzerrungen der Regressionsgewichte (siehe Kapitel 6.2.3.2). Im Rahmen der Regressionsgleichung wird die Korrelation zwischen unabhängiger und abhängiger Variable kausal interpretiert, was bei Vorliegen von Multikollinearität zu fehlerhaften Interpretationen führt (Weiber & Mülhau, 2010). Durch die Pfadanalyse wird das Problem der kausalen (unkorrekten) Interpretation bei Vorliegen von Multikollinearität und Scheinkorrelationen gelöst. Dabei wird das Fundamentaltheorem wie folgt interpretiert:

Die Korrelation zwischen X und Y setzt sich additiv aus einem *direkten kausalen Effekt*, einem *indirekten kausalen Effekt* und einem *nicht-kausal = korrelativen Effekt* zusammen. Die Summe des direkten und indirekten kausalen Effekts ergibt den totalen kausalen Effekt. Dieser lässt sich direkt über die Pfadkoeffizienten errechnen. Die Berechnung des nicht-kausal bzw. korrelativen Effekts erfolgt durch die Gewichtung der Pfadkoeffizienten mit den Korrelationen.

In Abbildung 36 wird die Zerlegung des Gesamtzusammenhangs noch einmal grafisch dargestellt.

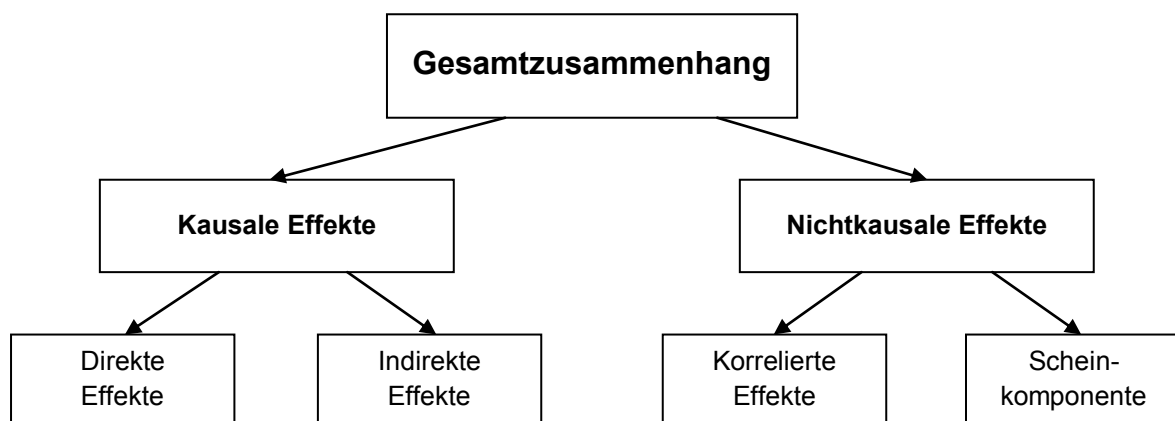


Abb. 36: Zerlegung des Gesamtzusammenhangs r (nach Weiber & Mülhau, 2010, S. 26)

Beispiel für eine Pfadanalyse

Betrachtet wird $r_{x_1y_2}$ bezogen auf Abbildungen 35 und 37.

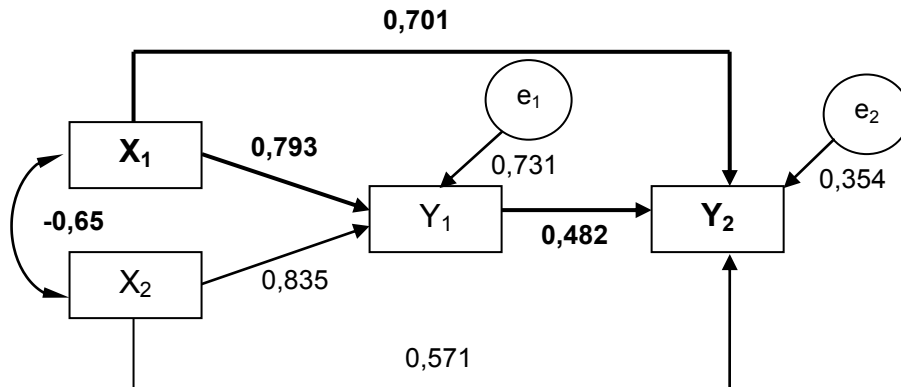


Abb. 37: Pfaddiagramm mit Pfadkoeffizienten

direkter kausaler Effekt: $X_1 \rightarrow Y_2$ ($p_{y_2x_1}$) = 0,701

indirekter kausaler Effekt: $X_1 \rightarrow Y_1 \rightarrow Y_2$ $X_1 \rightarrow Y_1$ ($p_{y_1x_1}$) = 0,793 und $Y_1 \rightarrow Y_2$ ($p_{y_2y_1}$) = 0,482

daraus ergibt sich ein totaler kausaler Effekt von: $0,701 + (0,793 \cdot 0,482) = 1,083$

Die Korrelation in Höhe von -0,65 zwischen X_1 und X_2 (Tabelle 9) bedingt nicht-kausale (korrelative) Wirkungen zwischen X_1 und Y_2 , die über die Pfadkoeffizienten transportiert werden. So zum einen über $X_2 \rightarrow Y_2 = 0,571 \cdot -0,65 = -0,371$ und zum anderen $X_2 \rightarrow Y_1 \rightarrow Y_2 = 0,835 \cdot 0,482 \cdot -0,65 = -0,262$. Daraus ergibt sich ein gesamter nicht-kausaler Effekt von: $-0,371 + (-0,262) = -0,633$.

Die Summe der kausalen und nicht-kausalen Effekte ($1,083 + (-0,633)$) ergibt im Ergebnis 0,45. Dieser Wert entspricht dem Korrelationswert ($r_{x_1y_2}$) der Ausgangsdaten-Korrelationsmatrix (Tabelle 9).

Tab. 9: Korrelationsmatrix für Beispiel Pfadanalyse

	Y ₁	Y ₂	X ₁	X ₂
Y ₁	1			
Y ₂	0,84	1		
X ₁	0,25	0,45	1	
X ₂	0,32	0,27	-0,65	1

Im aufgezeigten Beispiel liegt somit eine ausreichend hohe Anpassungsgüte vor, was als Evidenz für die Gültigkeit des Modells betrachtet werden kann. Nach

Wright (1934) gilt eine Modellstruktur als widerlegt, wenn die Differenz zwischen den beobachteten und den reproduzierten Korrelationen (Summe aus direktem und indirektem kausalem Effekt) größer als $|0,10|$ ausfällt. Zu beachten ist aber, dass trotz der guten Modellanpassung das Modell nicht als bewiesen gilt (Bortz & Schuster, 2010). Nach Bortz und Schuster (2010) ist die Pfadanalyse nicht zum Nachweis von Kausalität geeignet. Genutzt wird die Pfadanalyse lediglich, um begründete Kausalmodelle anhand empirischer Daten zu überprüfen. Dadurch wird die Falsifizierung des Modells ermöglicht. Wird ein Modell verworfen, sollten alternative Modelle betrachtet werden, die Modifikationen des ursprünglichen Modells darstellen. Wird für ein alternatives Modell eine ausreichende Modellanpassung erzielt, gilt dieses Modell aber noch nicht als bestätigt. Hierfür ist ein neuer unabhängiger Datensatz erforderlich, mit dem das Modell überprüft werden muss. Das Modell gilt dann als verifiziert, wenn die neuerliche Überprüfung das Modell ebenfalls bestätigt (MacCallum et al., 1992; Bortz & Schuster, 2010).

Maximum-Likelihood-Methode

Die Zielfunktion der Kovarianzstrukturanalyse lautet $F = (S - \Sigma) \rightarrow \min$ (S = empirische Kovarianzmatrix, Σ = modelltheoretische Kovarianzmatrix). Da die Funktion F die Differenz (Diskrepanz) zwischen S und Σ betrachtet, wird sie als Diskrepanzfunktion bezeichnet. Zur Minimierung von F stehen verschiedene Schätzalgorithmen zur Verfügung. Bei vorliegender Multinormalverteilung der Messindikatoren liefert die Maximum-Likelihood-Methode (ML-Methode) die präzisesten Schätzer (Weiber & Mülhau, 2010, S. 55).

Für das ML-Schätzverfahren lautet die zu minimierende Diskrepanzfunktion:

$$FML = \log|\Sigma| + \text{tr}(S\Sigma^{-1}) - \log|S| - (p+q) \quad (18)$$

wobei p = Anzahl der manifesten Variablen, q = Anzahl der zu schätzenden Parameter und tr = Summe der Diagonalelemente (Trace) einer quadratischen Matrix ist.

Beurteilung des Gesamtmodells (Modell-Fit)

Bei der Beurteilung des Gesamtmodells geht es um die Beantwortung der Frage, ob die erhobenen Daten das Modell bestätigen oder nicht. Ob das betrachtete Kausalmodell akzeptiert oder abgelehnt wird, entscheidet sich anhand unterschiedlicher Gütekriterien.

Chi-Quadrat

Das wichtigste inferenzstatistische Gütekriterium bildet der *Chi-Quadrat-Test* (Weiber & Mülhau, 2010). Bei diesem Test wird die Nullhypothese $H_0: S = \Sigma$ gegen die Alternativhypothese $H_1: S \neq \Sigma$ geprüft. Die Prüfgröße Chi-Quadrat (X^2) berechnet sich aus der in der Analyse verwendeten Diskrepanzfunktion F_j gemäß Formel (19).

$$X^2 = (N - 1) F_j \quad (19)$$

Für den X^2 -Wert gilt: je geringer die Differenz zwischen S und Σ , desto kleiner X^2 . Das Statistikprogramm AMOS weist zum errechneten X^2 -Wert die Wahrscheinlichkeit p aus, dass die Ablehnung der Nullhypothese eine Fehlentscheidung darstellt (vgl. Weiber & Mülhau, 2010).

Da der Chi-Quadrat-Test sehr stark auf Vergrößerung der Stichprobe reagiert und an bestimmte Voraussetzungen⁶⁰ geknüpft ist, die häufig bei praktischen Anwendungen nicht erfüllt sind, raten einige Autoren von der Verwendung der Chi-Quadrat-Teststatistik ab (Bentler & Bonnet, 1980; Browne & Mels, 1992). Ein Maß, auf welches häufig zurückgegriffen wird, ist der *Root-Mean-Square of Approximation* (RMSEA).

⁶⁰ Die Berechnung des Chi-Quadrat-Wertes setzt folgendes voraus: alle beobachteten Variablen sind multinormalverteilt, die durchgeführte Schätzung erfolgt auf Basis der Varianz-Kovarianz-Matrix (nicht der Korrelationsmatrix), es liegt ein ausreichend großer Stichprobenumfang vor (5mal so groß wie die Zahl der zu schätzenden Parameter) und die Hypothese $S = \Sigma$ stimmt exakt.

RMSEA

Der RMSEA prüft, ob ein Modell die Realität gut approximieren kann. Er errechnet sich als Wurzel aus dem um die Modellkomplexität bereinigten, geschätzten Minimum der Diskrepanzfunktion in der Grundgesamtheit. Die Modellkomplexität wird dabei durch die Freiheitsgrade (df) des Modells erfasst.

$$RMSEA = \sqrt{\max \left[\frac{\chi^2 - df}{df (N - g)}; 0 \right]} \quad (20)$$

g = Anzahl betrachteter Gruppen (im Normalfall gilt: g = 1)

Die RMSEA-Werte werden wie folgt interpretiert (Weiber & Mülhauß, 2010):

RMSEA ≤ 0.05: guter (close) Modell-Fit

RMSEA ≤ 0.08: akzeptabler (reasonable) Modell-Fit

RMSEA ≥ 0.10: inakzeptabler Modell-Fit

CMIN/DF

Aufgrund dessen, dass bei praktischen Anwendungen häufig die Voraussetzungen der Chi-Quadrat-Teststatistik nicht erfüllt sind, wird empfohlen, den Chi-Quadrat-Wert nur als deskriptives Gütekriterium zu interpretieren und mit den Freiheitsgraden (df) ins Verhältnis zu setzen (Weiber & Mülhauß, 2010).

$$CMIN/DF = \chi^2 / df \quad (21)$$

Insgesamt gilt, je kleiner der Wert, desto besser der Modell-Fit. Nach Homburg und Baumgartner (1995) sollte das Verhältnis zwischen χ^2 und df kleiner oder gleich 2,5 sind. Andere Autoren halten schon Werte von $CMIN/DF < 3$ für akzeptabel (Hu & Bentler, 1999; Schermelleh-Engel & Moosbrugger, 2002).

Als weiteres Prüfkriterium bezüglich der Gültigkeit eines Kausalmodells kann der *Hoelter-Test* herangezogen werden.

Test von Hoelter

Beim Test von Hoelter wird der kritische Stichprobenumfang (N_{kSP}) angegeben, bei dem das betrachtete Modell anhand des Chi-Quadrat-Tests mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,01$ bzw. $\alpha = 0,05$ gerade noch akzeptiert werden würde. Ist die Stichprobe größer als der ausgegebene N_{kSP} muss die Nullhypothese des Chi-Quadrat-Testes abgelehnt werden.

7. Datenverarbeitung und -analyse

In diesem Kapitel werden die Hypothesen der Arbeit (siehe Kapitel 4.2) bezüglich der Leistungsstruktur beim Short Track einer Prüfung unterworfen. Die dabei zum Einsatz kommenden statistischen Verfahren werden in einzelnen in sich geschlossenen Abschnitten nacheinander abgearbeitet. Am Anfang werden die Vorgehensweise beschrieben⁶¹, Signifikanzniveaus und Ausschlusskriterien benannt. Im darauf folgenden Abschnitt erfolgt die Ergebnisdarstellung unter Verwendung der Ausdrücke aus den Statistikprogrammen. Am Ende eines jeden Abschnitts erfolgt eine Zusammenfassung bezüglich der Ergebnisse, welche das jeweilige Verfahren hervorgebracht hat. Um eine gute Lesbarkeit zu gewährleisten, werden umfangreiche Statistiken tabellarisch bzw. in Schriftform im Text zusammengefasst und in ausführlicher Version dem Anhang hinzugefügt.

⁶¹ Die Prämissen, Ziele und elementaren Grundzüge der einzelnen Methoden sind in Kapitel 6 nachzulesen.

Vorbemerkungen

Um die Analysen an einer möglichst vollständigen Datenmatrix vorzunehmen, wurden die Laufzeiten der D-Junioren über 800 m entfernt. Da die D-Junioren ($n = 8$) fast ein Drittel der Stichprobe ausmachen und die 1500m noch nicht absolvieren, blieb dieses Merkmal ebenfalls unberücksichtigt. Somit stellen die Bestzeiten über 500 m und 1000 m die Zielgrößen dar. In Tabelle 10 sind alle Merkmale, die bei der Datenanalyse berücksichtigt wurden, aufgelistet. Die rechte Spalte enthält den jeweiligen Variablennamen, der in den Statistikprogrammen verwendet wurde.

Tab. 10: Übersicht über die in die Datenverarbeitung und -analyse aufgenommenen Merkmale

Merkmal	Variablenname
Bestzeit 500 m [s]	BZ_500
Bestzeit 1000 m [s]	BZ_1000
Sprint über 5 m [s]	Sprint_5m
Sprint über 30 m [s]	Sprint_30m
Sprint halbe Runde (55,5 m) [s]	Sprint_55m
Rel. maximale Sauerstoffaufnahme [$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$]	O ₂ _max
Rel. Leistung an der IAAS nach Dickhuth [$\text{Watt} \cdot \text{kg}^{-1}$]	Leistung_IAAS
Rel. 45 s-Leistung beim PLT [$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$]	PLT_45s
Standstabilisation vor Belastung gesamt [cm^2]	GKS pre
Standstabilisation nach Belastung gesamt [cm^2]	GKS post
Summe aller Rumpfkrafttests [s]	RKT
Rel. isometrische Maximalkraft beidbeinig [$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$]	iMVC_bb
Rel. isometrische Maximalkraft rechts [$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$]	iMVC_re
Rel. isometrische Maximalkraft links [$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$]	iMVC_li
Rel. dynamische Maximalkraft = peak power beim PLT [$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$]	Peak Power
Rel. Explosivkraft beidbeinig [$\text{N} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]	MRFD_bb
Rel. Explosivkraft rechts [$\text{N} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]	MRFD_re
Rel. Explosivkraft links [$\text{N} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]	MRFD_li
Body Mass Index	BMI
Alter [Jahre]	Alter

7.1 Deskriptive Statistik

7.1.1 Vorgehensweise

Im ersten Schritt wurden die Daten auf Extremwerte und Ausreißer überprüft. Die Überprüfung erfolgte visuell mit Hilfe von Box-Whisker-Plots. Entdeckte Extremwerte und Ausreißer wurden aus den Datensätzen eliminiert. Im zweiten Schritt wurden die Mittelwerte $\bar{x}$ und Standardabweichung s der einzelnen Merkmale ermittelt und tabellarisch zusammengefasst. Zudem wurden die Daten auf Normalverteilung getestet. Hierfür wurden die Schiefe- und Wölbungskoeffizienten berechnet. Als Cutoff-Kriterium wurden die von West et al. (1995) angegebenen Grenzwerte von $|>2|$ für Schiefe- und $|>7|$ für den Wölbungskoeffizienten herangezogen.

7.1.2 Ergebnisse und Auswertung

Tab. 11: Deskriptive Statistik (SPSS)

Deskriptive Statistik							
	N	Min	Max	$\bar{x}$	s	Schiefe	Kurtosis
BZ_500 [s]	26	42,42	58,03	48,33	4,42	,528	-,554
BZ_1000 [s]	26	87,9	119,7	100,97	9,93	,460	-,733
Sprint_5m [s]	24	1,02	1,43	1,17	,11	,792	,011
Sprint_30m [s]	24	4,06	5,52	4,64	,36	,595	,007
Sprint_55m [s]	26	6,59	8,60	7,50	,58	,089	-1,078
O ₂ _max [ml*kg ⁻¹ *min ⁻¹]	26	44,3	71,1	58,71	7,51	-,068	-,694
Leistung_IAAS [Watt*kg ⁻¹]	21	2,10	3,40	2,75	,31	-,013	,264
PLT_45s [N*kg ⁻¹]	25	3,60	6,39	5,04	,72	-,291	-,695
GKS pre [cm ²]	25	29,69	102,25	61,33	17,21	,346	,138
GKS post [cm ²]	25	36,51	123,29	78,76	25,94	,074	-1,193
RKT [s]	26	210,0	696,0	438,0	118,8	,398	,027
Peak Power [N*kg ⁻¹]	25	5,05	9,02	6,87	1,04	,422	-,228
iMVC_bb [N*kg ⁻¹]	25	20,7	64,3	44,31	10,94	-,257	-,171
iMVC_re [N*kg ⁻¹]	26	11,6	37,1	24,20	6,90	-,023	-,585
iMVC_li [N*kg ⁻¹]	26	14,2	39,2	25,09	6,88	,138	-,624
MRFD_bb [N*s ⁻¹ *kg ⁻¹]	23	138,1	547,2	303,37	107,08	,805	,584
MRFD_re [N*s ⁻¹ *kg ⁻¹]	22	95,8	303,4	172,15	48,72	,778	1,099
MRFD_li [N*s ⁻¹ *kg ⁻¹]	26	54,4	354,5	189,20	78,59	,665	-,067
BMI	26	14,7	26,6	21,12	2,85	-,408	-,077
Alter [Jahre]	26	12	28	17,50	3,98	,574	,198

Ausreißer und Extremwerte zeigten sich bei acht Merkmalen. Insgesamt wurden 13 Extremwerte bzw. Ausreißer aus den Datensätzen entfernt.⁶² Bei allen Daten liegt nach Eliminierung der Ausreißer und Extremwerte Normalverteilung vor. In Tabelle 11 wurde die deskriptive Statistik zusammenfassend dargestellt.

7.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Acht der insgesamt 20 Variablen enthielten insgesamt 13 Ausreißer bzw. Extremwerte, die eliminiert wurden. Der anschließende Test auf Normalverteilung zeigte, dass alle Daten normalverteilt vorliegen.

7.2 Pearson-Korrelation und partielle Korrelation

7.2.1 Vorgehensweise

Für die Überprüfung, ob Zusammenhänge auch in der Grundgesamtheit existieren, wurde bei der Signifikanzprüfung die Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$ bzw. 0,05 gewählt. Da alle Hypothesen gerichtet sind, kam der einseitige t-Test zur Anwendung. Zur Behandlung fehlender Werte wurde die *Methode des paarweisen Fallausschlusses* gewählt.

Da der Korrelationskoeffizient nach Pearson ein Maß für den linearen Zusammenhang ist, wurde überprüft, ob es sich tatsächlich um lineare Zusammenhänge handelt. Zur Linearitätsprüfung wurden die Zusammenhänge visuell in Streudiagrammen betrachtet.

Nach Weiber und Mühlhaus (2010), kann eine signifikante Korrelation, auch wenn sie theoretisch bzw. sachlogisch zu erklären ist, nur kausal begründet werden, wenn der statistische Zusammenhang bei Kontrolle möglicher Drittvariableneffekte bestehen bleibt. Um den Zusammenhang zwischen zwei Variablen unter Aus-

⁶² Alle Box-Whisker Plots befinden sich im Anhang, Abschnitt A

schaltung des Einflusses einer Drittvariablen zu berechnen, kam die partielle Korrelation zum Einsatz.⁶³

7.2.2 Ergebnisse und Auswertung

Tabelle 12 zeigt einen Auszug aus der Korrelationsmatrix bezogen auf die Zusammenhänge zwischen den Bestzeiten und den übrigen Variablen.⁶⁴ Signifikante Zusammenhänge wurden in Tabelle 12 grau hinterlegt.

Tab. 12: Korrelationsmatrix (SPSS): 500- und 1000 m-Bestzeiten

	BZ_1000	Sprint_5m	Sprint_30m	Sprint_55m	Peak Power	PLT_45s	GKS_pre	GKS_post	RKT
BZ_500	,982** ,000	,434 ,017	,767** ,000	,899** ,000	-,750** ,000	-,795** ,000	,182 ,192	,290 ,080	-,570** ,001
BZ_1000	1	,446** ,014	,776** ,000	,897** ,000	-,752** ,000	-,788** ,000	,216 ,150	,298 ,074	-,591** ,001

	Leistung IAAS	O2_max	iMVC_bb	iMVC_re	iMVC_li	MRFD_bb	MRFD_re	MRFD_li	BMI
BZ_500	-,133 ,283	-,185 ,183	-,584** ,001	-,636** ,000	-,621** ,000	-,618** ,001	-,707** ,000	-,579** ,001	-,558** ,002
BZ_1000	-,198 ,195	-,178 ,191	-,577** ,001	-,643** ,000	-,618** ,000	-,553** ,003	-,660** ,000	-,527** ,003	-,547** ,002

Anhand der Korrelationskoeffizienten und der visuellen Betrachtung der Streudiagramme, die exemplarisch für die Bestzeit über 500 m dargestellt wurden, sind Zusammenhänge einzelner Variablen, bezogen auf die Bestzeiten, erkennbar. Allerdings zeigen nicht alle Variablen signifikante Zusammenhänge. Die Ergebnisse der einzelnen Konstrukte werden in den folgenden Absätzen dargelegt.

⁶³ Wie in Kapitel 4.3.3.4 erläutert, ist es auf Grund der hohen Altersspanne der Studienteilnehmer notwendig, die Zusammenhänge dahingehend zu überprüfen, ob diese durch das Alter verursacht werden.

⁶⁴ Die gesamte Korrelationsmatrix befindet sich im Anhang, Abschnitt B.

Merkmale der Standstabilisation

Zwischen den Bestzeiten über 500 bzw. 1000 m und den Merkmalen der Standstabilisation konnten keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden.

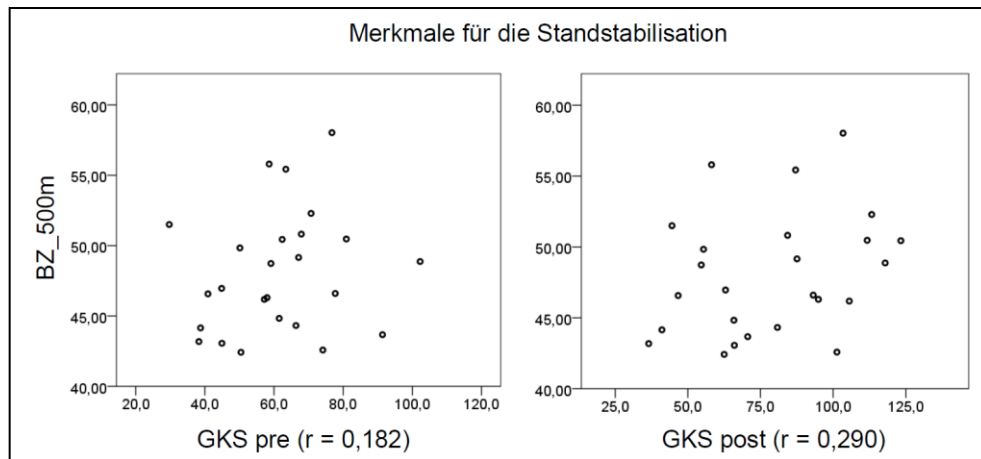


Abb. 38: Streudiagramme (SPSS): Korrelation zwischen 500 m-Bestzeit und den Merkmalen der Standstabilisation

Der Korrelationsmatrix in Tabelle 13 ist zu entnehmen, dass die Standstabilisation keinen signifikanten Einfluss auf die Beschleunigungsfähigkeit ausübt.

Tab. 13: Korrelationsmatrix (SPSS): Standstabilisation und Beschleunigungsfähigkeit

	Sprint_5m	Sprint_30m	Sprint_55m
GKS pre	-,060 ,393	,045 ,419	,151 ,236
GKS post	-,073 ,370	,040 ,429	,246 ,118

Merkmale der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur

Die Korrelationsmatrix in Tabelle 12 zeigt für sämtliche Variablen bezüglich der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur hoch signifikante Zusammenhänge mit den Bestzeiten. Alle Korrelationen sind negativ, was darauf hindeutet, dass sich eine Verbesserung der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur laufzeitverkürzend auswirkt.

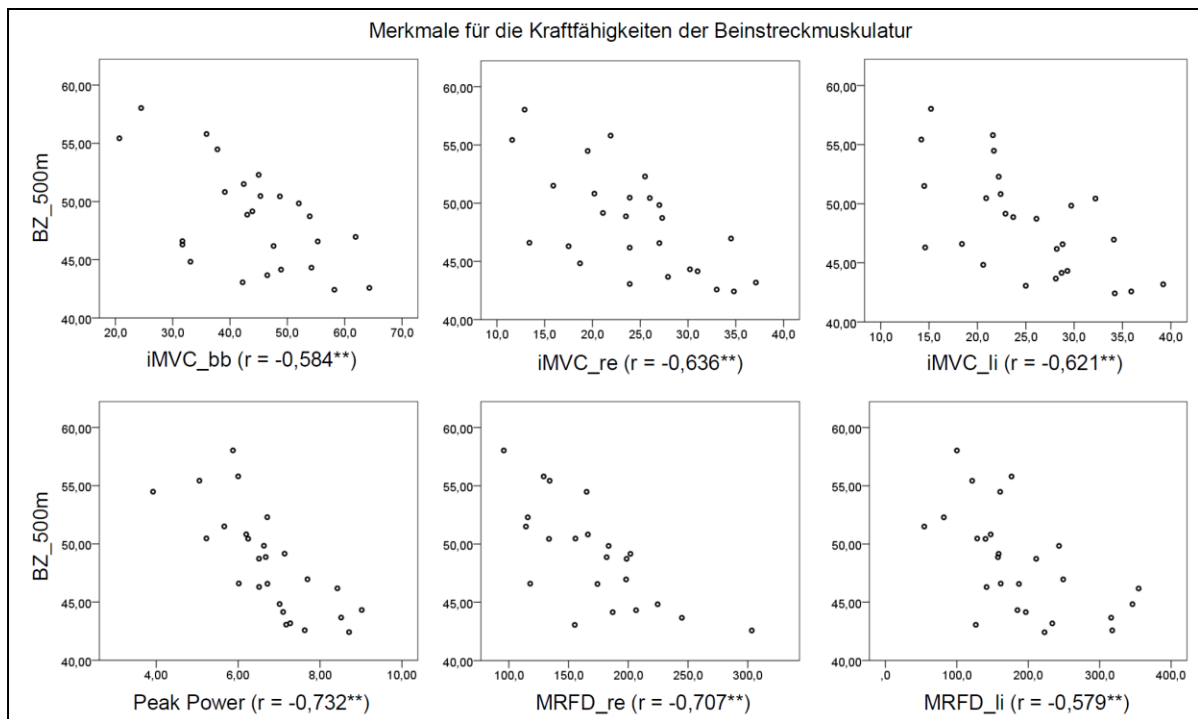


Abb. 39: Streudiagramme (SPSS): Korrelationen zwischen der 500 m-Bestzeit und den Merkmalen der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur

Wie der Korrelationsmatrix in Tabelle 14 zu entnehmen, korrelieren die unterschiedlichen Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur sowohl untereinander als auch mit anderen Merkmalen hoch. Bei der iMVC bestehen starke Zusammenhänge zwischen den bilateralen und unilateralen Kraftfähigkeiten. Aus diesem Grund wird bei nachfolgenden statistischen Verfahren nur das Merkmal für die bilaterale iMVC berücksichtigt. Die beiden anderen Merkmale (unilaterale iMVC rechts und links) werden aus der Statistik herausgenommen, da sie keine zusätzlichen Informationen liefern.

Anders bei der Explosivkraft, hier sind die Zusammenhänge sowohl zwischen den bilateralen und unilateralen Messungen, wie auch zwischen den unilateralen Messungen rechts und links niedriger. Auffallend ist, dass die Zusammenhänge zwischen den Bestzeiten und der Explosivkraft des rechten Beines höher sind, als zwischen den Bestzeiten und der Explosivkraft des linken Beines (Tabelle 12). Da beim Short Track das Abstoßen wechselseitig mit dem rechten bzw. linken Bein erfolgt, wird das Merkmal für die bilaterale Explosivkraft (MRFD_bb) aus der weiteren Statistik entfernt.

Tab. 14: Korrelationsmatrix (SPSS): Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur

	Sprint_ 5m	Sprint_ 30m	Sprint_ 55m	Peak Power	iMVC_ bb	iMVC_ re	iMVC_ li	MRFD_ bb	MRFD_ re	MRFD_ li
Peak Power	-,413 ,022	-,649 ,000	-,778 ,000	1	,585 ,001	,642 ,000	,617 ,000	,632 ,001	,604 ,001	,587 ,001
iMVC_bb	-,598 ,001	-,663 ,000	-,650 ,000	,585 ,001	1	,928 ,000	,893 ,000	,382 ,036	,613 ,001	,414 ,020
iMVC_re	-,667 ,000	-,770 ,000	-,755 ,000	,642 ,000	,928 ,000	1	,936 ,000	,355 ,048	,638 ,001	,466 ,008
iMVC_li	-,686 ,000	-,750 ,000	-,738 ,000	,617 ,000	,893 ,000	,936 ,000	1	,390 ,033	,668 ,000	,565 ,001
MRFD_ bb	,015 ,474	-,280 ,110	-,552 ,003	,632 ,001	,382 ,036	,355 ,048	,390 ,033	1	,720 ,000	,736 ,000
MRFD_re	-,296 ,103	-,487 ,015	-,691 ,000	,604 ,001	,613 ,001	,638 ,001	,668 ,000	,720 ,000	1	,846 ,000
MRFD_li	-,267 ,103	-,513 ,005	-,667 ,000	,587 ,001	,414 ,020	,466 ,008	,565 ,001	,736 ,000	,846 ,000	1

Die Korrelationsmatrix in Tabelle 14 zeigt zudem hoch signifikante Zusammenhänge zwischen den Maximal- und den Explosivkraftfähigkeiten. Auffallend ist auch hier, dass die Zusammenhänge zwischen rechten und linken Bein unterschiedlich hoch ausfallen. Speziell bei der iMVC ist der Zusammenhang mit dem rechten Bein deutlich höher, als mit dem Linken. Bei der dynamischen Maximalkraft zeigen sich keine bedeutenden Unterschiede in dieser Hinsicht.

Weitere hoch signifikante Zusammenhänge bestehen zwischen den Maximal- und Explosivkraftfähigkeiten und der Beschleunigungsfähigkeit. Beim Start über die halbe Runde weisen die Korrelationskoeffizienten der dynamischen Maximalkraft sowie die Explosivkraftparameter deutlich höhere Werte auf als beim Start auf gerader Strecke.

Rumpfkraft

Der Korrelationsmatrix (Tabelle 12) ist zu entnehmen, dass zwischen der Rumpfkraft und den Bestzeiten hoch signifikante Zusammenhänge bestehen. Das Streudiagramm in Abbildung 40 zeigt eine negative Korrelation. Da während der Rumpfkrafttests die Haltezeiten gemessen wurden, deutet eine längere Gesamtzeit auf eine bessere Rumpfkraft hin. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich

eine bessere Rumpfkraft positiv auf die Laufzeit auswirkt. Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Rumpfkraft und der 500- bzw. 1000 m-Bestzeit sind vergleichbar ($r_{500} = -0,570$; $r_{1000} = -0,591$) was die Annahme zulässt, dass die Rumpfkraft auf allen Wettkampfstrecken eine gleich hohe Bedeutung hat.

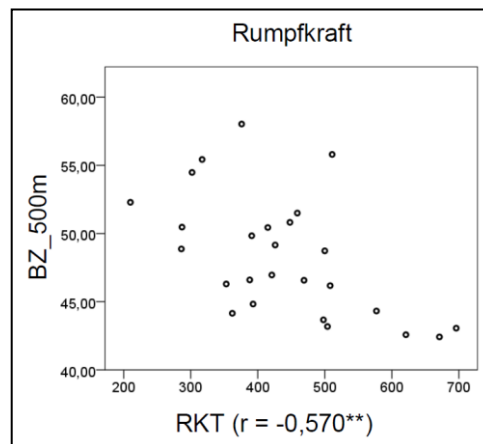


Abb. 40: Streudiagramm (SPSS): Korrelation zwischen 500 m-Bestzeit und der Rumpfkraft

Merkmale der Beschleunigungsfähigkeit

Hoch signifikante Zusammenhänge auf dem Niveau $\alpha = 0,01$ bestehen zwischen den Bestzeiten und der Beschleunigungsfähigkeit über 30 bzw. 55,5 m. Der Zusammenhang zwischen den Bestzeiten und dem Sprint über 5 m ist auf einem Niveau von $\alpha = 0,05$ signifikant. Im Streudiagramm Abbildung 42 fällt allerdings ein Extremwert auf. Wird dieser mit dem Pfeil gekennzeichnete Ausreißer (hier handelt es sich um eine mit 12 Jahren sehr jungen Athletin) entfernt, erhöht sich die Korrelation auf $r_{500} = 0,565^{**}$ bzw. $r_{1000} = 0,544^{**}$. Die Korrelation ist somit auch für die Sprintzeit über 5 m hoch signifikant.

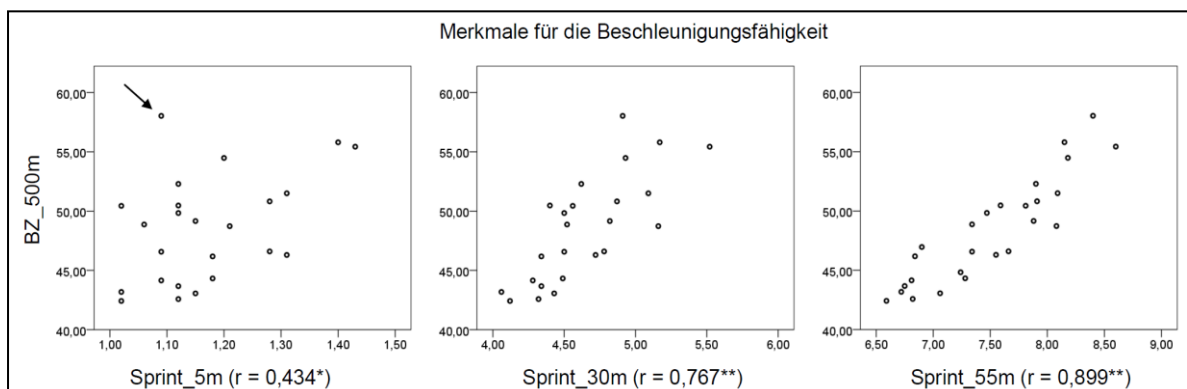


Abb. 41: Streudiagramme (SPSS): Korrelationen zwischen der 500 m-Bestzeit und den Merkmalen der Beschleunigungsfähigkeit

Die Variablen „Sprint_5m“ und „Sprint_30m“ repräsentieren die Beschleunigungsfähigkeit auf gerader Strecke, die Variable „Sprint_55m“ in der Kurve. Da in der Kurve aufgrund der wirkenden Zentripetalkräfte die Ansprüche an die Kraftfähigkeiten größer sind, wurden diese drei Variablen sowohl miteinander als auch gegenüber anderen Merkmalen auf ihre Zusammenhänge hin analysiert.

Tab. 15: Korrelationsmatrix (SPSS): Merkmale der Beschleunigungsfähigkeit

	Sprint_30m	Sprint_55m	GKS pre	GKS post	RKT	Peak Power	iMVC_bb	MRFD_re	MRFD_li
Sprint_5m	,793 ^{***} ,000	,584 ^{***} ,001	-,060 ,393	-,073 ,370	-,122 ,285	-,413 ,022	-,598 ^{***} ,001	-,296 ,103	-,267 ,103
Sprint_30m	1	,915 ^{***} ,000	,045 ,419	,040 ,429	-,329 ,058	-,649 ^{***} ,000	-,663 ^{***} ,000	-,487 ^{***} ,015	-,513 ^{***} ,005
Sprint_55m	,915 ^{***} ,000	1	,151 ,236	,246 ,118	-,490 ^{***} ,006	-,778 ^{***} ,000	-,650 ^{***} ,000	-,691 ^{***} ,000	-,667 ^{***} ,000

Der in Tabelle 15 abgebildeten Korrelationsmatrix ist zu entnehmen, dass zwischen den Merkmalen „Sprint_30m“ und „Sprint_55m“ ein hoch signifikanter Zusammenhang ($r = 0,915$) besteht. Der 30 m-Sprint auf gerader Strecke ist nach Letzelter und Letzelter (1983) valide für die Sprintkraft. Der Sprintstart über eine halbe Runde ist repräsentativ für die Sprintkraft plus Kurventechnik.

Gleichzeitig zeigt sich ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Sprint über 55,5 m und der Rumpfkraft. Dieser Zusammenhang ist bezogen auf den Sprint auf gerader Strecke viel niedriger und zudem nicht signifikant. Die Zusammenhänge zwischen dem Sprint über 55,5 m und den Kraftfähigkeiten der Bein-streckmuskulatur, mit Ausnahme der iMVC_bb, sind deutlich ausgeprägter als beim Sprint auf gerader Strecke.

Merkmale der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit

Die Statistik zeigt für die Variablen „O₂-max“ und „Leistung_IAAS“ keine signifikanten Zusammenhänge mit den Bestzeiten. Untereinander korrelieren beide Merkmale hoch ($r = 0,831$).

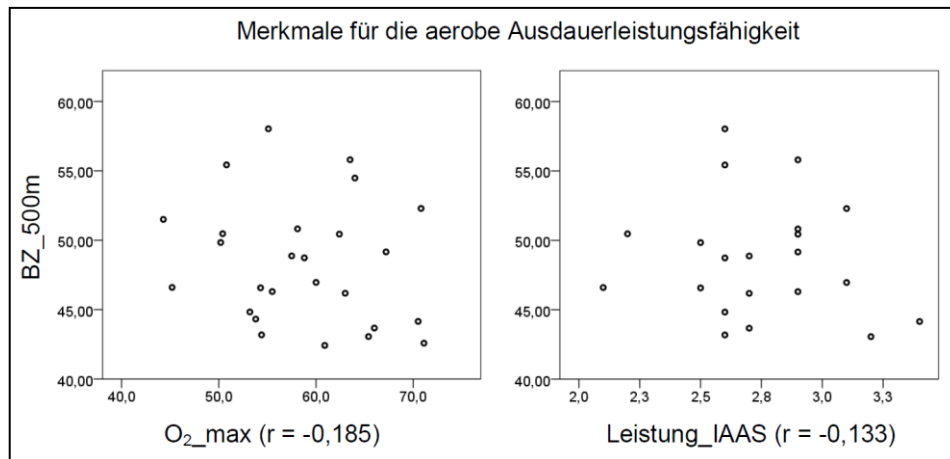


Abb. 42: Streudiagramme (SPSS): Korrelation zwischen 500 m-Bestzeit und den Merkmalen der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit

Zwischen der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme (O_2_max) und der anaeroben Leistungsfähigkeit (PLT_45s) besteht ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,420$, $p = 0,018$). Ein ebenfalls signifikanter Zusammenhang auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ besteht zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und dem Body Mass Index ($r = -0,419$).

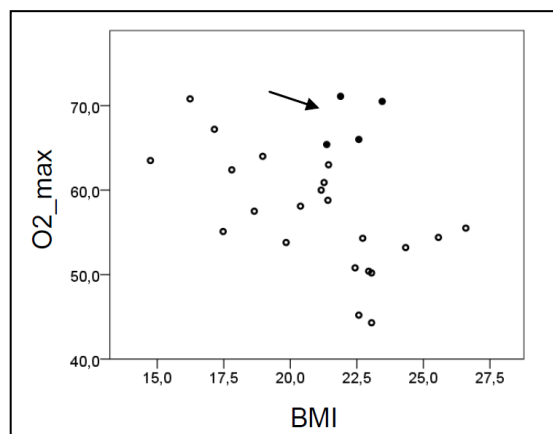


Abb. 43: Streudiagramm (SPSS): Korrelationen zwischen BMI und der maximalen Sauerstoffaufnahme

In Abbildung 43 ist deutlich zu sehen, dass vier Sportler mit einem BMI zwischen 21 und 23,5 über eine sehr hohe relative maximale Sauerstoffaufnahme verfügen. Bei diesen vier Sportlern, die diese Extremwerte aufweisen, handelt es sich um vier männliche Senioren, mit 500 m-Bestzeiten zwischen 42,58 und 44,15 s. Um zu überprüfen, wie sich der Zusammenhang zwischen BMI und relativer maxima-

ler Sauerstoffaufnahme verhält, wenn das Alter kontrolliert wird, wurde eine Partialkorrelation berechnet.

Tab. 16: Partialkorrelation zwischen BMI und O₂_max mit Kontrollvariable Alter (SPSS)

Kontrollvariablen			BMI	O ₂ _max
Alter	BMI	Korrelation	1,000	-,535
		Signifikanz (zweiseitig)		,003

Die Ergebnisse der Statistik, dargestellt in Tabelle 16 und Abbildung 44, zeigen, dass der Zusammenhang zwischen BMI und relativer maximaler Sauerstoffaufnahme bei Kontrolle des Alters größer wird und hoch signifikant ist. Der erklärte Varianzanteil (R^2) steigt von 17,6% auf 28,6%. In diesem Fall lag also eine Supression⁶⁵ vor (Weiber & Mühlhaus, 2010).

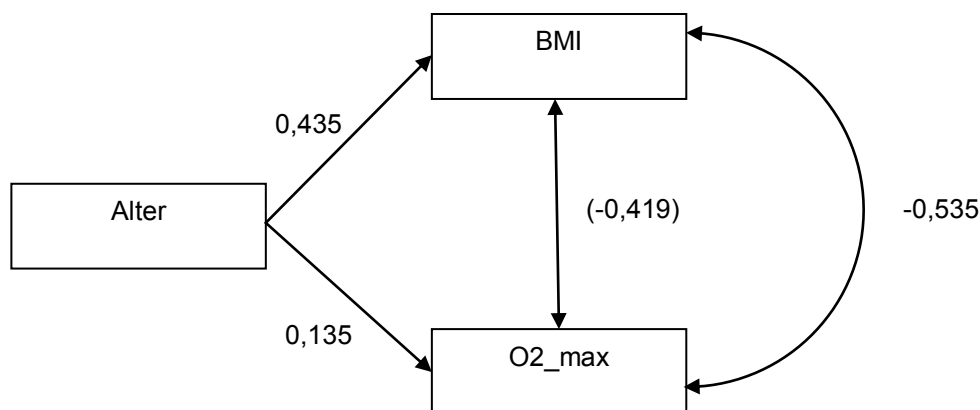


Abb. 44: Pfadmodell der Partialkorrelation zwischen BMI und O₂_max, Kontrollvariable: Alter

Anaerobe Leistungsfähigkeit

Die Korrelationskoeffizienten und die Signifikanzprüfungen zeigen hoch signifikante Zusammenhänge zwischen der anaeroben Leistungsfähigkeit und den Bestzeiten ($r_{500} = -0,795$ und $r_{1000} = -0,788$).

⁶⁵ „Suppression liegt vor, wenn bei Kontrolle einer dritten Variablen die bivariate Korrelation größer wird.“ (Weiber & Mühlhaus, 2010, S. 15)

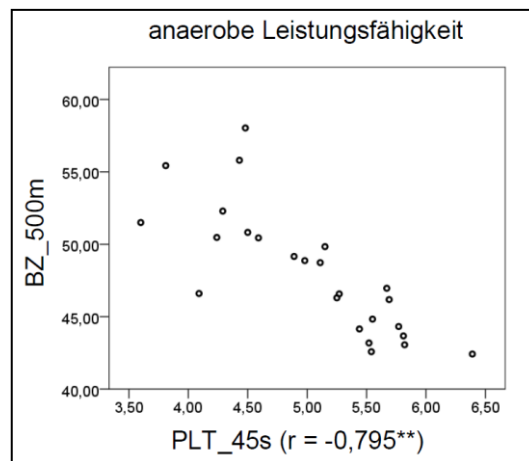


Abb. 45: Streudiagramm (SPSS): Korrelationen zwischen 500 m-Bestzeit und der anaeroben Leistungsfähigkeit

In der Korrelationsmatrix sind hoch signifikante Zusammenhänge zwischen der anaeroben Leistungsfähigkeit und den Maximal- und Explosivkraftfähigkeiten beobachtbar. Da zur Quantifizierung der anaeroben Leistungsfähigkeit der PLT auf dem Fahrradergometer eingesetzt wurde, ist zu vermuten, dass die erbrachte Leistung neben der Stoffwechselleistung auch von der Maximalkraft der Bein-streckmuskulatur (iMVC) abhängt. Der Zusammenhang zwischen der anaeroben Leistungsfähigkeit (PLT_45s) und der Explosivkraft ist sachlogisch nicht zu erklären. Vermutet wird, dass der Zusammenhang durch die dynamische Maximalkraft, die während der ersten 2-5 Sekunden während des PLT erbracht wurde, hervorgerufen wird. Um beide Vermutungen zu überprüfen und somit Scheinkorrelationen auszuschließen, werden Partialkorrelationen berechnet.

Tab. 17: Partialkorrelation zwischen PLT_45s und BZ_500 mit Kontrollvariable iMVC_bb (SPSS)

Kontrollvariablen			BZ_500	PLT_45s
iMVC_bb	BZ_500	Korrelation	1,000	-,688
		Signifikanz (einseitig)		,000

Wird die iMVC aus den Variablen „PLT_45s“ und „Bestzeit_500“ herauspartialisiert, ist der Zusammenhang zwischen diesen Variablen trotzdem mit $p = 0,000$ hoch signifikant (Tabelle 17). Allerdings sinkt der erklärte Varianzanteil

(R^2) bei Kontrolle der iMVC von 63% ($r = -0,795$) auf 44,6% ($r = -0,668$) (Abbildung 46)⁶⁶. Daraus ist zu schließen, dass der Zusammenhang zwischen der anaeroben Leistungsfähigkeit und den Bestzeiten teilweise, aber nicht ausschließlich auf den Einfluss der iMVC zurückzuführen ist.⁶⁷

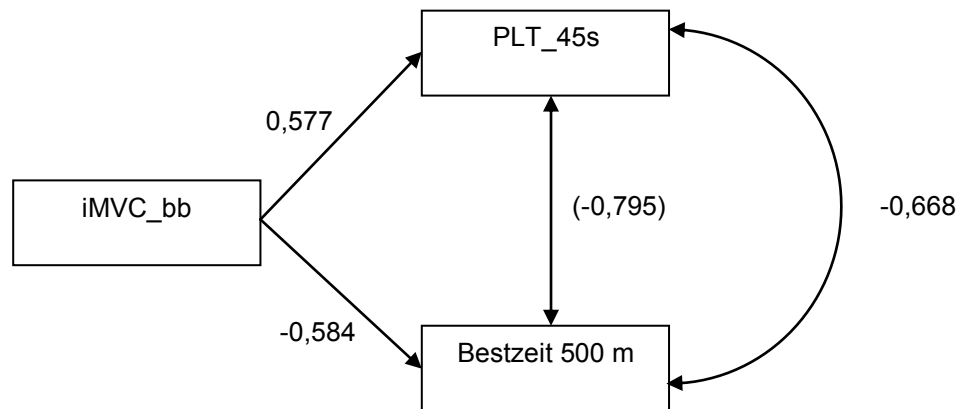


Abb. 46: Pfadmodell der Partialkorrelation zwischen PLT_45 und BZ_500, Kontrollvariable: iMVC_bb

Die Vermutung, dass der Zusammenhang zwischen der anaeroben Leistungsfähigkeit („PLT_45“) und der Explosivkraft durch den Einfluss der dynamischen Maximalkraft verursacht wird, wurde durch die Partialkorrelation bestätigt (Tabelle 18). Somit liegt hier eine Scheinkorrelation vor.

Tab. 18: Partialkorrelation zwischen PLT_45s und RFD_bb mit Kontrollvariable Peak Power (SPSS)

Kontrollvariablen			PLT_45s	MRFD_bb
Peak Power	PLT_45s	Korrelation	1,000	,149
		Signifikanz (zweiseitig)		,260

⁶⁶ Die Partialkorrelation wurde ebenfalls für die Bestzeit über 1000 m durchgeführt. Die Ergebnisse der Statistik befinden sich im Anhang, Abschnitt C.

⁶⁷ In diesem Fall, handelt es sich um eine Konfundierung. „Eine Konfundierung liegt vor, wenn bei Kontrolle einer Drittvariablen die bivariate Korrelation kleiner wird.“ (Weiber & Mülhau, 2010, S. 15)

Body Mass Index

Zwischen dem BMI und den Bestzeiten über 500 und 1000 m besteht ein negativer hoch signifikanter Zusammenhang ($r_{500} = -0,558$ bzw. $r_{1000} = -0,547$).

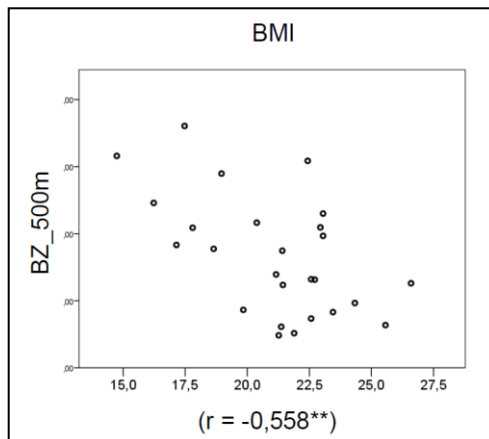


Abb. 47: Streudiagramm (SPSS): Korrelationen zwischen 500 m-Bestzeit und dem BMI

Einflüsse des Alters auf die beobachteten signifikanten Zusammenhänge

Der Tabelle 19 ist zu entnehmen, dass hoch signifikante Zusammenhänge zwischen dem Alter und den Bestzeiten ($r_{500} = -0,847^{**}$, $r_{1000} = -0,855^{**}$) sowie zwischen dem Alter und den anderen Merkmalen bestehen. Um mögliche Scheineffekte, die möglicherweise durch das Alter verursacht werden aufzudecken, wurden sämtliche Zusammenhänge dahingehend überprüft.

Bei Kontrolle des Alters, Ergebnisse sind in Tabelle 19 grau hinterlegt, geht ein Großteil der beobachteten signifikanten Zusammenhänge zwischen den Bestzeiten und den einzelnen Merkmalen verloren. Speziell die beobachteten Zusammenhänge der Kraftfähigkeiten mit den Bestzeiten, sind auf das Alter zurückzuführen.

Im Endergebnis weisen bei Kontrolle des Alters die Beschleunigungsfähigkeit und die anaerobe Leistungsfähigkeit signifikante Zusammenhänge mit den Bestzeiten auf⁶⁸. Die Explosivkraft des rechten Beines zeigt einen signifikanten Zusammen-

⁶⁸ Im Anhang, Abschnitt C befinden sich die Korrelationen der Merkmale auf die 1000 m-Bestzeit mit und ohne Kontrolle des Alters.

hang nur mit der Bestzeit über 500 m. Der signifikante Zusammenhang zwischen BMI und Bestzeiten sinkt zwar mit Kontrolle des Alters, bleibt aber empirisch-statistisch relevant.

Tab. 19: Korrelation der Merkmale auf die 500 m-Bestzeit mit und ohne Kontrolle des Alters (SPSS)

	BZ_500	BZ_1000	Sprint_5m	Sprint_30m	Sprint_55m	O2_max	Leistung_IAAS	PLT_45s
Alter	-,847** ,000	-,855** ,000	-,226 ,144	-,563** ,002	-,750** ,000	,135 ,256	,237 ,151	,755** ,000
BZ_500	1	,982** ,000	,565** ,002	,767** ,000	,899** ,000	-,185 ,183	-,133 ,283	-,795** ,000
Partial-korrelation			,633** ,001	,660** ,001	,751** ,000	-,134 ,261	,160 ,255	-,455* ,013

	GKS pre	GKS post	RKT	Peak Power	MVC_bb	MRFD_re	MRFD_li	BMI
Alter	-,203 ,165	-,347* ,045	,601** ,001	,794** ,000	,530** ,003	,627** ,003	,525** ,003	,435* ,013
BZ_500	,182 ,192	,290 ,080	-,570** ,001	-,750** ,000	-,584** ,001	-,707** ,000	-,579** ,001	-,558** ,002
Partial-korrelation	,023 ,458	-,002 ,497	-,143 ,247	-,257 ,108	-,299 ,078	-,429* ,026	-,297 ,075	-,397* ,025

Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, wurde im nächsten Schritt kontrolliert, ob es sich bei den beobachteten empirischen Zusammenhängen zwischen der statischen und dynamischen Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, der Explosivkraft sowie der Rumpfkraft mit der Beschleunigungsfähigkeit auch um Scheinkorrelationen, verursacht durch das Alter, handelt. Zur Kontrolle wurden ebenfalls Partialkorrelationen berechnet. Die Ergebnisse wurden in Tabelle 20 dargestellt.

Wird das Alter aus den Merkmalen, die einen signifikanten Zusammenhang mit der Beschleunigungsfähigkeit zeigen, herauspartialisiert, geht die Korrelation bezüglich der Rumpfkraft gegen Null. Hier liegt also eine Scheinkorrelation vor. Die Explosivkraft besitzt beim Start über 55,5 m, also im Kurvenlauf, einen allgemeingültigen Zusammenhang. Beim Start auf der Geraden zeigt ausschließlich die Maximalkraft, statisch wie dynamisch, einen signifikanten Zusammenhang. Auffallend ist, dass mit zunehmender Streckenlänge die iMVC an Einfluss verliert und die dynamische Maximalkraft an Bedeutung gewinnt.

Tab. 20: Korrelation ausgewählter Merkmale auf die Beschleunigungsfähigkeit bei Kontrolle des Alters (SPSS)

Kontrollvariablen			RKT	Peak Power	iMVC_bb	MRFD_re	MRFD_li
Alter	Sprint_5m	Korrelation	,042	-,376*	-,733**	-,312	-,206
		Signifikanz (einseitig)	,427	,042	,000	,104	,178

Kontrollvariablen			RKT	Peak Power	iMVC_bb	MRFD_re	MRFD_li
Alter	Sprint_30m	Korrelation	,026	-,405*	-,508**	-,256	-,302
		Signifikanz (einseitig)	,453	,028	,008	,145	,081

Kontrollvariablen			RKT	Peak Power	iMVC_bb	MRFD_re	MRFD_li
Alter	Sprint_55m	Korrelation	-,075	-,460*	-,450*	-,436*	-,485**
		Signifikanz (einseitig)	,361	,012	,014	,024	,007

7.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Aus den Ergebnissen der Korrelationsanalyse kann geschlossen werden, dass bezogen auf die Bestzeiten über 500 und 1000 m die Konstrukte „Beschleunigungsfähigkeit“, sowohl auf der Geraden wie auch in der Kurve, und die „anaerobe Leistungsfähigkeit“ empirisch-statistisch leistungsrelevant sind. Die Explosivkraft des rechten Beines ist nur auf der kurzen Distanz über 500 m empirisch-statistisch leistungsrelevant.

Mittels Partialkorrelation konnte nachgewiesen werden, dass der empirisch beobachtbare Zusammenhang der anaeroben Leistungsfähigkeit auf die Bestzeit zum Teil durch die iMVC der Beinstreckmuskulatur verursacht wird. Dies liegt darin begründet, dass zur Quantifizierung der anaeroben Leistungsfähigkeit der PLT auf dem Fahrradergometer zum Einsatz kam. Die anaerobe Leistungsfähigkeit wird auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ von der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit beeinflusst.

Bei den beobachteten signifikanten Zusammenhängen zwischen den Bestzeiten und den Kraftfähigkeiten (statische und dynamische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und Rumpfkraft) handelt es sich um Scheinkorrelationen. Diese werden durch eine Drittvariable, in diesem Fall durch das Alter, verursacht.

Die Merkmale der Standstabilisation zeigen keine signifikanten Zusammenhänge, weder mit der Beschleunigungsfähigkeit noch mit anderen Konstrukten.

Aus den Daten der Korrelationsmatrix ist abzuleiten, dass einzelne Merkmale untereinander (stark) zusammenhängen bzw. einige Merkmale von anderen beeinflusst werden. Somit stellt ein Teil der Variablen keine unabhängigen, sondern wie a priori angenommen, intervenierende Variablen dar. So wird die Explosivkraft von der Maximalkraft (statisch und dynamisch) hoch signifikant beeinflusst. Beide Konstrukte (Maximal- und Explosivkraft) beeinflussen wiederum die Startfähigkeit über 55,5m signifikant. Beim Start auf gerader Strecke hat ausschließlich die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur einen signifikanten Einfluss, wobei der Einfluss der iMVC überwiegt. Grafisch können die Ergebnisse der Pearson-Korrelation wie folgt zusammengefasst werden:

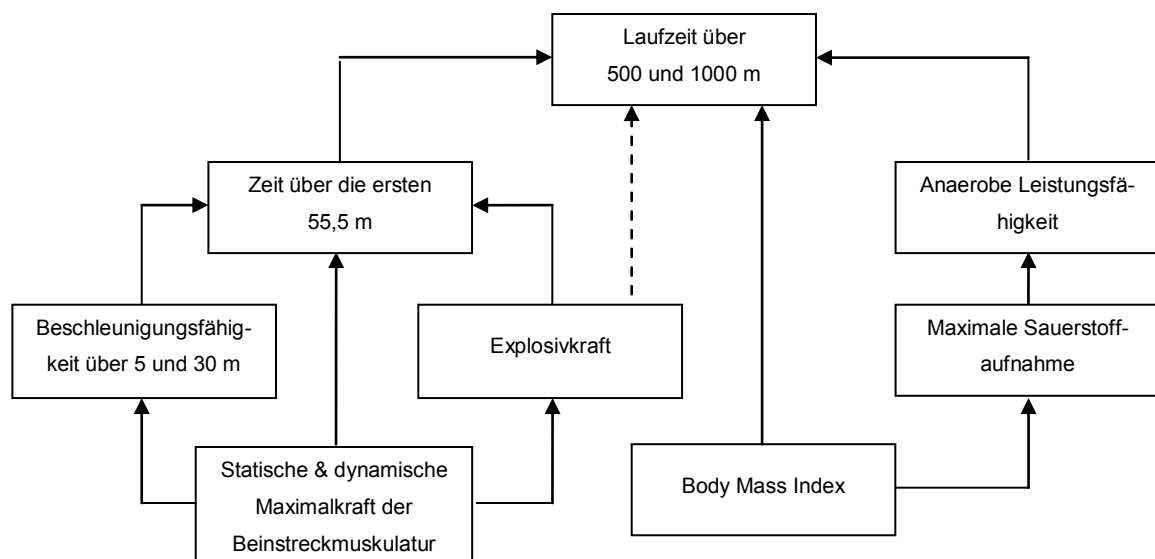


Abb. 48: Zusammenhangsstruktur der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale auf Grundlage der Ergebnisse der Korrelationsanalyse

7.3 Explorative Faktorenanalyse

7.3.1 Vorgehensweise

Die Korrelationsanalyse brachte zum Vorschein, dass zwischen den einzelnen Merkmalen (Testleistungen) enge Zusammenhänge bestehen. Durch die Vielzahl der Interkorrelationen ist eine konsequente Interpretation sehr schwierig. Mit Hilfe der EFA soll die Vielzahl der Variablen auf einige wenige voneinander unabhängige Variablengruppen (Faktoren) verkleinert werden. Die Anwendungsvoraussetzungen für die EFA, annähernde Linearität sowie Normalverteilung, sind dabei erfüllt. Allerdings kann der Forderung nach einer Personenstichprobe von mind. $n = 50$ über dem Umfang der Merkmalsstichprobe wie von Jahn & Vahle (1970) gefordert nicht nachgekommen werden. Diese Forderung entspräche einer Stichprobengröße von $n > 75$. Wie schon Letzelter & Letzelter (1983) bei ihren Untersuchungen zum Eisschnelllauf anmerkten, sind so große Stichprobenumfänge im (Hoch-)leistungssport völlig undenkbar. Um trotzdem Personen- und Merkmalsstichprobe in eine vernünftige Relation zu bringen wurden die Variablen eliminiert, die numerisch miteinander verbunden sind. So wurden für die iMVC nur die bilateralen Testergebnisse berücksichtigt und für die MRFD nur die Testergebnisse der rechten Seite. Somit beträgt die Anzahl der Variablen die bei der EFA berücksichtigt wurden 13 plus die 500m- bzw. 1000m-Bestzeit, was zu einem Verhältnis von 2:1 führt. Nach Letzelter & Letzelter (1983, S. 152). Sollte trotz der Nichtbeachtung aller Anwendungsvorschriften die Zielsetzung der Faktorenanalyse nicht „ins Wanken“ kommen.

Als Faktorenextraktionsverfahren wurde eine Hauptkomponentenanalyse (Principal Components Analysis = PCA) gewählt. Die Faktorenextraktion erfolgte nach dem Kaiser-Kriterium (Eigenwert > 1). Um die extrahierten Faktoren besser interpretieren zu können, wurde eine orthogonale Varimax-Rotation durchgeführt. Für die Interpretation der Faktoren wurden nur Faktorladungen $> 0,6$ berücksichtigt.

7.3.2 Ergebnisse und Auswertung

Wie der Tabelle 21 zu entnehmen, wurden aus den insgesamt 14 Variablen vier Faktoren extrahiert, deren Eigenwert > 1 ist. Der Faktor 1 erzielt $\lambda = 6,27$, Faktor 2 $\lambda = 2,26$, Faktor $\lambda = 1,83$ und Faktor 4 $\lambda = 1,01$. Alle vier Faktoren zusammen klären 81% der Gesamtvarianz auf. Somit bleiben nur 19%, also weniger als ein Fünftel, unaufgeklärt.

Tab. 21: (SPSS) Erklärte Gesamtvarianz der extrahierten Faktoren

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	6,265	44,752	44,752	3,944	28,174	28,174
2	2,256	16,112	60,864	3,179	22,704	50,877
3	1,813	12,951	73,814	2,178	15,560	66,438
4	1,011	7,222	81,037	2,044	14,599	81,037
5	,789	5,635	86,672			
6	,642	4,583	91,255			
7	,361	2,576	93,830			
8	,292	2,089	95,919			
9	,183	1,307	97,226			
10	,136	,969	98,195			
11	,095	,676	98,871			
12	,077	,551	99,422			
13	,056	,399	99,821			
14	,025	,179	100,000			

Der Eigenwerteverlauf nach dem Scree-Test in Abbildung 49a zeigt deutlich, dass beginnend mit dem kleinsten der 14 Eigenwerte bis zum 7 Eigenwert eine annähernde Konstanz in der Größe vorliegt. Vom siebten bis zum vierten Eigenwert zeigt sich wiederum ein linearer Verlauf (grafisch dargestellt in Abbildung 49b). Nach dem „Scree-Test von Cattell (1966) werden diejenigen Faktoren als bedeutsam betrachtet, die vor dem Knick liegen, also in diesem Fall nur drei bzw. sogar sechs Faktoren.⁶⁹

⁶⁹ Bei der Extraktion von sechs Faktoren besitzt auf dem fünften und sechsten Faktor jeweils nur eine Variable Ladungen $> 0,6$. Aus diesem Grund wird bei der Anzahl der Faktoren am Kaiser-Kriterium festgehalten.

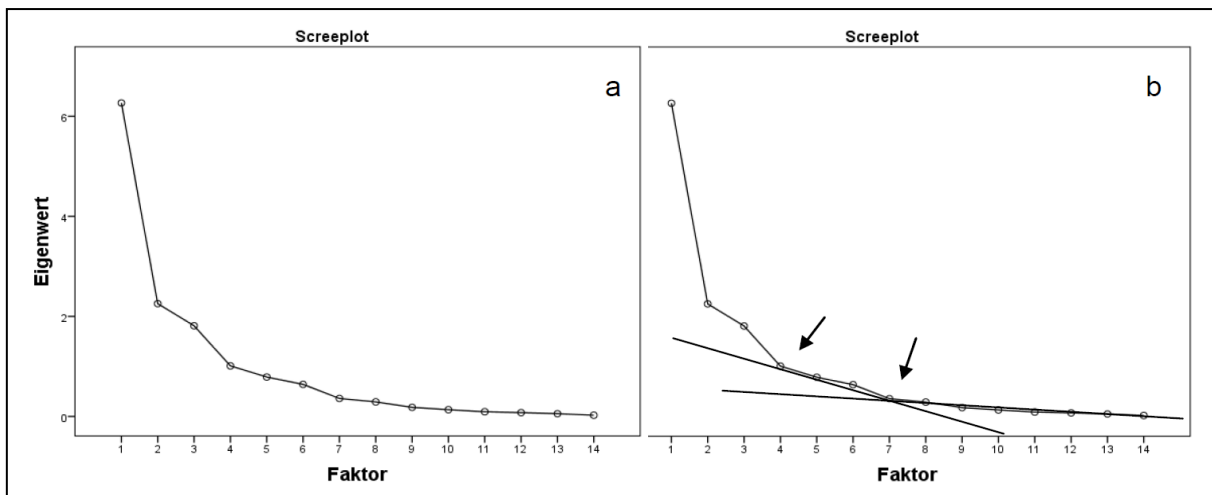


Abb. 49: (SPSS) a) Eigenwerteverlauf von insgesamt 14 Faktoren, b) Eigenwerteverlauf mit Scree-Test

In Tabelle 22 ist ersichtlich, dass sich durch die Varimax-Rotation die Eigenwerte der vier Faktoren angenähert haben. In der unrotierten Faktormatrix war der erste Faktor relativ dominant. Nach der orthogonalen Rotation vermindert sich der Eigenwert des ersten Faktors auf $\lambda = 3,94$, während sich der zweite auf $\lambda = 3,18$ und der dritte auf $2,18$ erhöht. Der Eigenwert des vierten Faktors verdoppelt sich auf $\lambda = 2,04$. Der Anteil an der totalen Varianz beträgt somit für den 1. Faktor rund 28%, für den Zweiten 23% und für den dritten und vierten Faktor ca. 15%. Bezugnehmend auf die rotierte Varianz, ist somit der erste Faktor zu ca. 1/3 (34,8%), Faktor 2 mit ca. 1/4 (28%) und die Faktoren 3 und 4 mit jeweils ca. 1/5 (19,2 bzw. 18%) an der Aufklärung beteiligt.

Die Faktormatrix nach Varimax-Rotation ist in Tabelle 22 abgebildet. In ihr sind die Faktorladungen sowie die Kommunalitäten h^2 erfasst. Diese belegen, dass bis auf die isometrische Maximalkraft (iMVC_bb) und die Rumpfkraft (RKT) alle Variablen in einem hohen Ausmaß determiniert sind. Die vier Faktoren klären 89,1% der Varianz der 500 m-Bestzeit auf⁷⁰. Der erste Faktor trägt dabei deutlich mehr zur Aufklärung der Bestzeit bei als die anderen Faktoren. Faktor 1 bindet 55%, der 2.

⁷⁰ Die Varianz der 1000 m-Bestzeit kann durch die vier extrahierten Faktoren zu 87% erklärt werden. Ergebnisse im Anhang, Abschnitt D.

Faktor 27,6% und Faktor 3 und 4 nur 3,4 bzw. 2,7%. Somit sichern vor allem die ersten beiden Faktoren den überragenden Einfluss auf die 500 m-Laufleistung ab.

Tab. 22: (SPSS) Rotierte Komponentenmatrix und Kommunalitäten

	Komponente				Kommunalitäten
	1	2	3	4	h ²
MRFD_re	,816	-,185	,145	,002	,721
Peak Power	,763	-,387	-,030	,139	,752
RKT	,744	,009	-,325	,099	,669
BZ_500	-,742	,525	,192	,166	,891
PLT_45s	,741	-,476	-,150	,147	,820
Sprint_5m	-,119	,921	-,093	-,117	,884
Sprint_30m	-,378	,889	,006	,029	,935
Sprint_55m	-,651	,686	,153	,046	,920
iMVC_bb	,497	-,527	-,140	,225	,595
GKS pre	,035	,065	,960	-,059	,930
GKS_post	-,228	-,047	,857	,105	,799
O2_max	,285	-,220	,150	,840	,857
Leistung_IAAS	,097	-,078	-,326	,826	,804
BMI	,267	-,211	-,395	-,705	,769

Bei Berücksichtigung von Faktorladungen $> 0,6$ für die Interpretation der Faktoren wird deutlich, dass auf dem 1. Faktor zum einen Variablen laden, die unterschiedliche Kraftfähigkeiten widerspiegeln (dynamische Maximalkraft, Explosivkraft und Rumpfkraft) und zum anderen Testleistungen die stark von der anaeroben Leistungsfähigkeit abhängen (PLT, Laufzeit über 500 m). Das die Startzeit über 55,5 m sowohl hohe Ladungen auf den 1. wie auch auf den 2. Faktor besitzt kann damit erklärt werden, dass die erste halbe Runde stark von der Sprintkraft beeinflusst wird. Zum anderen sind die Anforderungen an die Kraftfähigkeiten aufgrund der hohen Zentripetalkräfte im Kurvenlauf höher. Der 1. Faktor ist somit ein „Generalfaktor“ für die „Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur“ und die „anaerobe Leistungsfähigkeit“. Die Rumpfkraft wird nicht weiter berücksichtigt, da sie zum einen durch die vier Faktoren nur unzureichend determiniert wird und zum anderen die partielle Korrelation im Abschnitt 7.2.2 gezeigt hat, dass es sich beim Zusammenhang zwischen Rumpfkraft und Laufzeit um eine Scheinkorrelation, verursacht durch das Alter, handelt.

Der zweite Faktor ist ein „Beschleunigungsfaktor“. Alle drei Parameter zur Beurteilung der Beschleunigungsfähigkeit besitzen auf diesem Faktor hohe Ladungen, wobei die Testleistungen auf gerader Strecke deutlich höhere Ladungen zeigen. Da der Start auf gerader Strecke über 30 m valide mit der Sprintkraft ist (Letzelter & Letzelter, 1983), soll dieser zweite Faktor als „Sprintkraftfaktor“ bezeichnet werden.

Hohe Ladungen auf Faktor 3 haben lediglich die Testleistungen zur Standstabilisation vor und nach Belastung. Somit ist dieser Faktor ein „Gleichgewichtsfaktor“.

Die beiden Parameter zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (O_2 _max und Leistung_IASS) zeigen hohe Ladungen auf dem vierten Faktor. Außer dem BMI, der einen negativen Zusammenhang zu diesen beiden Merkmalen aufweist, besitzen keine anderen Variablen hohe Ladungen auf Faktor 4. Aus diesem Grund kann der Faktor als „aerober Ausdauerfaktor“ bezeichnet werden.

7.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse

Die zur Datenreduktion eingesetzte explorative Faktorenanalyse extrahierte vier Faktoren, die zusammen 81% der Gesamtvarianz erklären. Auf dem 1. Faktor, der zu einem Drittel zur Aufklärung der Varianz beiträgt, laden Merkmale unterschiedlicher Fähigkeiten. Der 1. Faktor steht sowohl für die „Kraftfähigkeiten der Bein-streckmuskulatur“ wie auch für die „anaerobe Leistungsfähigkeit“. Er ist somit ein Kraft-/anaerobe Ausdauerfaktor. Der zweite Faktor, der ca. $\frac{1}{4}$ zur Aufklärung der Varianz beiträgt, ist der „Sprintkraftfaktor“. Der dritte Faktor repräsentiert die „Gleichgewichtsfähigkeit“ und der vierte Faktor die „aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit“. Die Varianz der 500 m-Bestzeit kann allein durch die ersten beiden Faktoren zu 82,6% erklärt werden⁷¹.

⁷¹ Im Hinblick auf die Aufklärung der Varianz der 1000 m-Bestzeit sind nur geringfügige Unterschiede im Vergleich zur 500 m-Bestzeit feststellbar. Der Kraft-/anaerobe Ausdauerfaktor klärt 50%, der Sprintkraftfaktor 30%, der Gleichgewichtsfaktor 5% und der aerobe Ausdauerfaktor 2% der Varianz auf.

7.4 Multiple lineare Regression

7.4.1 Vorgehensweise

Der Korrelationsmatrix war zu entnehmen, dass die einzelnen Merkmale untereinander unterschiedlich stark zusammenhängen. Diese Zusammenhänge zwischen den einzelnen Merkmalen spiegeln sich auch in Ergebnissen der EFA wieder. Diese identifizierte lediglich vier Merkmalsgruppen. Auch wenn ein hoher Grad an Multikollinearität dazu führt, dass die Schätzungen der Regressionsparameter nicht mehr robust (valide) sind und die Standardfehler der Regressionskoeffizienten größer werden (Wilcox et al., 2008), werden bei der Regressionsanalyse Merkmale berücksichtigt, die auf einen gemeinsamen Faktor laden. Da die Regressionsanalyse mit dem primären Ziel durchgeführt wurde, ein Modell mit möglichst hohem Bestimmtheitsmaß (R^2) zu finden, sollten die Abhängigkeiten zwischen den Prädiktoren keine Einschränkung darstellen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Prioritätenbenennung anhand der β -Gewichte als Gradmesser der Einflusshöhe bei dieser Vorgehensweise problematisch ist. Nach Letzelter & Letzelter (1983, S. 198) läuft mit jeder Veränderung der Testkombination eine Veränderung in den relativen Gewichten parallel, welche eine befriedigende Priorisierung ausschließt.

Die Rumpfkraft, operationalisiert durch die Variable „RKT“, wurde bei der Regressionsanalyse nicht berücksichtigt. Die Rumpfkraft zeigte bei der Korrelationsanalyse zwar hohe signifikante Zusammenhänge mit den Bestzeiten, diese stellten sich aber als Scheinkorrelationen heraus. Ebenso ging der beobachtbare Zusammenhang zwischen Rumpfkraft und Beschleunigungsfähigkeit bei Kontrolle des Alters gegen Null.

Da das Bestimmtheitsmaß in seiner Höhe durch die Zahl der Regressoren beeinflusst wird, blieben die Merkmale der Standstabilisation bei der Regressionsanalyse ebenfalls unberücksichtigt. Die Korrelationsanalyse zeigte, dass diese Merkmale keinerlei Zusammenhänge mit anderen Testleistungen aufweisen. Bei der EFA hatten die Merkmale der Standstabilisation hohe Ladungen auf dem dritten Faktor. Zur Aufklärung der Varianz der 500 m-Laufzeit trägt dieser Faktor aber nur mit unbedeutenden 3,4% bei. Als Regressor für die aerobe Ausdauerleistungsfähig-

keit wird nur die maximale Sauerstoffaufnahme berücksichtigt. Bei der Korrelationsanalyse kam ein signifikanter Zusammenhang mit der anaeroben Leistungsfähigkeit zum Vorschein.

Ausgehend von den Ergebnissen der EFA, tragen die Kraftfähigkeiten der Bein-streckmuskulatur, die anaerobe Leistungsfähigkeit sowie die Beschleunigungs-fähigkeit maßgeblich zur Aufklärung der Varianz der Laufzeiten bei. Aus diesem Grund gehen in die regressionsanalytische Prüfung der Wettkampfleistung (Best-zeit über 500 und 1000 m) folgende Regressoren ein: dynamische Maximalkraft (Peak Power), iMVC_bb, die unilateralen Testergebnisse der Explosivkraft (MRFD_re und MRFD_li), PLT_45s; Sprint_5m; Sprint_30m und Sprint_55m. Ein weiterer Regressor ist der BMI, der bei der Korrelationsanalyse einen signifikanten Zusammenhang mit den Bestzeiten über 500 und 1000 m zeigte.

Da nicht entdeckte Nichtlinearität bei Regressionsanalysen zu Verzerrungen der Schätzwerte der Parameter führt, wurden die Residuen auf Normalverteilung ge-prüft. Fälle, deren Residuen nicht ± 2 Standardabweichungen um den Nullpunkt lagen, wurden eliminiert. Nach der Eliminierung der entsprechenden Fälle wurde erneut die Regression berechnet und die Residuen auf Normalverteilung geprüft. Dies wurde so lange fortgesetzt, bis alle Residuen im Bereich von ± 2 Standard-abweichungen um den Nullpunkt lagen. Gleichzeitig erfolgte durch die visuelle Betrachtung der Residuen die Prüfung auf Heteroskedastizität⁷².

Im Anschluss wurde die *schrittweise Regressionsanalyse durchgeführt*. Bei dieser Methode erfolgt die Auswahl der Variablen durch einen per Computer ausgeführ-ten Algorithmus automatisch. Die unabhängigen Variablen werden dabei einzeln nacheinander in die Regressionsgleichung einbezogen. Diejenige Variable, die das Gütekriterium maximiert, wird ausgewählt. Der Algorithmus versucht das Mo-dell mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß zu finden.

⁷² Die Ergebnisse des Linearitätstests befinden sich im Anhang, Abschnitt E.

Zur Prüfung der Regressionsfunktionen wurde das korrigierte Bestimmtheitsmaß $R^2_{\text{kor}}{}^2$ betrachtet und ein F-Test zur Signifikanzprüfung ($\alpha = 5\%$) durchgeführt. Als Schwellenwerte für die F-Wahrscheinlichkeit wurden die in SPSS voreingestellten Werte (PIN = 0,05, POUT = 0,1) verwendet. Zusätzlich wurden die Regressionskoeffizienten (β -Werte) mittels t-Test auf Signifikanz geprüft. Die Irrtumswahrscheinlichkeit betrug 5% (0,05). Zur Behandlung fehlender Werte wurde die Methode *durch Mittelwert ersetzen*⁷³ gewählt.

7.4.2 Ergebnisse und Auswertung

Abhängige Variable: BZ_500

Der Tabelle 23 ist zu entnehmen, dass vom Programm als erstes die Variable „Sprint_55m“ ausgewählt wurde. Im zweiten Schritt wurde die Variable „BMI“ hinzugefügt. Die Gütemaße der Modellzusammenfassung zeigen ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß $R^2_{\text{kor}}{}^2$ von 0,830 und einen Standardschätzfehler (= Standardabweichung der Residuen) von 1,82. Daraus folgt, dass die beiden Variablen 83% der Variation der 500 m-Laufzeit erklären können.

Tab. 23: (SPSS) schrittweise Regression, abhängige Variable BZ_500

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Sprint_55m	.	Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).
2	BMI	.	Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,899 ^a	,809	,801	1,97394
2	,919 ^b	,844	,830	1,82266

Der zum Testen der Nullhypothese durchgeführte Signifikanztest ($\alpha = 5\%$) zeigt, dass der F-Wert hoch signifikant ist (Tabelle 24). Daraus folgt, dass ein für die Grundgesamtheit geltender Zusammenhang zwischen der 500 m-Bestzeit und den

⁷³ Fehlende Werte pro Variable werden durch den Mittelwert der gültigen Werte der jeweiligen Variable ersetzt.

Regressoren Startzeit über 55,5 m und BMI besteht. Anhand der standardisierten Betakoeffizienten kann angenommen werden, dass die Startzeit über 55,5 m einen deutlich höheren Einfluss auf die 500 m-Laufzeit hat als der Body Mass Index.

Tab. 24: (SPSS) ANOVA und Koeffizienten der schrittweise Regression, abhängige Variable: BZ_500

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1 Regression	395,463	1	395,463	101,493	,000 ^a
1 Nicht standardisierte Residuen	93,515	24	3,896		
1 Gesamt	488,978	25			
2 Regression	412,570	2	206,285	62,095	,000 ^b
2 Nicht standardisierte Residuen	76,408	23	3,322		
2 Gesamt	488,978	25			

a. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m

b. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m, BMI

Koeffizienten

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.	95,0% Konfidenzintervalle für B	
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta			Untergrenze	Obergrenze
1 (Konstante)	-3,460	5,156		-,671	,509	-14,101	7,181
1 Sprint_55m	6,907	,686	,899	10,074	,000	5,492	8,322
2 (Konstante)	9,330	7,378		1,265	,219	-5,932	24,592
2 Sprint_55m	6,132	,719	,798	8,524	,000	4,644	7,620
2 BMI	-,331	,146	-,213	-2,269	,033	-,633	-,029

Abhängige Variable: BZ_1000

Zur Aufklärung der Varianz der 1000 m-Laufzeit wurden vom Programm die Variablen „Sprint_55m“, „BMI“ und „Peak Power“ ausgewählt. Die drei Variablen können 84,8% der Varianz der 1000 m-Bestzeit aufklären. Der Standardschätzfehler beträgt 3,87.

Tab. 25: (SPSS) schrittweise Regression, abhängige Variable BZ_1000

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Sprint_55m		Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).
2	BMI		Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).
3	Peak Power		Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,897 ^a	,804	,796	4,4893
2	,915 ^b	,837	,822	4,1843
3	,931 ^c	,866	,848	3,8726

a. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m

b. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m, BMI

c. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m, BMI, Peak Power

Die F-Statistik (ANOVA) belegt einen hoch signifikanten Zusammenhang, so dass davon auszugehen ist, dass auch dieses Modell über die Stichprobe hinaus Gültigkeit besitzt.

Tab. 26: (SPSS) ANOVA der schrittweise Regression, abhängige Variable: BZ_1000

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1 Regression	1981,393	1	1981,393	98,315	,000 ^a
1 Nicht standardisierte Residuen	483,682	24	20,153		
1 Gesamt	2465,075	25			
2 Regression	2062,391	2	1031,196	58,899	,000 ^b
2 Nicht standardisierte Residuen	402,684	23	17,508		
2 Gesamt	2465,075	25			
3 Regression	2135,148	3	711,716	47,458	,000 ^c
3 Nicht standardisierte Residuen	329,927	22	14,997		
3 Gesamt	2465,075	25			

a. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m

b. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m, BMI

c. Einflußvariablen : (Konstante), Sprint_55m, BMI, Peak Power

In Tabelle 27 sind die standardisierten Betakoeffizienten abgebildet. Diese zeigen deutliche Unterschiede in der Höhe. Anzunehmen ist, dass die Wettkampfteilleistung (Zeit über 55,5 m) zu einem höheren Anteil an der Aufklärung der Varianz der 1000 m-Laufzeit beiträgt als der BMI und die dynamische Maximalkraft.

Tab. 27: (SPSS) Koeffizienten der schrittweisen Regression, abhängige Variable: BZ_1000

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	-14,964	11,725		-1,276	,214
	Sprint_55m	15,461	1,559	,897	9,915	,000
2	(Konstante)	12,867	16,937		,760	,455
	Sprint_55m	13,774	1,652	,799	8,340	,000
	BMI	-,721	,335	-,206	-2,151	,042
3	(Konstante)	70,946	30,676		2,313	,030
	Sprint_55m	9,110	2,611	,528	3,489	,002
	BMI	-1,010	,337	-,289	-3,000	,007
	Peak Power	-2,518	1,143	-,297	-2,203	,038

Abhängige Variable: Sprint_55m

Da die Regressionsanalyse eingesetzt wird, um die vertikalen Beziehungen eines Strukturmodells zu prüfen, soll im nächsten Schritt eine regressionsanalytische Prüfung der Wettkampfteilleistung, Start über 55,5 m, erfolgen. Geprüft wird, welche Variablen der untersten Erklärungsebene signifikante Beiträge zur Vorhersage des Parameters auf der nächst höheren Modellebene leisten.

Tab. 28: (SPSS) schrittweise Regression, abhängige Variable Sprint_55m

Modell	Aufgenommene Variablen	Methode
1	Sprint_30m	Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).
2	MRFD_li	Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).
3	PLT_45s	Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).
4	Sprint_5m	Schrittweise Selektion (Kriterien: Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Aufnahme $\leq$,050, Wahrscheinlichkeit von F-Wert für Ausschluß $\geq$,100).

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,890 ^a	,792	,783	,26809
2	,936 ^b	,876	,865	,21172
3	,952 ^c	,906	,893	,18849
4	,961 ^d	,923	,908	,17464

Der Tabelle 28 ist zu entnehmen, dass die vom Programm ausgewählten Variablen, Sprint_30m, MRFD_li, PLT_45s und Sprint_5m beachtliche 90,8% der Wettkampfteilleistung erklären können. Der Standardschätzfehler ist mit nur 0,17 sehr gering. Daraus kann geschlossen werden, dass der Fehler, der bei Verwendung der Regressionsfunktion zur Schätzung der Wettkampfteilleistung gemacht wird, minimal ist. Die F-Statistik, in Tabelle 29 abgebildet, bescheinigt, dass das geschätzte Modell über die Stichprobe hinaus für die Grundgesamtheit Gültigkeit besitzt.

Tab. 29: (SPSS) ANOVA der schrittweise Regression, abhängige Variable: Sprint_55m

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1	Regression	6,564	1	6,564	91,325	,000 ^a
	Nicht standardisierte Residuen	1,725	24	,072		
	Gesamt	8,289	25			
2	Regression	7,258	2	3,629	80,961	,000 ^b
	Nicht standardisierte Residuen	1,031	23	,045		
	Gesamt	8,289	25			
3	Regression	7,507	3	2,502	70,437	,000 ^c
	Nicht standardisierte Residuen	,782	22	,036		
	Gesamt	8,289	25			
4	Regression	7,648	4	1,912	62,692	,000 ^d
	Nicht standardisierte Residuen	,641	21	,031		
	Gesamt	8,289	25			

a. Einflussvariablen : (Konstante), Sprint_30m

b. Einflussvariablen : (Konstante), Sprint_30m, MRFD_li

c. Einflussvariablen : (Konstante), Sprint_30m, MRFD_li, PLT_45s

d. Einflussvariablen : (Konstante), Sprint_30m, MRFD_li, PLT_45s, Sprint_5m

Den größten Einfluss auf die Wettkampfteilleistung, so lassen die standardisierten Betakoeffizienten vermuten, hat die Sprintkraft⁷⁴.

⁷⁴ Nach Letzelter & Letzelter (1983) ist der Sprint auf gerader Strecke über 30 m valide für die Sprintkraft.

Tab. 30: (SPSS) Koeffizienten der schrittweisen Regression, abhängige Variable: Sprint_55m

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		RegressionskoeffizientB	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,629	,721		,873	,391
	Sprint_30m	1,479	,155	,890	9,556	,000
2	(Konstante)	2,240	,701		3,195	,004
	Sprint_30m	1,230	,138	,740	8,929	,000
	MRFD_li	-,002	,001	-,326	-3,935	,001
3	(Konstante)	4,189	,965		4,342	,000
	Sprint_30m	1,046	,141	,629	7,431	,000
	MRFD_li	-,002	,001	-,245	-3,073	,006
	PLT_45s	-,234	,088	-,239	-2,649	,015
4	(Konstante)	3,874	,906		4,277	,000
	Sprint_30m	1,409	,213	,848	6,609	,000
	MRFD_li	-,002	,001	-,218	-2,911	,008
	PLT_45s	-,219	,082	-,223	-2,664	,015
	Sprint_5m	-1,266	,589	-,238	-2,151	,043

7.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse

Die Ergebnisse der schrittweisen Regressionsanalyse zeigen, dass die Variationen der komplexen Wettkampfleistungen (Laufzeiten über 500 und 1000 m) vor allem durch die Wettkampfteilleistung, die Laufzeit über die ersten 55,5 m, erklärt werden können. Zusammen mit dem Body Mass Index können 83% der Variation der 500 m-Laufzeit erklärt werden. Der erklärte Varianzanteil der 1000 m-Laufzeit ist mit 84,8% sogar noch etwas höher, was dadurch bedingt ist, dass ein Teil der Varianz zusätzlich durch die peak power signifikant erklärt werden kann.

Die regressionsanalytische Prüfung der vertikalen Beziehung ergab, dass die Merkmale der Beschleunigungsfähigkeit auf gerader Strecke (Sprint_5m und Sprint_30m), die Explosivkraft und die anaerobe Leistungsfähigkeit signifikante Beiträge zur Vorhersage der Startzeit über 55,5 m leisten. Durch die vier genannten Merkmale können beachtliche 90,8% der Varianz der Wettkampfteilleistung erklärt werden. Somit bleiben nur ca. 9% der Varianz ungeklärt.

7.5 Pfadanalyse

Unabhängig von den Ergebnissen der partiellen Korrelation, der explorativen Faktorenanalyse und der Regressionsanalyse wurde die Pfadanalyse als eigenständiges Analyseverfahren eingesetzt, um die quantitativen Wirkzusammenhänge zwischen den Merkmalen zu bestimmen und um die Modellannahme zu überprüfen⁷⁵.

7.5.1 Vorgehensweise

Im ersten Schritt wurden die vermuteten Zusammenhänge zwischen den Variablen in dem a priori Strukturmodell mit Hilfe von Ursache-Wirkungs-Pfeilen (sog. Pfade) dargestellt. Der Einfluss der Schätzfehler bzw. nicht erklärten Beeinflussungsgrößen wird durch Residualvariablen e sichtbar gemacht. Im zweiten Schritt wurden, da die Pfadanalyse eine vollständige Datenmatrix voraussetzt, fehlende Werte ersetzt. Dafür wurde das Statistikprogramm IBM® SPSS® Statistics 20 genutzt und fehlende Werte mittels der Methode *Lineare Interpolation* geschätzt. Im Anschluss wurden die Daten auf multivariate Normalverteilung geprüft⁷⁶. Unter Verwendung des Statistikprogramms IBM® SPSS® AMOS 20 wurde die Stärke der Effekte berechnet. Die Schätzung der Parameter erfolgte mittels der *Maximum Likelihood-Methode* (siehe Kapitel 6.2.4).

Um beobachtete empirische Zusammenhänge auf Kausalität zu prüfen, wurden die Differenzen zwischen den beobachteten und den reproduzierten Korrelationen

⁷⁵ Für die Pfadanalyse wurde die Datenmatrix herangezogen, die auch für die Korrelationsanalyse im Abschnitt 7.2.1 verwendet wurde. Also die von Ausreißern und Extremwerten bereinigte Datenmatrix.

⁷⁶ Für die Prüfung wurde der multivariate Wölbungskoeffizient (=Mardia-Koeffizient), sowie der C.R.-Wert herangezogen. Sofern der Mardia-Koeffizient signifikant von Null verschieden ist, ist die Annahme einer multivariat normalverteilten Variablen-gesamtheit abzulehnen. Analog dazu sprechen C.R.-Werte > 1,96 bzw. 2,57 auf eine moderate bzw. extreme Verletzung der Multinormalverteilungsannahme hin.

verglichen⁷⁷. Zusätzlich wurden für die Beurteilung des Gesamtmodells (Modell-Fit) die Gütemaße Chi Quadrat (χ^2), Root-Mean-Square of Approximation (RMSEA), CMIN/DF und der Test nach Hoelter herangezogen (siehe Kapitel 6.2.4).

7.5.2 Ergebnisse und Auswertung

Abbildung 50 stellt mit Hilfe von Ursache-Wirkungs-Pfeilen die vermuteten Zusammenhänge zwischen den Variablen in dem a priori Strukturmodell dar. Variablen, die mit einem x gekennzeichnet wurden, stellen unabhängige (sog. exogene) Variablen dar. Abhängige Variablen (sog. endogene bzw. intervenierende) wurden mit einem y gekennzeichnet.

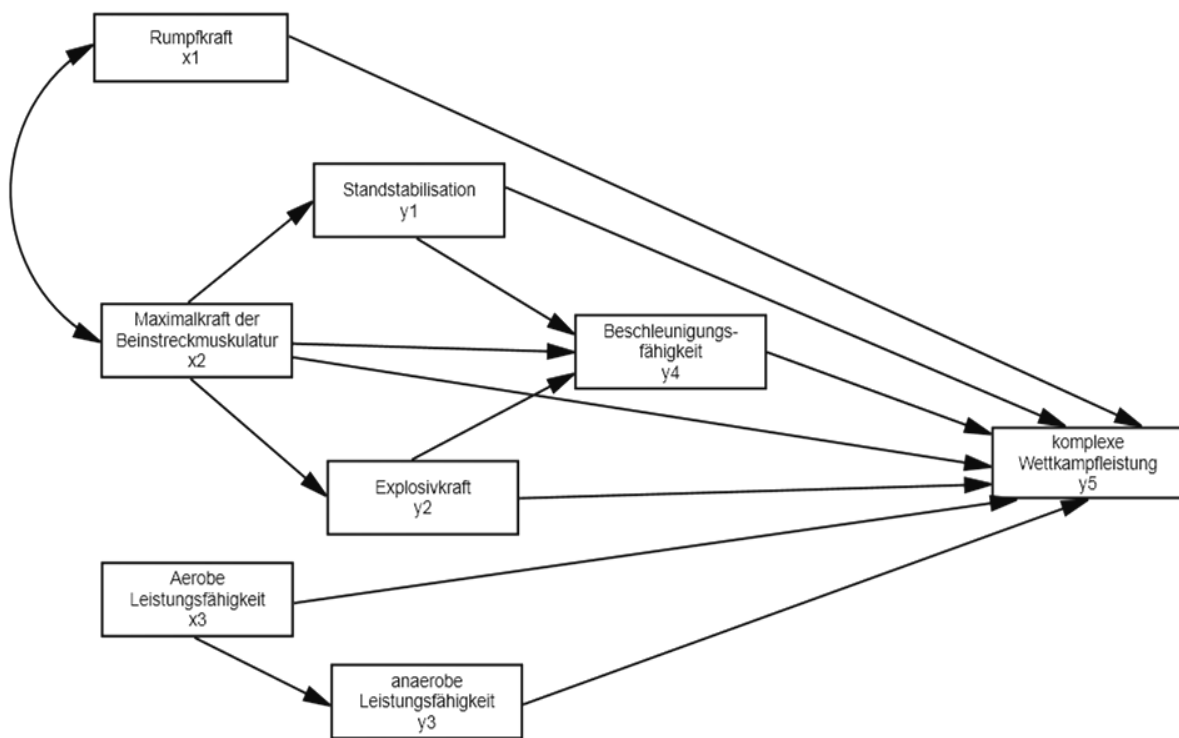


Abb. 50: a priori Strukturmodell

In Abhängigkeit davon, ob die statische oder die dynamische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur berücksichtigt wird und ob der Sprint auf gerader Strecke

⁷⁷ Nach Wright (1934) gilt eine Modellstruktur als widerlegt, wenn die Differenz zwischen den beobachteten und den reproduzierten Korrelationen (Summe aus direktem und indirekten kausalen Effekt) größer als $|0,10|$ ausfällt.

über 30 m oder über eine halbe Runde in die Parameterschätzung einfließt, können zwischen 66 und 84% der Varianz der 500 m-Bestzeit bzw. zwischen 69 und 86% der Varianz der 1000 m-Bestzeit erklärt werden⁷⁸.

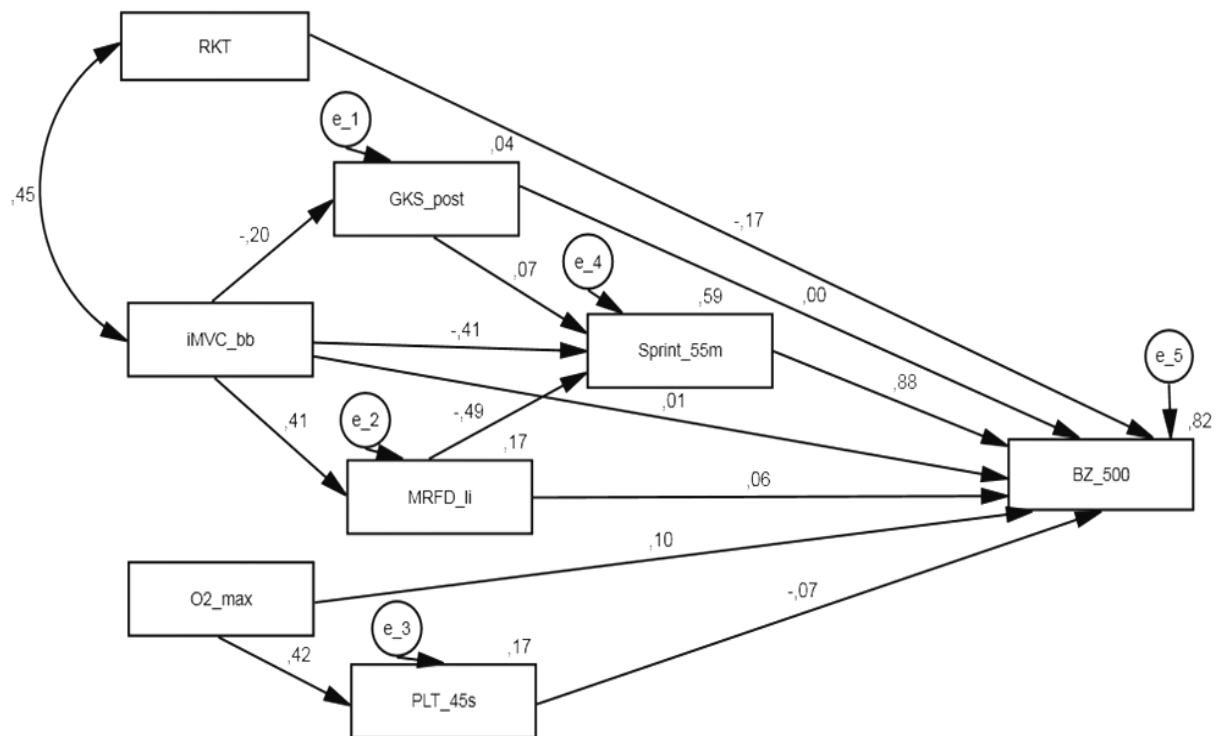


Abb. 51: vollständiges Pfadmodell mit Pfadkoeffizienten

An der Größe der Pfadkoeffizienten β in Abbildung 51 bzw. in Tabelle 31 ist die Stärke des Einflusses einzelner Merkmale ablesbar. Der p-Wert in Tabelle 31 gibt an, ob der Einfluss signifikant ist (signifikante Ergebnisse sind grau hinterlegt).

⁷⁸ Es wurden Schätzungen für je vier verschiedene Modelle berechnet, sowohl für die 500 wie auch für die 1000 m-Bestzeit. Auf Grund der großen Ähnlichkeiten zwischen den Modellen, die die 500 m und die, die 1000 m als Zielgröße beinhalten, werden exemplarisch nur die Ergebnisse der 500 m-Bestzeit abgebildet. Im Text wird wiederum nur ein Modell dargestellt, die anderen drei Modelle für die 500 m-Bestzeit befinden sich im Anhang, Abschnitt F.1.

Tab. 31: Pfadkoeffizienten (β) und Signifikanz (p) für das vollständige Modell

			β	p
MRFD_li	<---	iMVC_bb	,411	,024
GKS_post	<---	iMVC_bb	-,204	,297
Sprint_55m	<---	MRFD_li	-,487	***
Sprint_55m	<---	iMVC_bb	-,412	,004
PLT_45s	<---	O2_max	,415	,022
Sprint_55m	<---	GKS_post	,068	,601
BZ_500	<---	iMVC_bb	,008	,944
BZ_500	<---	MRFD_li	,060	,597
BZ_500	<---	O2_max	,103	,268
BZ_500	<---	Sprint_55m	,882	***
BZ_500	<---	RKT	-,173	,068
BZ_500	<---	PLT_45s	-,069	,459
BZ_500	<---	GKS_post	-,004	,965

Bei allen berechneten Modellen zeigt das Konstrukt Beschleunigungsfähigkeit einen direkten signifikanten Zusammenhang mit der Wettkampfleistung. Das Konstrukt anaerobe Leistungsfähigkeit, welches signifikant von der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit beeinflusst wird, weist nur in einem Modell einen direkten signifikanten Zusammenhang mit der 500 m-Bestzeit auf⁷⁹. Während die Beschleunigungsfähigkeit auf gerader Strecke signifikant nur von der Maximalkraft der Bein-streckmuskulatur beeinflusst wird, weist die Beschleunigungsfähigkeit im Kurven-lauf signifikante Zusammenhänge mit der Maximal- und der Explosivkraft auf. Die Maximalkraft hat zudem einen signifikanten Einfluss auf die Explosivkraft.

Um die beobachteten empirischen Zusammenhänge zwischen den Merkmalen auf Kausalität zu prüfen, wurden im nächsten Schritt die reproduzierten Korrelationen den empirischen Korrelationen, welche in Tabelle 32 abgebildet wurden, gegenübergestellt.

⁷⁹ Bei Berücksichtigung der iMVC_bb und dem Sprint auf gerader Strecke (Sprint_30m) weist das Modell einen direkten signifikanten Zusammenhang zwischen der anaeroben Leistungsfähigkeit und der 500 m-Bestzeit auf ($\beta = -,266$, $p = ,037$).

Tab. 32: Empirische Korrelation zwischen den Variablen der Pfadanalyse

	BZ_500	Sprint_30m	Sprint_55m	Peak Power	PLT_45s	GKS post	RKT	iMVC_bb	MRFD_li	O2_max
BZ_500	1	,755**	,899**	-,750**	-,762**	,278	-,570**	-,584**	-,567**	-,185
Sprint_30m	,755**	1	,891**	-,640**	-,695**	,038	-,328	-,663**	-,575**	-,287
Sprint_55m	,899**	,891**	1	-,778**	-,819**	,239	-,490**	-,650**	-,624**	-,290
Peak Power	-,750**	-,640**	-,778**	1	,758**	-,135	,606**	,585**	,587**	,310
PLT_45s	-,762**	-,695**	-,819**	,758**	1	-,276	,586**	,577**	,566**	,415*
GKS post	,278	,038	,239	-,135	-,276	1	-,377*	-,221	-,204	,137
RKT	-,570**	-,328	-,490**	,606**	,586**	-,377*	1	,451*	,449*	,171
iMVC_bb	-,567**	-,575**	-,624**	,585**	,566**	-,204	,449*	1	,411*	,353*
MRFD_li	-,579**	-,462**	-,667**	,587**	,684**	-,180	,367*	,414*	1	,238
O2_max	-,185	-,287	-,290	,310	,415*	,137	,171	,355*	,353*	1

Mit Hilfe des Statistikprogramms IBM® SPSS® AMOS 20, wurden die direkten (Tabelle 33) und indirekten Effekte (Tabelle 34) berechnet, anschließend aufsummiert und den beobachteten empirischen Korrelationen gegenübergestellt (Tabelle 35).

Tab. 33: Direkte Effekte für das vollständige Pfadmodell in Abbildung 51

	iMVC_bb	O2_max	GKS_post	MRFD_li	PLT_45s	Sprint_55m	RKT
GKS_post	-,204	,000	,000	,000	,000	,000	,000
MRFD_li	,411	,000	,000	,000	,000	,000	,000
PLT_45s	,000	,415	,000	,000	,000	,000	,000
Sprint_55m	-,412	,000	,068	-,487	,000	,000	,000
BZ_500	,008	,103	-,004	,060	-,069	,882	-,173

Tab. 34: Indirekte Effekte für das vollständige Pfadmodell in Abbildung 51

	iMVC_bb	O2_max	GKS_post	MRFD_li	PLT_45s	Sprint_55m	RKT
GKS_post	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
MRFD_li	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
PLT_45s	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Sprint_55m	-,214	,000	,000	,000	,000	,000	,000
BZ_500	-,527	-,029	,060	-,430	,000	,000	,000

Tab. 35: Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das vollständige Pfadmodell in Abbildung 51

Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	 Differenz
iMVC_bb → MRFD_li	,411*	,411	,000
iMVC_bb → GKS_post	-,204	-,204	,000
MRFD_li → Sprint_55m	-,667**	-,487	,180
iMVC_bb → Sprint_55m	-,624**	-,626	,002
O2_max → PLT_45s	,415*	,415	,000
GKS_post → Sprint_55m	,239	,068	,171
iMVC_bb → BZ_500	-,567**	-,519	,048
MRFD_li → BZ_500	-,579**	-,370	,209
O2_max → BZ_500	-,185	,074	,259
Sprint_55m → BZ_500	,899**	,882	,017
RKT → BZ_500	-,570**	-,173	,397
PLT_45s → BZ_500	-,762**	-,069	,693
GKS_post → BZ_500	,278	,056	,222

Die summarische Zerlegung der beobachteten Korrelationen in Tabelle 35 zeigt, dass der hoch signifikante Einfluss der Beschleunigungsfähigkeit auf die Bestzeit kausal begründbar ist. Im Gegensatz dazu sind die beobachteten signifikanten Zusammenhänge der Rumpfkraft (RKT), der Explosivkraft (MRFD_li) und der anaeroben Leistungsfähigkeit (PLT_45s) mit der Bestzeit auf Scheineffekte zurückzuführen. Lediglich in den Modellen, wo für die Beschleunigungsfähigkeit die Variable Sprint_55m in die Parameterschätzung einfließt, weist auch die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur (iMVC_bb und Peak Power) kausal begründbare signifikante Zusammenhänge mit der Wettkampfleistung auf.

Kausal begründbar sind zudem die signifikanten Zusammenhänge der iMVC_bb mit der Explosivkraft und der Beschleunigungsfähigkeit. Der signifikante Einfluss der Explosivkraft auf die Beschleunigungsfähigkeit ist hingegen auf einen Scheineffekt zurückzuführen. Die kausalen Effekte der Explosivkraft auf die Beschleunigungsfähigkeit sind zwar wesentlich höher als die Scheineffekte, trotzdem liegt die Differenz zwischen beobachteten und reproduzierten Zusammenhang über dem kritischen Wert von |0,10|. Der signifikante Zusammenhang zwischen aerober und anaerober Leistungsfähigkeit ist kausal begründbar.

Ausgehend von der Forderung von Wright (1934), wonach eine Modellstruktur als widerlegt gilt, wenn die Differenz zwischen den beobachteten und den reprodu-

zierten Korrelationen größer als $|0,10|$ ausfällt, zeigen auch die Gütekriterien, dass die Nullhypothese ($H_0: S = \Sigma$) für dieses Modell abzulehnen ist. Das Probability level wurde in allen Modellen mit $p = 0,000$ ausgewiesen, was bedeutet, dass die Ablehnung mit einer Wahrscheinlichkeit von 0% ein Fehler ist. Auch das Verhältnis zwischen Chi-Quadrat und den Freiheitsgraden liegt bei ca. $CMIN/DF = 3$, was als grenzwertig zu betrachten ist (Homburg & Baumgartner, 1995; Hu & Bentler, 1999; Schermelleh-Engel & Moosbrugger, 2002). Der RMSEA-Wert ist in allen Modellen größer als 0,10, was für einen inakzeptablen Modell-Fit spricht. Und der Stichprobenumfang mit $N = 26$ liegt deutlich über dem kritischen Stichprobenumfang von $N_{kSP} = 18$.

Alternatives Strukturmodell

Ausgehend von den bisherigen Ergebnissen wurde ein alternatives Strukturmodell erstellt, bei dem ausschließlich die Wettkampfteilleistung, Sprint über eine halbe Runde, einen direkten Effekt auf die Wettkampfleistung besitzt. Da diese Wettkampfteilleistung schon eine recht komplexe Leistung darstellt ist es von großer Bedeutung zu wissen, welche Fähigkeiten diese Teilleistung bedingen.

Die Ergebnisse der Pfadanalyse für das vollständige Modell und die empirische Korrelationsmatrix haben gezeigt, dass die Standstabilisation keinen signifikanten Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung hat. Da die Standstabilisation auch nicht mit anderen Merkmalen signifikant korreliert, wird dieses Konstrukt im Alternativmodell nicht berücksichtigt. Der vermutete Einfluss der Rumpfkraft auf die Wettkampfleistung wurde nicht bestätigt, hier liegt eine Scheinkorrelation vor. Somit bleibt auch dieses Konstrukt unberücksichtigt. Die Variable PLT_45s, die als Merkmal für die anaerobe Leistungsfähigkeit berücksichtigt wurde, zeigt in der Korrelationsmatrix hoch signifikante Zusammenhänge zu den Bestzeiten ($r_{500} = -0,795$, $r_{1000} = -0,728$). Die Ergebnisse der Pfadanalyse zeigen deutlich, dass es sich bei diesen Zusammenhängen um Scheinkorrelationen handelt. Da der PLT ein Fahrradergometertest ist, bei dem die Athleten von Anfang bis Ende im isokinetischen Betriebsmodus mit maximalem Einsatz fahren, ist davon auszugehen, dass die erbrachte Leistung stark von der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur abhängt. Die Korrelationsmatrix weist für die Variable PLT_45s sehr hohe Zusammenhänge mit der iMVC ($r = 0,577$) und der peak power ($r = 0,872$)

auf. Somit ist davon auszugehen, dass der beobachtete Zusammenhang zwischen PLT_45s und Wettkampfleistung auf einen Drittvariableneffekt, hervorgerufen durch die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, beruht. Aus diesem Grund bleibt auch die anaerobe Leistungsfähigkeit im Alternativmodell unberücksichtigt.

Die bisherigen Ergebnisse sprechen dafür, dass die Maximalkraft einen kausal begründbaren signifikanten Zusammenhang mit der Beschleunigungsfähigkeit besitzt und ebenso die Explosivkraft signifikant beeinflusst. Da die Explosivkraft kausal begründbare Zusammenhänge nur im Kurvenlauf aufweist, soll hier der direkte Pfad zur Wettkampfteilleistung gehen. Nach Kwon et al. (1997) stellt der Start hohe Anforderungen an die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur. Da der Start beim Short Track mittig auf der Geraden erfolgt, soll die Startfähigkeit auf der Geraden mit in das Modell einfließen. Zusammenfassend ergibt sich daraus das in Abbildung 52 dargestellte Strukturmodell.

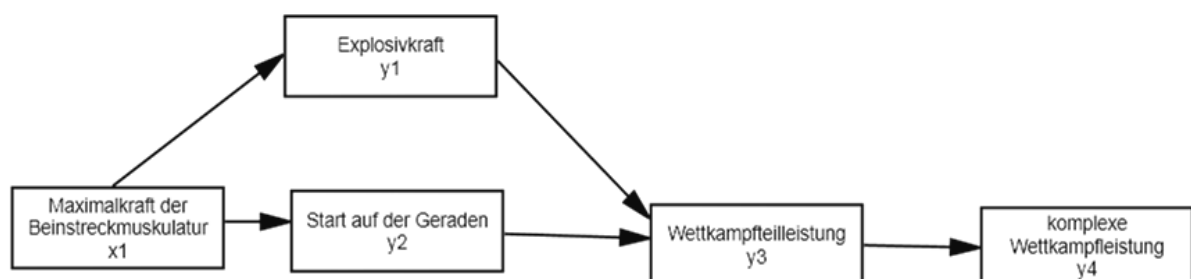


Abb. 52: Alternatives Strukturmodell

Der Abbildung 53 ist zu entnehmen, dass allein auf Grundlage der Startzeit über 55,5 m 79% der Varianz der 500 m-Bestzeit erklärt werden können. Mit kürzerer Startzeit verbessert sich die 500 m-Laufzeit hoch signifikant (Tabelle 36). Die Wettkampfteilleistung wird hoch signifikant von der Startzeit über 30 m und der Explosivkraft beeinflusst. Beide Merkmale zusammen können 86% der Varianz der Wettkampfteilleistung erklären. Die Maximalkraft besitzt hoch signifikante Einflüsse auf die Explosivkraft und den Start auf der Geraden.

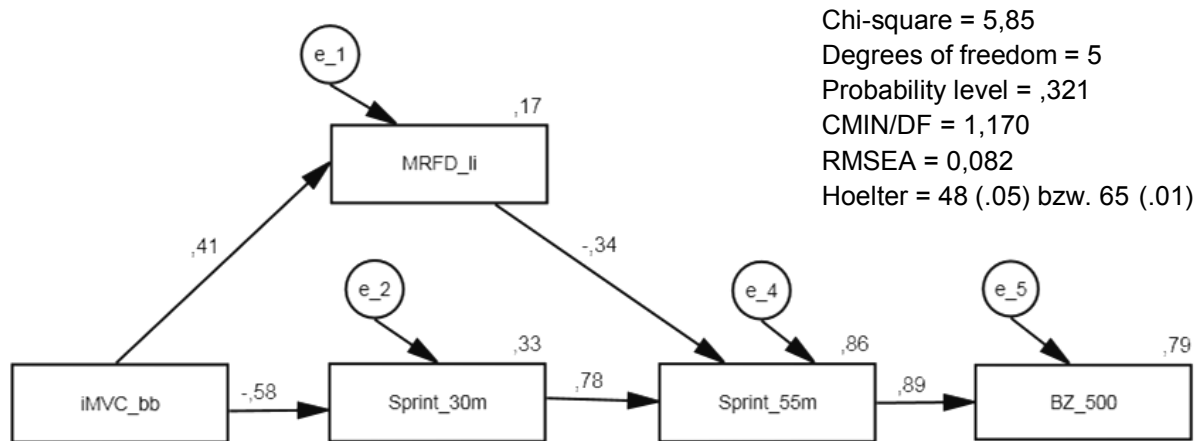


Abb. 53: Alternatives Pfadmodell mit Pfadkoeffizienten und Gütekriterien

Tab. 36: Pfadkoeffizienten (β) und Signifikanzwerte (p) für das Alternativmodell

			β	P
MRFD_li	<---	iMVC_bb	,411	,024
Sprint_30m	<---	iMVC_bb	-,575	***
Sprint_55m	<---	Sprint_30m	,784	***
Sprint_55m	<---	MRFD_li	-,344	***
BZ_500	<---	Sprint_55m	,889	***

Für die Überprüfung, ob die beobachtbaren Zusammenhänge kausal begründbar sind, und ob das Alternativmodell Gültigkeit besitzt, wurden zum einen die beobachteten Zusammenhänge den reproduzierten Korrelationen gegenübergestellt (Tabelle 37) und zum anderen wurden die Gütekriterien (Abbildung 53) zur Beurteilung herangezogen.

Die summarische Zerlegung der beobachteten Korrelationen in Tabelle 37 zeigt, dass mit Ausnahme der Zusammenhänge der Explosivkraft mit der Wettkampfteil- und mit der Wettkampfleistung alle anderen Zusammenhänge kausal begründbar sind. Zwar weist auch die Differenz zwischen beobachteten und reproduzierten Zusammenhang zwischen dem Sprint auf gerader Strecke und der Wettkampfteil- leistung mit 0,107 einen Wert $> |0,1|$ auf, jedoch ist diese minimale Abweichung tolerierbar. Zudem sind die kausalen Effekte um ein Vielfaches höher.

Tab. 37: Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das alternative Pfadmodell in Abbildung 53

Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	Differenz
iMVC_bb → Sprint_30m	-,575**	-,575	,000
iMVC_bb → MRFD_li	,411**	,411	,000
iMVC_bb → Sprint_55m	-,624**	-,592	,032
Sprint_30m → Sprint_55m	,891**	,784	,107
MRFD_li → Sprint_55m	-,667**	-,344	,323
iMVC_bb → BZ_500	-,567**	-,527	,040
MRFD_li → BZ_500	-,579**	-,306	,273
Sprint_30m → BZ_500	,755**	,697	,058
Sprint_55m → BZ_500	,899**	,889	,010

Die Gütekriterien weisen mit $CMIN/DF = 1,17$ und $RMSEA = 0,082$ auf einen akzeptablen Modell-Fit hin. Nach Hoelter liegen die minimalen Stichprobengrößen für die beiden verwendeten Irrtumswahrscheinlichkeiten von 1% und 5% deutlich oberhalb der tatsächlichen Stichprobengröße von $N = 26$. Auch die zum errechneten Chi Quadratwert ausgegebene Wahrscheinlichkeit p bestätigt, dass die Ablehnung der Nullhypothese eine Fehlentscheidung darstellt. Das Modell wird somit durch alle zur Beurteilung herangezogenen Gütekriterien bestätigt⁸⁰.

7.5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Pfadanalyse

Unabhängig von der Streckenlänge hat der Start einen wesentlichen Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung. Allein anhand der Zeit für die erste halbe Runde über 55,5 m können ca. 80% der Varianz der Bestzeiten erklärt werden. Die Ergebnisse der Pfadanalyse belegen, dass die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur einen signifikanten Einfluss auf den Start hat, speziell auf der Geraden. Der beobachtbare Einfluss der Explosivkraft auf die Wettkampfteilleistung kann nur zur Hälfte kausal begründet werden. Die Scheineffekte werden vermutlich durch die iMVC hervorgerufen, welche einen signifikanten Einfluss auf die Explosivkraft ausübt.

⁸⁰ Bei den Modellen, in denen die dynamische Maximalkraft (peak power) für die Parameterschätzungen berücksichtigt wurde, fällt der Modell-Fit insgesamt schlechter aus. Die RMSEA- und die Chi-Quadrat-Werte weisen auf einen inakzeptablen Modell-Fit hin. Demgegenüber sprechen die Ergebnisse des Tests nach Hoelter und der $CMIN/DF$ für einen insgesamt guten Modell-Fit (Ergebnisse siehe Anhang, Abschnitt F).

Die beobachteten signifikanten Zusammenhänge zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und Laufzeit, sowie zwischen Rumpfkraft und Laufzeit stellten sich ebenfalls als Scheinkorrelationen heraus, zurückzuführen auf einen Drittvariableneffekt, welcher durch die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, verursacht wird.

Im Alternativmodell, für welches die Gütekriterien Chi-Quadrat, CMIN/DF, RMSEA und Test nach Hoelter, einen guten Modell-Fit ausweisen, wurde lediglich der Pfad von der Explosivkraft zur Wettkampfteilleistung widerlegt. Somit kann die Zusammenhangsstruktur der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale wie folgt grafisch dargestellt werden:

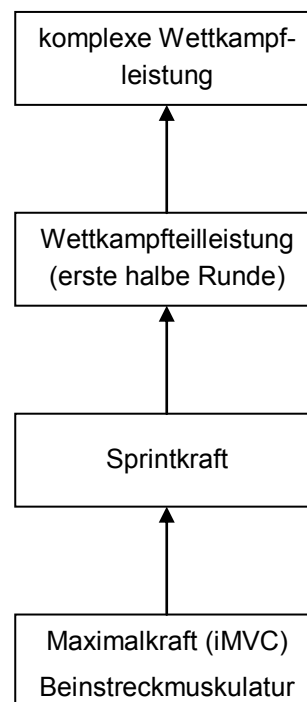


Abb. 54: Zusammenhangsstruktur der empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale auf Grundlage der Ergebnisse der Pfadanalyse

8. Auswertung und Diskussion

8.1 Datenerhebung und -verarbeitung

In diesem Abschnitt wird die Stichprobe, deren Leistungsergebnisse die Grundlage dieser Arbeit bilden, hinsichtlich des Einflusses auf die Ergebnisse dieser Studie beurteilt. Desweiteren werden der Einsatz der Test- und Kontrollverfahren sowie der Ablauf der Modellierung bewertet und Anregungen für zukünftige Untersuchungen gegeben.

8.1.1 Stichprobengröße

Zum Zeitpunkt der empirischen Untersuchung gab es in Deutschland sieben Vereine⁸¹, die Short Track wettkampfmäßig betrieben. Insgesamt starteten in der Saison 2008/09 von der Altersklasse D-Junioren bis einschließlich Senioren 103 deutsche Athleten auf nationaler Ebene. Von dieser kleinen Grundgesamtheit sollten insgesamt 40 Athleten, jeweils die Besten der Altersklassen D-Junioren bis Senioren, an der Leistungsdiagnostik teilnehmen⁸². Unmittelbar vor Durchführung der Leistungsdiagnostik kam es zu Änderungen im Trainingsplan der Nationalmannschaft. Da es sich bei der nachfolgenden Saison (2009/2010) um eine olympische Saison handelte, sollte der Trainingsbetrieb früher als in den Jahren zuvor wieder aufgenommen werden. Infolgedessen sah der neu erstellte Trainingsplan im Untersuchungszeitraum (März/April 2009) für die Mehrzahl der Nationalmannschaftsmitglieder eine Regenerationspause vor. Dies hatte zur Folge, dass ein Drittel der geplanten Studienteilnehmer für die Leistungsdiagnostik ausfiel.

Unter Berücksichtigung, dass speziell im Leistungs- und Spitzensport die Anzahl geeigneter Probanden begrenzt ist, ist ein Stichprobenumfang in der Größenordnung $N = 26$ keine Seltenheit und in diesem Fall, wo der Stichprobenumfang ein Viertel der Grundgesamtheit entspricht, sogar als gut einzustufen. Allerdings ist zu

⁸¹ EC Oberstdorf, EHC Klostersee Grafting, ESV Turbine Rostock, Eislauf-Verein Dresden, Mannheimer ERC, Olympia Mainz und SLIC München

⁸² Siehe Forschungsantrag an das BISp mit dem Aktenzeichen 070501/09.

berücksichtigen, dass durch geringe Stichprobenumfänge die Gefahr erhöht wird, einen Fehler 2. Art⁸³ (β -Fehler) zu begehen, zumindest dann, wenn man die Irrtumswahrscheinlichkeit möglichst klein halten möchte. Zwischen kleiner Irrtumswahrscheinlichkeit α und großer Testgüte (power) $1 - \beta$ musste also ein Kompromiss geschlossen werden. Auch wenn die entstehenden Folgen bzw. Konsequenzen bei einem Fehler 2. Art nicht so kritisch sind, wie die des α -Fehlers, fiel die Entscheidung auf eine „mittlere“ Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$. Dies wird damit begründet, dass sich bei dieser sportwissenschaftlichen Fragestellung keine gravierenden Konsequenzen, wie es beispielsweise bei medizinischen Studien oftmals der Fall ist, ergeben.

8.1.2 Homogenität der Stichprobe

In Bezug auf das Alter, die Körpergröße, das Gewicht und das Geschlecht ist die Stichprobe beträchtlich inhomogen. Das Einzige was alle Athleten verbindet ist, dass sie 2008/2009 national jeweils zu den besten Short Track Athleten ihrer Altersklasse gehörten.

Die umfangreiche Leistungsdiagnostik wurde an zehn weiblichen und 16 männlichen Athleten im Alter von 12 bis 28 Jahren ($\bar{x} = 17,5 \pm 4$) durchgeführt. Die Athleten befanden sich somit vor, in und nach der Pubertät, so dass von stark unterschiedlichen körperlichen Reifungsgraden auszugehen war. Dies kann sich auf die verschiedensten physiologischen Parameter auswirken und sich in den Ergebnissen widerspiegeln (vgl. Brusis, 2004). Da der leichteste Athlet zum Zeitpunkt der Untersuchung 31 kg wog und der Schwerste 92 kg ($\bar{x} = 61,4 \pm 14,3$ kg), wurden die erbrachten Leistungen, soweit möglich (Kraft- und Leistungsparameter), durch Bezug auf das Körpergewicht relativiert.

⁸³ Bei einem Fehler 2. Art ist der Hypothesentest nicht in der Lage, einen real existierenden Effekt nachzuweisen. Somit wird fälschlicherweise die Nullhypothese beibehalten (Stahel, 2000; Pospeschill, 2006). Die Folge ist, dass ein leistungsbestimmender Faktor als nicht leistungsrelevant interpretiert wird.

Da das Ziel dieser Arbeit die Darstellung des Bedingungsgefüges leistungsbestimmender konditioneller Faktoren war und nicht die quantitative Beurteilung der einzelnen Merkmale, war davon auszugehen, dass sich die Leistungsunterschiede zwischen einzelnen Athleten nicht zwingend negativ auf die Ergebnisse auswirken. Allerdings galt es zu berücksichtigen, dass Bruhn und Felser (2011) in ihrer Arbeit zu konditionellen leistungsbestimmenden Faktoren im Short Track im Bezug auf ihre Wichtigkeit im Altersgang, Unterschiede in der Leistungsstruktur zwischen D-Junioren und Senioren aufzeigen. Aus diesem Grund schien es ratsam, empirisch beobachtbare Zusammenhänge zwischen zwei Merkmalen auf Scheinkorrelation, bedingt durch das Alter, zu überprüfen.

Zur Überprüfung der Existenz eines Drittvariableneffektes wurde die partielle Korrelation eingesetzt. Das wesentliche Ziel dieser Überprüfung war die Frage nach der Interpretierbarkeit der beobachteten Zusammenhänge zwischen zwei Merkmalen im Hinblick auf Kausalität. Denn auch wenn ein Wirkungszusammenhang zwischen zwei Merkmalen theoretisch bzw. sachlogisch zu erklären ist, kann eine signifikante Korrelation nach Weiber et al. (2010) nur kausal begründet werden, wenn der statistische Zusammenhang bei Kontrolle möglicher Drittvariableneffekte bestehen bleibt.

8.1.3 Differenzierte Betrachtung der verwendeten Testverfahren

Wie schon im Kapitel 5.3 kritisch angemerkt, stellen die in dieser Studie eingesetzten Test- und Kontrollverfahren zur Quantifizierung der konditionellen Fähigkeiten zum Teil komplex determinierte Tests dar. Im Gegensatz zu den einfach determinierten Tests zur Bestimmung der iMVC, der MRFD und der Standstabilisation, sind vor allem die durchgeführten Messungen auf dem Eis zur Bestimmung der Beschleunigungsfähigkeit und die Tests auf dem Fahrradergometer komplex determiniert. Ein daraus resultierendes Problem ist, dass sich bei den komplexen sportmotorischen Tests vorhandene Fähigkeiten untereinander kompensieren können. In diesem Fall kann dann nicht eindeutig geklärt werden, wie viel die einzelne Komponente zum Resultat beiträgt.

8.1.3.1 Sportartspezifische Test- und Kontrollverfahren

Bei den sportartspezifischen Messungen auf dem Eis ist aufgrund der Altersspanne der Studienteilnehmer und der unterschiedlichen Zeitdauer der Sportartausübung von einer stark divergierenden Technikausführung (Koordination) auszugehen. Da hinsichtlich der Beurteilung der Technik keine Untersuchungen durchgeführt wurden, konnten beobachtete Zusammenhänge nicht auf die Einflussstärke der Technik überprüft werden.

8.1.3.2 Validität der Ergometertests

Brusis (2004) diskutiert in seiner Dissertationsschrift sehr ausführlich die unterschiedliche koordinative Beanspruchung beim Radfahren und Eisschnelllaufen. Der Autor spricht beim Radfahren von einer geführten, dynamischen, sinusoiden Bewegungsform, im Gegensatz zu der kombinierten dynamischen und statischen Bewegung beim Short Track. Aus diesem Grund ist bei beiden Bewegungsformen von einer unterschiedlichen Beanspruchung des Organismus auszugehen. Da die untersuchten Short Track Athleten speziell zur Schulung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit häufig das Radfahren nutzen, kann davon ausgegangen werden, dass die Einflüsse der koordinativen Fähigkeiten auf die Leistung (Leistung an der IAAS_D, peak power, 45 s-Leistung beim PLT) gering sind.

Die durchschnittliche 45 s-Leistung beim PLT wurde zur Quantifizierung der anaeroben Leistungsfähigkeit eingesetzt. Die Ergebnisse der partiellen Korrelation haben allerdings gezeigt, dass ca. ein Drittel der Varianz der durchschnittlichen 45 s-Leistung von der iMVC der Beinstreckmuskulatur erklärt werden. Dies ist im Gegensatz zu den 18%, wie sie Stapelfeldt (2001) bei Radsportlern ermittelte, ein unerwartet hoher Anteil. Da die ermittelte 45 s-Leistung zu einem hohen Prozentsatz nicht wie erwartet durch die anaerobe-laktazide und -alaktazide Ausdauer geprägt wird, gibt es bei diesem Test hinsichtlich der Validität Einschränkungen. Fraglich ist somit, welches Konstrukt dieser Test wirklich abschätzt.

8.1.3.3 Test zur Beurteilung der Standstabilisation

Bei den Messungen zur Quantifizierung der Standstabilisation muss, wie schon bei der Methodenkritik angeführt, kritisch angemerkt werden, dass durch die Applizierung der Perturbation an der Unterstützungsfläche bei aufrechtem Stand ledig-

lich die statische posturale Kontrolle analysiert werden konnte. Da die Short Track Athleten während des Eislaufens sich mit schmalen Kufen auf festem Boden fortbewegen, gibt diese Testanordnung nicht die Verhältnisse wieder, wie sie auf dem Eis sind.

8.1.3.4 Einfluss volitiver Eigenschaften

Da ein Großteil der durchgeführten Tests die Motivation zur Ausbelastung der Athleten voraussetzte, waren die erbrachten Leistungen u.a. auch von volitiven Eigenschaften abhängig (Weineck, 2002; de Marées, 2003). Mittels Bestimmung der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Blutlaktatwerte wurde die kardiale und metabolische Ausbelastung beurteilt. Die ausgewerteten Daten deuten darauf hin, dass beim PLT und bei den Läufen über die Einzelwertungs-Wettkampfstrecken bei allen Athleten eine kardiale⁸⁴ und/oder metabolische Ausbelastung vorlag. Dabei zeigen die Mittelwerte der höchsten Laktatwerte die in Kapitel 4.3 diskutierte Abhängigkeit vom Alter⁸⁵. Dies ist damit zu begründen, dass bei Kindern und Jugendlichen eine geringere Ausreifung des anaeroben Systems analog zur noch nicht ausgereiften Skelettmuskulatur vorliegt (Graf et al., 2002a; Graf et al., 2002b).

8.1.3.5 Schlussfolgerungen und Anregungen für weitere Untersuchungen

Bei allen eingesetzten Testverfahren⁸⁶, die sowohl Kraft-, Schnelligkeits- und Ausdauerqualifikationen wie auch die Gleichgewichtsfähigkeit abdecken, kann hinsichtlich der Gütekriterien von einer guten Objektivität und hohen Reliabilität ausgegangen werden. Bezüglich der Validität gibt es Einschränkungen hinsichtlich

⁸⁴ Die maximalen Herzfrequenzen lagen bei den 500 m-Läufen zwischen 173 und 198 S/min, bei den 1000 m-Läufen zwischen 173 und 204 S/min und bei den 1500 m-Läufen zwischen 180 und 202 S/min.

⁸⁵ Der durchschnittliche maximale Laktatwert bei den D-Junioren betrug 13,4 mmol/l, bei den C/B-Junioren 15,1 mmol/l und bei den A-Junioren/Senioren 17,2 mmol/l.

⁸⁶ Die sportmethodische und sportphysiologische Konditionsdiagnostik erstreckte sich auf insgesamt 22 Einzeltests (30 m Start auf der Geraden, Sprint über eine halbe Runde, 3 Läufe über die Einzel-Wertungs-Wettkampfstrecken in Abhängigkeit von der Altersklasse, 8 Test zur Beurteilung der Standstabilisation, Maximal- und Explosivkraftmessungen am BKM bilateral, links und rechts, 4 Rumpfkrafttests, der PLT und der Stufentest).

des Tests zur Beurteilung der anaeroben Leistungsfähigkeit. Letzelter & Letzelter (1983) merken an, dass bei physiologischen Ausdauer Tests nur Parameter der aeroben Kapazität erfasst werden und die bedeutende anaerobe nicht berücksichtigt wird. Dieses Manko kann durch andere Messverfahren wie z. B. Ausdauerindizes und Teilzeitenvergleiche nur teilweise ausgeglichen werden. Da auch die Testgröße maximale Laktatkonzentration keine valide Aussage in Hinblick auf die anaerobe (laktazide) Kapazität zulässt (Böning, 1994; Wilmore et al., 2008), sollte überlegt werden, in nachfolgenden Untersuchungen Verfahren zu nutzen, die die benötigten Substrate für die Stoffwechselprozesse direkt in der Muskelzelle bestimmen können.

Desweiteren ist es empfehlenswert, die Konstrukte, für die in dieser Studie kein empirisch-signifikanter Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung bzw. Teilleistung (Start über 55,5 m) nachgewiesen werden konnte, speziell die anaerobe Leistungsfähigkeit und die Rumpfkraft, nochmals gesondert zu untersuchen. Es ist nicht auszuschließen, dass die verwendeten Testverfahren ungeeignet waren, um die Nullhypothese abzulehnen. Bei nachfolgenden Untersuchungen sollte deshalb auf andere Testverfahren zurückgegriffen und die Untersuchungen an homogenen und ausreichend großen Stichproben vorgenommen werden.

8.1.4 Datenverarbeitung

8.1.4.1 Datenaufbereitung

Insgesamt sieben Konstrukte wurden hinsichtlich ihres Einflusses auf die komplexe Wettkampfleistung beim Short Track untersucht. Zur Quantifizierung der einzelnen Konstrukte inklusive der komplexen Wettkampfleistung wurden insgesamt 28 Merkmale (Indikatoren) erhoben. Von diesen 28 Merkmalen wurden 18 statistisch ausgewertet. Die Differenz zwischen den erhobenen und in die Statistik aufgenommenen Merkmalen ergibt sich u. a. durch Zusammenfassung einzelner Merkmale, wie z. B. Addition der Haltezeiten der vier durchgeführten Rumpfkrafttests zu einem Merkmal. Zudem wurden aufgrund der unterschiedlichen Einzelwertungs-Wettkampfstrecken in Abhängigkeit von der Altersklasse nur die Bestzeiten über die 500- und die 1000 m-Distanz berücksichtigt. Von den zusätzlich zu den sieben Konstrukten erhobenen anthropometrischen Merkmalen wurde das

Körpergewicht lediglich zur Relativierung einzelner Merkmale sowie zur Berechnung des Body-Mass-Indexes verwendet. Der BMI wurde als 19. und das Alter als 20. Variable in die statistische Analyse aufgenommen.

Bei 20 Merkmalen und einem Stichprobenumfang von $N = 26$ ergibt sich für die Datenmatrix eine Anzahl von 520 Werten. Aufgrund von krankheitsbedingten Ausfällen der Athleten belief sich die Anzahl der fehlenden Werte auf acht. Dies macht einen Anteil von 1,5% aus. Da es sich hierbei um sehr wenige zufällige und nicht systematische fehlende Werte handelt, sog. „Missing completely at random“ (MCAR), ist nach Weiber und Mühlhaus (2010) eine systematische Verzerrung auszuschließen.

Um Verzerrungen der statistischen Resultate aufgrund von Ausreißern und Extremwerten zu vermeiden, wurden diese aus den Datensätzen entfernt. Insgesamt belief sich die Anzahl der Ausreißer und Extremwerte auf 13.

8.1.4.2 Behandlung fehlender Werte

Bei der Korrelations- und Faktorenanalyse wurde zur Behandlung fehlender Werte die Methode des paarweisen Fallausschlusses gewählt. Bei dieser Methode werden alle gültigen Fälle der in die Berechnung eingehenden Variablen ausgewertet, wobei die Verteilungscharakteristika der gültigen Werte übernommen werden. Nach Wirtz (2004) besteht ein Nachteil dieser Methode darin, dass die Statistiken auf unterschiedliche Stichprobengrößen (N) basieren, was in diesem Fall aber keine entscheidenden Folgen hat. Die Anzahl der fehlenden Werte belief sich bei der Korrelationsanalyse auf 21, was 4% entspricht. Bei der EFA wurden 14 der 20 Variablen berücksichtigt, die insgesamt 19 fehlende Werte (5,2%) enthielten.

Die Datenmatrix für die Regressionsanalyse enthielt insgesamt 12 Variablen. Da bei der Regressionsanalyse nicht entdeckte Nichtlinearität zu Verzerrungen der Schätzwerte der Parameter führt (Backhaus et al., 2008; Bortz & Schuster, 2010), wurden die Residuen auf Normalverteilung geprüft. Durch die Eliminierung der Fälle, deren Residuen nicht ± 2 Standardabweichungen um den Nullpunkt lagen, betrug die Anzahl fehlender Werte 25 (Regressionsanalyse der 500 m-Bestzeit) bzw. 23 (Regressionsanalyse der 1000 m-Bestzeit), was 8% bzw. 7,4% entspricht.

Zur Behandlung der fehlenden Werte wurde die Methode *durch Mittelwert ersetzen* gewählt. Die Datenmatrix bei der Pfadanalyse umfasste elf Variablen, welche zehn fehlende Werte aufwies (3,5%). Da die Pfadanalyse eine vollständige Datenmatrix voraussetzt, wurden fehlende Werte im Statistikprogramm IBM® SPSS® Statistics 20 mittels der Methode *lineare Interpolation* ersetzt.

Auch wenn in der Literatur von der Mittelwertersetzung aufgrund ihrer Nachteile, wie z. B. Verzerrung der wahren Verteilung, Unterschätzung der wahren Varianz und der wahren Zusammenhänge abgeraten wird, (Müller, 2002; Wirtz, 2004) kann aufgrund der sehr geringen Anzahl fehlender Werte in dieser Studie davon ausgegangen werden, dass die Datenstruktur trotz Mittelwertersetzung erhalten wurde und die Parameterschätzungen keine bedeutungsvollen Verzerrungen aufweisen.

8.1.4.3 Vorgang und Ergebnisse der Modellierung

Um eine weitere Prämisse für die verwendeten Analyseverfahren zu erfüllen, wurden die Zusammenhänge auf Linearität überprüft. Dafür wurden Streudiagramme visuell betrachtet und im Rahmen der Regressionsanalyse ein Test auf Normalverteilung der Residuen durchgeführt. Residuen die nicht ± 2 Standardabweichungen um den Nullpunkt lagen, wurden eliminiert.

Für die Pearson-Korrelation waren die notwendigen Voraussetzungen (keine Ausreißer, annähernde Normalverteilung der Daten und Linearität) erfüllt. Um aus den Ergebnissen der Korrelationsanalyse Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit ziehen zu können, wurde getestet, ob die ermittelten Korrelationskoeffizienten signifikant sind. Um die Gefahr, einen Alpha-Fehler zu begehen, klein zu halten, wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$ gewählt. Auf die komplexe Wettkampfleistung bezogen zeigten fünf der sieben Konstrukte und der BMI signifikante Zusammenhänge. Lediglich die Standstabilisation und die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit zeigten keine empirisch-signifikanten Zusammenhänge mit den Bestzeiten. Bei Betrachtung der Korrelationskoeffizienten fiel auf, dass zwischen den einzelnen Variablen zahlreiche, teilweise sehr starke, Zusammenhänge bestehen.

Um eine Strukturierung (interne Ordnung) der Variablen vorzunehmen und die Variablen zusammenzufassen, die untereinander in Beziehung stehen, wurde die explorative Faktorenanalyse eingesetzt. Aus den Ergebnissen der EFA ist abzuleiten, dass die komplexe Wettkampfleistung, bei der vorliegenden Datenlage, durch vier Merkmalsgruppen erklärt werden kann. Allein die ersten beiden Faktoren können zusammen 82,6% der Varianz der 500 m-Bestzeit erklären (80% der Varianz der 1000 m-Bestzeit). Die ersten beiden Faktoren stehen, da der erste Faktor ein Generalfaktor ist, für drei Fähigkeiten, diese sind die Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur, die anaerobe Leistungsfähigkeit und die Sprintkraft. Die Standstabilisation, die hohe Ladungen auf dem dritten Faktor besitzt, trägt nur zu 3 bzw. 5% und die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit auf Faktor vier ladend nur zu 3 bzw. 2% zur Aufklärung der komplexen Wettkampfleistung bei.

Da aus der Vielzahl der Variablen nur vier Faktoren extrahiert wurden, war zu schlussfolgern, dass einzelne Variablen mehrere andere Variablen beeinflussen. Dies war ein Hinweis darauf, dass einzelne Variablen nur aufgrund einer Drittvariablen miteinander korrelieren. Um Korrelationen nicht fehlerhaft kausal zu interpretieren, musste folglich überprüft werden, ob Zusammenhänge zwischen zwei Variablen allein auf den Einfluss einer Drittvariablen zurückzuführen sind. Für diese Überprüfung wurde die partielle Korrelation eingesetzt.

Der Einsatz der partiellen Korrelation zur Überprüfung möglicher Drittvariableneffekte stellte sich als erfolgreich und notwendig dar. Durch die konzeptionellen Vorüberlegungen, geriet das Alter der Athleten in den Verdacht Scheinkorrelationen hervorzurufen. Diese Annahme wurde für fast alle beobachteten Zusammenhänge zwischen den Kraftfähigkeiten und der komplexen Wettkampfleistung bestätigt. Lediglich die Explosivkraft des linken Beines zeigte nach der Partialkorrelation noch einen signifikanten Zusammenhang mit der 500 m-Bestzeit. Von den anfänglich fünf beobachteten signifikanten Zusammenhängen stellten sich somit zwei (bezogen auf die 500 m-Bestzeit) bzw. drei (bezogen auf die 1000 m-Bestzeit) als Scheinkorrelation heraus. Auf Grundlage der Ergebnisse der Korrelationsanalyse und der partiellen Korrelation kann geschlussfolgert werden, dass die Beschleunigungsfähigkeit und die anaerobe Leistungsfähigkeit die elementaren Fähigkeiten

darstellen. Desweiteren deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der BMI empirisch-statistisch leistungsrelevant ist.

Um abzuschätzen, wie groß der Einfluss einzelner Merkmale auf die komplexe Wettkampfleistung beim Short Track ist, wurde die multiple lineare Regressionsanalyse eingesetzt. Die anhand der schrittweise durchgeführten Regression ausgewählten Merkmale, für die ein signifikanter Einfluss auf die Bestzeiten bestätigt wurde, sind in Bezug auf die 500- und 1000 m-Bestzeit vergleichbar. Die Variationen der komplexen Wettkampfleistungen können vor allem durch die Wettkampfteilleistung, die Laufzeit über die ersten 55,5 m, erklärt werden. Zusammen mit dem BMI können 83% der 500 m-Laufzeit aufgeklärt werden. Der erklärte Varianzanteil der 1000 m-Laufzeit ist mit 84,8% noch etwas höher, was dadurch bedingt wird, dass ein Teil der Varianz zusätzlich durch die peak power aufgeklärt werden kann. Um die vertikalen Beziehungen des Strukturmodells zu prüfen, erfolgte die regressionsanalytische Prüfung der Wettkampfteilleistung. Die Ergebnisse zeigen, dass die Sprintkraft, die Explosivkraft und die anaerobe Leistungsfähigkeit erstaunliche 90,8% der Varianz der Wettkampfteilleistung erklären können. Somit bleiben nur rund 9% der Varianz ungeklärt.

Eine ganz andere Herangehensweise um die empirisch-statistisch leistungsrelevanten Merkmale zu bestimmen und deren Beziehungen untereinander aufzuklären, bestand in der Anwendung der Pfadanalyse. Bei der Pfadanalyse wurden die Daten zusätzlich auf multivariate Normalverteilung überprüft, die für alle Modelle vorlag. Die Schätzung der Parameter, die die Größe der Variableneffekte beschreiben, erfolgte mittels der Maximum-Likelihood-Methode, die nach Weiber und Mühlhaus (2010) die präzisesten Schätzer liefert. Das auf Grundlage theoretischer Vorüberlegungen aufgestellte a priori Strukturmodell konnte durch die empirischen Daten nicht bestätigt werden. Anhand der Größe der Pfadkoeffizienten und der berechneten Differenzen zwischen den beobachteten und reproduzierten Korrelationen konnte aber ein Alternativmodell erstellt werden, das eine ausreichende Modellgüte erzielte. Ausgehend von den Ergebnissen der Pfadanalyse hat der Start unabhängig von der Streckenlänge einen bedeutenden Einfluss auf die Laufzeit. Allein auf Grundlage der Startzeit können beachtliche 79% der 500- bzw. 1000 m-Bestzeit erklärt werden. Der Start auf gerader Strecke wird maßgeblich

von der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur beeinflusst. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Korrelationsanalyse, der EFA und der Regressionsanalyse konnte bei der Pfadanalyse der vermutete Einfluss der anaeroben Leistungsfähigkeit auf die komplexe Wettkampf(teil-)leistung nicht bestätigt werden. Ebenso zeigte die Pfadanalyse, dass ungefähr die Hälfte des beobachtbaren Zusammenhangs zwischen der Explosivkraft und der Wettkampfteilleistung auf Drittvariableneffekte zurückzuführen ist und somit nicht kausal begründet werden kann.

8.1.4.4 Schlussfolgerungen und Anregungen für weitere Untersuchungen

Bei der Datenerhebung können systematische Verzerrungen ausgeschlossen werden. Die Anzahl der fehlenden Werte ist als äußerst gering einzustufen. Durch den Einsatz von ausgewählten Methoden zur Behandlung der fehlenden Werte kann davon ausgegangen werden, dass die Datenstruktur beibehalten wurde. Um vertrauenswürdige Ergebnisse zu erhalten, wurde angestrebt, alle Prämissen für die eingesetzten Analysemethoden zu erfüllen. Dafür wurden Extremwerte und Ausreißer aus den Datensätzen entfernt und die Daten auf Normalverteilung überprüft. Die Prämisse der Linearität wurde ebenfalls erfüllt. Aufgrund der Abhängigkeiten der einzelnen Variablen untereinander war es allerdings nicht möglich, linear unabhängige Regressoren bei der Regressionsanalyse zu berücksichtigen, so dass hier „Instabilitäten“ der Regressionskoeffizienten nicht ausgeschlossen werden können. Da das primäre Ziel der Regressionsanalyse darin bestand ein Modell mit möglichst hohem Bestimmtheitsmaß (R^2) zu finden, sollten die Abhängigkeiten zwischen den Prädiktoren keine Einschränkung darstellen. Lediglich bei der Prioritätenbenennung anhand der β -Werte sollte die Interpretation mit Vorsicht erfolgen, da mit jeder Veränderung der Testkombination eine Veränderung in den relativen Gewichten parallel läuft (vgl. Letztelter & Letzelter 1983, S. 198).

Durch die Zusammenführung der Ergebnisse der EFA und der Regressionsanalyse lassen sich Rückschlüsse auf die Beziehung der einzelnen Merkmale herleiten. Diese Vorgehensweise stellt derzeit das Standardverfahren in der Trainingswissenschaft dar. In dieser Studie konnte durch Überprüfung eines a priori aufgestellten Kausalmodells mittels Pfadanalyse aufgezeigt werden, dass die formulierten Hypothesen, die aus den Ergebnissen der EFA und Regressionsanalyse gewonnen werden, nicht zwingend allgemeingültig sind. So konnte beispielsweise der

vermutete Einfluss der anaeroben Leistungsfähigkeit auf die Wettkampf(teil-)leistung durch die vorhandenen Daten nicht bestätigt werden. Auch die Annahme, dass die Explosivkraft signifikant die Laufzeiten beeinflusst, wurde widerlegt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für den sinnvollen Einsatz statistischer Verfahren eine gründliche, theoretisch-inhaltliche Vorarbeit Voraussetzung ist. Dies bezieht eine Hypothesenformulierung und eine genaue Planung der Untersuchung ein. Sachlogisch nicht erklärbare Zusammenhänge sollten kritisch hinterfragt und bei gegebenem Anlass auf Scheinkorrelationen bzw. Drittvariableneffekte überprüft werden. Für Untersuchungen mit komplexen Zusammenhangsstrukturen bietet die Pfadanalyse mehrere Vorteile. Ein Vorteil besteht darin, dass Korrelationen zwischen unabhängigen Variablen, die bei der Regressionsanalyse zu Verzerrungen der Schätzwerte und zu kausal unkorrekten Interpretationen führen, heraus gerechnet werden. Zum anderen können Wechselwirkungen zwischen den Variablen berücksichtigt werden (Weiber & Mühlhaus, 2010).

Abschließend ist noch anzumerken, dass Hypothesen, die auf Grundlage der EFA und Regression aufgestellt werden, erst mittels weiterer Untersuchungen auf ihre Gültigkeit überprüft werden müssen, bevor allgemeingültige Theorien formuliert werden (Backhaus et al., 2008). Faktorenanalysen sind nicht geeignet, Hypothesen zu prüfen, sondern lediglich hilfreich, solche zu erstellen (vgl. Letzelter & Letzelter, 1983, S. 194). Da in diesem Fall das a priori Strukturmodell mittels Pfadanalyse falsifiziert wurde und eine ausreichende Modellanpassung „nur“ für ein alternatives Modell vorliegt, gilt auch dieses Modell noch nicht als bestätigt⁸⁷. Nach Mac Callum et al. (1992) und Bortz (2010) gilt das Modell erst dann als verifiziert, wenn eine neuerliche Überprüfung das Modell bestätigt. Für die Überprüfung der Modelle auf Gültigkeit bedarf es eines neuen unabhängigen Datensatzes.

⁸⁷ Die Untersuchung ist somit als explorative Studie anzusehen.

8.2 Leistungsstruktur der Sportart Short Track

In diesem Abschnitt werden zunächst die aufgestellten Hypothesen auf ihre Gültigkeit hin überprüft. Im Anschluss werden leistungsrelevante Konstrukte bzw. Merkmale hervorgehoben und im Zusammenhang mit anderen Studien zur Leistungsdiagnostik im Short Track und Eisschnelllauf diskutiert. Anhand der Summe der bisherigen Erkenntnisse werden dann die leistungsrelevanten Merkmale in ihrem Beziehungsgefüge zu anderen Fähigkeiten in einem Leistungsstrukturmodell dargestellt. Abschließend werden, bezogen auf die Ergebnisse dieser Studie, entsprechende Trainingsempfehlungen gegeben.

8.2.1 Überprüfung der Hypothesen

H₁: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und der Rumpfkraft.

Die erhobenen Daten bestätigen, dass ein empirisch statistischer Zusammenhang zwischen der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und der Rumpfkraft besteht⁸⁸. Somit hat die Alternativhypothese Gültigkeit.

H₂: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Standstabilisation.

Zwischen der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und den Merkmalen der Standstabilisation konnten keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden⁸⁹. Die Nullhypothese kann anhand der erhobenen Daten nicht verworfen werden.

⁸⁸ Zwischen der iMVC_bb und der Rumpfkraft besteht eine geringe Korrelation ($r = 0,451$), die auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ signifikant ist. Zwischen der peak power und der Rumpfkraft besteht ein hoch signifikanter Zusammenhang ($r = 0,606$) (siehe Korrelationsmatrix im Anhang, Abschnitt B).

⁸⁹ Es bestehen nur sehr geringe Korrelationen zwischen iMVC_bb bzw. peak power und der Standstabilisation (iMVC_bb und GKS pre: $r = -0,230$, iMVC_bb und GKS post: $r = -0,221$, peak power und GKS pre: $r = -0,045$, peak power und GKS post: $-0,155$) (siehe Korrelationsmatrix im Anhang, Abschnitt B).

H₃: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Schnellkraft.

Zur Quantifizierung der Schnellkraft wurde die Explosivkraft bei der maximalen isometrischen Muskelkontraktion ermittelt. Die Ergebnisse bestätigen, dass zwischen der isometrischen Maximalkraft (iMVC) und der Explosivkraft signifikante Zusammenhänge bestehen. Dabei sind die Zusammenhänge zwischen iMVC und der Explosivkraft des rechten Beines ($r = 0,613^{**}$) deutlich stärker als zwischen iMVC und Explosivkraft des linken Beines ($r = 0,414^{*}$)⁹⁰. Desweiteren sind die Zusammenhänge zwischen der peak power, als Indikator für die dynamische Maximalkraft und der Explosivkraft ebenfalls signifikant, wohingegen die Unterschiede bzgl. der Seitigkeit irrelevant sind ($r_{\text{MRFD_re}} = 0,604^{**}$, $r_{\text{MRFD_li}} = 0,587^{**}$). Die Alternativhypothese hat Bestand.

H₄: Je besser die Standstabilisation, desto besser die Beschleunigungsfähigkeit.

Die Merkmale zur Quantifizierung der Standstabilisation zeigen keine signifikanten Zusammenhänge mit den Merkmalen zur Quantifizierung der Beschleunigungsfähigkeit (siehe Kap. 7.2.2, Tabelle 15). Die Nullhypothese kann anhand der erhobenen Daten nicht verworfen werden.

H₅: Je besser die Schnellkraft, desto besser die Beschleunigungsfähigkeit.

Die Explosivkraft, so zeigen die Ergebnisse der Korrelation und der partiellen Korrelation, hat keinen signifikanten Einfluss auf die Beschleunigungsfähigkeit auf der Geraden (= Sprintkraft). Der beobachtbare Zusammenhang zwischen der Explosivkraft und der Startzeit über 30 m ist auf einen Drittvariableneffekt, hervorgeru-

⁹⁰ Auffallend bei den unilateralen Messungen der iMVC und der MRFD ist, dass die Unterschiede zwischen rechten und linken Bein teilweise sehr groß sind. Bei der iMVC liegen die Differenzen zwischen $< 1\%$ und 27% . Bei einem Drittel der Athleten ist die Differenz zwischen rechtem und linken Bein $> 10\%$. Das durchschnittliche bilaterale Defizit (Verhältnis zwischen bilateralem Kraftmaximum und Summe der unilateralen Kraftmaxima) liegt bei $9,5\%$. Bei der Explosivkraft sind die Unterschiede zwischen linken und rechten Bein wesentlich höher. Die Differenzen liegen hier zwischen $2,7\%$ und 82% . Bei der Hälfte der Athleten weisen die Werte Differenzen $> 20\%$ auf. Während bezogen auf die iMVC bei zwei Dritteln der untersuchten Athleten das linke Bein das stärkere ist, gibt es bei der MRFD keine dominierende Seite.

fen durch das Alter der Athleten, zurückzuführen. Beim Herauspartialisieren des Alters ist lediglich der Zusammenhang zwischen Explosivkraft und Beschleunigung im Kurvenlauf signifikant ($r_{\text{MRFD_re}} = -0,436$, $r_{\text{MRFD_li}} = -0,485$). Um an dieser Stelle eine klare Unterscheidung zwischen der Beschleunigungsfähigkeit auf der Geraden und über die halbe Runde vorzunehmen, wird im weiteren Verlauf für den Sprint über 30 m der Begriff *Sprintkraft* benutzt. Die Laufzeit über die erste halbe Runde stellt eine *Wettkampfteilleistung* dar, die sich aufgrund des Kurvenlaufes und der dafür benötigten Kurventechnik komplexer darstellt als die Sprintkraft (Letzelter & Letzelter, 1983). Aufgrund der unterschiedlichen Komplexität beider Merkmale liegt die Wettkampfteilleistung eine Modellebene höher als die Sprintkraft (siehe Kap. 8.2.3, Abbildung 55).

Die Ergebnisse der schrittweisen Regressionsanalyse zeigen einen empirisch-statistischen Zusammenhang zwischen der Sprintkraft und der Wettkampfteilleistung. Neben der Sprintkraft, so die Ergebnisse der Regressionsanalyse, hat auch die Explosivkraft einen signifikanten Einfluss auf die Wettkampfteilleistung (siehe Kap. 7.4.2, Tabelle 30). Bei der Pfadanalyse des vollständigen Modells konnte der beobachtete Zusammenhang zwischen Explosivkraft und Wettkampfteilleistung nicht ausreichend reproduziert werden⁹¹. Beim Alternativmodell kann vom beobachtbaren Zusammenhang zwischen Explosivkraft und Wettkampfteilleistung ($r = -0,667$) die Hälfte kausal erklärt werden. Der Pfadkoeffizient, der die Stärke des Einflusses einzelner Merkmale angibt, zeigt mit $\beta = -0,344$ zwar nur einen geringen Einfluss der Explosivkraft auf die Wettkampfteilleistung, der jedoch hoch signifikant ist. Somit hat die Alternativhypothese Bestand.

H₆: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Beschleunigungsfähigkeit.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse und der partiellen Korrelation bestätigen einen hoch signifikanten Zusammenhang zwischen iMVC und Sprintkraft. Mit zunehmender Streckenlänge nimmt der Einfluss der iMVC ab. Nach

⁹¹ Siehe dazu Kap. 7.5.2, Tabelle 35. Mit 0,180 liegt die Differenz zwischen beobachteten und reproduzierten Zusammenhang über dem kritischen Wert von $|0,10|$.

Herauspartialisierung des Alters zeigt sich eine hohe Korrelation zwischen iMVC und dem Sprint über 5 m ($r = 0,733^{**}$), eine mittlere Korrelation mit der Sprintkraft ($r = 0,508^{**}$) und eine geringe Korrelation mit der Wettkampfteilleistung ($r = 0,450^{*}$). Im Gegensatz dazu zeigt die peak power mit allen drei Merkmalen zur Quantifizierung der Beschleunigungsfähigkeit nur geringe Korrelationen (siehe Kap. 7.2.2, Tabelle 20). Bei der Regressionsanalyse zeigen die Modelle, die über die Stichprobe hinaus Gültigkeit besitzen, keinen signifikanten Zusammenhang zwischen iMVC und Wettkampfteil- bzw. komplexer Wettkampfleistung (siehe Kap. 7.4.2).

Bei der Pfadanalyse des vollständigen Modells konnten die beobachteten Korrelationen fast vollständig reproduziert werden. Dies weist auf kausal begründbare signifikante Zusammenhänge der iMVC mit der Sprintkraft bzw. Wettkampfteilleistung hin⁹². Beim Alternativmodell wurde nur ein direkter Effekt der iMVC auf die Sprintkraft angenommen. Über die Sprintkraft zeigt die iMVC indirekte Effekte auf die Wettkampfteilleistung und über diese auch auf die komplexe Wettkampfleistung. Die beobachteten Korrelationen zwischen iMVC und Sprintkraft, iMVC und Wettkampfteilleistung sowie iMVC und komplexer Wettkampfleistung konnten durch die Parameterschätzungen fast vollständig reproduziert werden⁹³. Die Alternativhypothese hat Gültigkeit.

H₇: Je besser die Beschleunigungsfähigkeit, desto besser die Wettkampfleistung.

Bei der Korrelationsanalyse zeigten alle drei Merkmale zur Quantifizierung der Beschleunigungsfähigkeit hoch signifikante Zusammenhänge mit der komplexen Wettkampfleistung. Bei der EFA zeigten allein diese drei Merkmale hohe Ladungen auf dem zweiten Faktor (Beschleunigungsfaktor) der zu 27,6% bzw. 30,3% zur Aufklärung der Varianz der 500- bzw. 1000 m-Bestzeit beiträgt (siehe Kap. 7.3.2). Bei der schrittweisen Regressionsanalyse wurde als erste Variable die Wettkampfteilleistung ausgewählt⁹⁴, was darauf hindeutet, dass diese den höchs-

⁹² Siehe dazu Kap. 7.5.2, Tabelle 35 und Anhang, Abschnitt F.

⁹³ Die Differenz ist in allen Fällen $< |0,10|$. Siehe dazu Kap. 7.5.2, Tabelle 37.

⁹⁴ Siehe dazu Kap. 7.4.2, Tabelle 24.

ten Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung hat. Diese Annahme wird durch die Pfadanalyse bestätigt. Beim vollständigen Modell zeigen die Pfadkoeffizienten, dass der Einfluss der Wettkampfteilleistung am stärksten ist. Zirka 80% der Varianz der 500- und 1000 m-Bestzeiten können durch die Wettkampfteilleistung erklärt werden (siehe Kap. 7.5.2). Über die Wettkampfteilleistung zeigt auch die Sprintkraft indirekte Effekte auf die komplexe Wettkampfleistung. Die beobachtete Korrelation zwischen Sprintkraft und komplexer Wettkampfleistung ($r = 0,755$) konnte im Alternativmodell fast vollständig reproduziert werden ($r = 0,697$). Daraus folgt, dass anhand der erhobenen Daten die Alternativhypothese Bestand hat.

H₈: Je höher die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, desto besser die Wettkampfleistung.

Mittels Partialkorrelation konnte nachgewiesen werden, dass es sich bei den beobachtbaren signifikanten Korrelationen zwischen der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und den Bestzeiten um Scheinkorrelationen handelt (siehe Kap. 7.2.2, Tabelle 19). Die Zusammenhänge wurden durch eine Drittvariable, das Alter der untersuchten Athleten, verursacht. Somit hat die Maximalkraft keinen direkten signifikanten Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Pfadanalyse, dass die iMVC über die Sprintkraft bzw. über die Wettkampfteilleistung einen indirekten Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung ausübt (siehe Kap. 7.5.2). Dieser indirekte Zusammenhang konnte für die peak power nicht nachgewiesen werden. Somit kann die Nullhypothese nur für die dynamische Maximalkraft nicht verworfen werden.

H₉: Je besser die Rumpfkraft, desto besser die Wettkampfleistung.

Der beobachtbare Zusammenhang zwischen der Rumpfkraft und der komplexen Wettkampfleistung wurde durch das Alter der Studienteilnehmer verursacht⁹⁵. Mit den vorliegenden Daten kann die Nullhypothese nicht verworfen werden.

⁹⁵ Wird das Alter herauspartialisiert, geht die Korrelation gegen Null (siehe Kap. 7.2.2, Tab. 19).

H₁₀: Je besser die Schnellkraft, desto besser die Wettkampfleistung.

Für die Schnellkraft wurde die Explosivkraft als Indikator herangezogen. Der beobachtbare signifikante Einfluss der Explosivkraft auf die komplexe Wettkampfleistung wurde durch zwei Drittvariablen, das Alter der Athleten und die iMVC, hervorgerufen⁹⁶. Somit kann anhand der erhobenen Daten die Nullhypothese nicht verworfen werden.

H₁₁: Je besser die Standstabilisation, desto besser die Wettkampfleistung.

Die Standstabilisation weist keinen signifikanten Zusammenhang mit der komplexen Wettkampfleistung auf⁹⁷. Die Nullhypothese bleibt gültig.

H₁₂: Je besser die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit, desto besser die anaerobe Leistungsfähigkeit.

Die Annahme, dass die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit die anaerobe Leistungsfähigkeit signifikant beeinflusst, konnte für das Merkmal *maximale Sauerstoffaufnahme* empirisch bestätigt werden ($r = 0,420^*$). Die Alternativhypothese besitzt somit Gültigkeit.

H₁₃: Je besser die anaerobe Leistungsfähigkeit, desto besser die Wettkampfleistung.

Aus den Ergebnissen der Korrelationsanalyse kann geschlossen werden, dass die anaerobe Leistungsfähigkeit einen hoch signifikanten Einfluss auf die Wettkampfleistung hat ($r_{500} = -0,795$, $r_{1000} = -0,788$). Da zur Quantifizierung der anaeroben Leistungsfähigkeit die durchschnittliche Leistung auf den ersten 45 s beim PLT herangezogen wurde, musste davon ausgegangen werden, dass die erbrachte Leistung von der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur beeinflusst wird⁹⁸. Die durchgeführte Partialkorrelation bestätigte diese Vermutung und legte offen, dass fast ein Drittel der Varianz der 45 s-Leistung beim PLT durch die iMVC erklärt

⁹⁶ Siehe dazu Kap. 7.2.2, Tabelle 19 und Kap. 7.5.2, Tabellen 35 und 37.

⁹⁷ Siehe dazu Kap. 7.2.2, Tabelle 12.

⁹⁸ Stapelfeldt (2001) wies bei seinen Untersuchungen an Radsportlern nach, dass die Maximalkraft 18% der Varianz der 45 s-Leistung beim PLT aufklärt.

wird. Wird die iMVC aus den Variablen Bestzeit und PLT_45s herauspartialisiert, ist der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen trotzdem hoch signifikant ($r_{500} = -0,668$, $r_{1000} = -0,681$). Allerdings zeigte sich noch ein weiteres Merkmal, das Alter der untersuchten Athleten, welches die beobachtbare Korrelation zwischen PLT_45s und Bestzeit mit verursacht, als relevant. Wird das Alter aus den Variablen Bestzeit und PLT_45s herauspartialisiert, zeigt sich nur noch ein geringer signifikanter Zusammenhang⁹⁹.

Bei der EFA zeigte die Variable PLT_45s hohe Ladungen auf Faktor 1. Auf dem ersten Faktor, der zu 55% bzw. 50% an der Aufklärung der Bestzeit über 500 bzw. 1000 m beiträgt, laden auch die Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur hoch¹⁰⁰. Dies bestätigt die Erkenntnisse aus der Korrelationsanalyse, dass die Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur mit der Variable PLT_45s in Beziehung stehen und miteinander korrelieren. Bei der durchgeführten schrittweisen Regression konnte für die Variable PLT_45s kein für die Grundgesamtheit geltender Zusammenhang mit den Bestzeiten nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der regressionsanalytischen Prüfung der Wettkampfteilleistung belegen, dass die Variable PLT_45s geringe signifikante Beiträge zur Vorhersage des Parameters (Wettkampfteilleistung) leistet¹⁰¹.

Bei der Pfadanalyse des vollständigen Modells konnten die beobachtbaren empirischen Korrelationen zwischen der anaeroben Leistungsfähigkeit und den Bestzeiten nur im geringen Umfang reproduziert werden. Somit deuten auch die Ergebnisse der Pfadanalyse darauf hin, dass der beobachtbare Zusammenhang auf Scheineffekte beruht und nicht kausal begründet werden kann. Die Nullhypothese kann somit anhand der erhobenen Daten nicht verworfen werden.

⁹⁹ Werden aus den Variablen PLT_45s und BZ_500 bzw. BZ_1000 sowohl das Alter wie auch die iMVC_bb herauspartialisiert, sind die Zusammenhänge zwar nur gering, aber immer noch signifikant ($r_{500} = -0,389^*$, $r_{1000} = -0,362^*$). Die Ergebnisse der Partialkorrelation befinden sich im Anhang, Abschnitt C.

¹⁰⁰ Siehe dazu Kap. 7.3.2, Tabelle 22.

¹⁰¹ Siehe dazu Kap. 7.4.2, Tabelle 30.

H₁₄: Je besser die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit, desto besser die Wettkampfleistung.

Der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, quantifiziert durch die Merkmale relative maximale Sauerstoffaufnahme und Leistung an der individuellen aerob-anaeroben Schwelle nach Dickhuth, konnte kein signifikanter Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung nachgewiesen werden¹⁰². Aus diesem Grund muss die Nullhypothese beibehalten werden.

8.2.2 Beziehungsgefüge leistungsrelevanter Merkmale

Die beiden komplexen Wettkampfleistungen, die Laufzeiten über 500 und 1000 m, hängen sehr eng miteinander zusammen ($r = 0,982$). Zirka 80% der Unterschiede über die 500 und 1000 m können mit denen in der Startzeit über die erste halbe Runde erklärt werden. Da die Laufzeit über die erste halbe Runde eine Wettkampfteilleistung darstellt, die wie die Laufzeiten über die 500 und 1000 m komplex determiniert ist, wurde eine regressionsanalytische Prüfung der Wettkampfteilleistung durchgeführt. Die Ergebnisse belegen, dass die Sprintkraft einen starken Einfluss auf die Wettkampfteilleistung hat. Neben der Sprintkraft haben auch die Explosivkraft und indirekt die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur Einfluss auf die Wettkampfteilleistung. Allein durch diese drei Faktoren können zirka 86% der Unterschiede in der Wettkampfteilleistung erklärt werden. Da die Wettkampfteilleistung, der Sprintstart über eine halbe Runde, repräsentativ für die Sprintkraft plus Kurventechnik ist (Letzelter & Letzelter, 1983), sind die nicht erklärten verbleibenden 14% auf den Kurvenlauf, speziell die Kurventechnik, zurückzuführen.

Die Sprintkraft hängt signifikant von der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur ab. Werden nur kausale Effekte berücksichtigt, zeigt sich zwischen der iMVC und der Sprintkraft eine mittlere Korrelation ($r = -0,575$)¹⁰³. Die iMVC klärt somit ein

¹⁰² Der Zusammenhang zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der 500 m-Bestzeit ist mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,185$ ($p = 0,183$) sehr gering. Auch der geringe Zusammenhang zwischen der Leistung an der individuellen aerob-anaeroben Schwelle nach Dickhuth und der 500 m-Bestzeit ($r = -0,133$, $p = 0,283$) ist nicht signifikant (siehe Tabelle 12).

¹⁰³ Siehe dazu Kap. 7.5.2, Tabelle 37.

Drittel der Unterschiede in der Sprintkraft auf. Mit Hilfe der Pfadanalyse konnte nachgewiesen werden, dass die iMVC über die Sprintkraft bzw. über die Wettkampfteilleistung einen indirekten Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung ausübt. Anhand der reproduzierten Korrelationskoeffizienten ($r_{500} = -0,527$, $r_{1000} = -0,525$) kann abgeleitet werden, dass allein durch die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur rund 27%, also mehr als ein Viertel, der Unterschiede in den 500- und 1000 m-Laufzeiten erklärt werden können. Somit stellt die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur eine elementare Fähigkeit für Short Track Athleten dar.

Letzelter und Letzelter (1983), die Untersuchungen hinsichtlich des Anforderungsprofils für den Eisschnelllauf sprint über 500 und 1000 m durchführten, kamen zu vergleichbaren Ergebnissen. Mit der Startzeit über 30 m konnten drei Viertel der Varianz der 500 m-Laufzeit beim Eisschnelllaufen aufgeklärt werden. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die am Start um 0,1 s schnelleren Läufer die 500 m im Allgemeinen um 3/10 s schneller laufen.

Beim Short Track erfolgt der Start mittig auf der Geraden. Da es bis zum Kurveneingang nur etwa 15 Meter sind, erscheinen Vorhersagen von statistischen Normen für die Startzeit über 30 m, wie sie Letzelter und Letzelter (1983) für den Eisschnelllauf sprint vorgegeben haben, als wenig wertvoll. Jedoch kann anhand der durchgeführten Regressionsanalyse der Bestzeit über 500 m auf die Wettkampfteilleistung abgeschätzt werden, dass die Läufer, die die erste halbe Runde um 0,1 s schneller laufen, eine um fast 7/10 bessere 500- bzw. 1000 m-Laufzeit erreichen.¹⁰⁴ Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Daten an einer extrem heterogenen Stichprobe erhoben wurden und aus diesem Grund die Ergebnisse dieser Studie lediglich Anhaltspunkte liefern können.

¹⁰⁴ Die Statistik befindet sich im Anhang, Abschnitt E 3. Die Regressionsgleichung für die 500 m-Bestzeit lautet: $y = 6,91 x - 3,46$, d. h.

wenn $t_{\text{Sprint}_{55m}}$	6,4 s	6,5 s	6,6 s	6,7 s	6,8 s
dann t_{500m}	40,764 s	41,455 s	42,146 s	42,837 s	43,528 s.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Start bzw. die Beschleunigungsfähigkeit unabhängig von der Distanz einen bedeutenden Einfluss auf das Wettkampfergebnis hat. Die in der Literatur beschriebenen Unterschiede in der Einflussstärke zwischen der Startsimulation über 55,5 m und den 500- bzw. 1000 m-Zeiten (Kwon et al., 1997; Brusis, 2004) konnten in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Die Zusammenhänge zwischen der Wettkampfteilleistung und den Laufzeiten sind mit Korrelationskoeffizienten von $r_{500} = 0,899$ und $r_{1000} = 0,897$ fast identisch.

Die Beschleunigungsfähigkeit beim Sprint und somit auch beim Short Track charakterisiert die Fähigkeit, dem eigenen Körper durch ein zweckmäßiges Nutzen des Beschleunigungsweges eine maximale Endgeschwindigkeit zu verleihen. Ein hohes Niveau an Beschleunigungsfähigkeit ist eine wesentliche Voraussetzung, um sich mit einer hohen Geschwindigkeit zyklisch bewegen zu können (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 146). Beschleunigungsleistungen haben direkte Beziehungen zum Niveau der Maximalkraft und der Schnellkraft. Zu berücksichtigen gilt, dass die Beschleunigung direkt proportional der Größe der aufgewandten Kraft und umgekehrt proportional der zu beschleunigenden Masse ist ($\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$). Somit sind hier auch anthropometrische Maße von Bedeutung (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 257).

Anhand der im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten konnte sowohl für die Maximal- wie auch für die Explosivkraft ein empirisch-statistischer Zusammenhang mit der Beschleunigungsfähigkeit nachgewiesen werden. Allerdings wurde der beobachtbare Zusammenhang zwischen Explosivkraft und Beschleunigungsfähigkeit auf gerader Strecke durch eine Drittvariable, dem Alter der Athleten, verursacht. Ein empirisch-statistischer Zusammenhang zwischen Explosivkraft und Beschleunigungsfähigkeit konnte anhand der erhobenen Daten mittels Korrelations- und Regressionsanalyse „nur“ für die erste halbe Runde, also im Kurvenlauf, nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der Pfadanalyse zeigen, dass ein Teil dieses Zusammenhangs auf Scheineffekte, in diesem Fall verursacht durch die Maximalkraft, zurückzuführen ist. Die Faktorenanalyse bestätigt, dass die Maximal- wie auch die Explosivkraft durch denselben Faktor determiniert werden. Da der

Zusammenhang zwischen Maximal- und Explosivkraft empirisch-statistisch nachgewiesen wurde, ist davon auszugehen, dass beim Training der Maximalkraft positive Transfereffekte auf die Explosivkraft zu erwarten sind.

Beim Training der Maximalkraft muss berücksichtigt werden, dass aufgrund der geringen Bahnabmessungen beim Short Track ungefähr die Hälfte der Strecke im Kurvenlauf zurückgelegt wird. Durch die hohe Geschwindigkeit¹⁰⁵ der Läufer erhöht sich in der Kurve (Kurvenradius = 8 m) durch die Zentrifugalkraft die auf den Körper einwirkende Zentripetalkraft um ein Vielfaches. Da sich das Gewicht des Läufers unmittelbar auf diese Kraft auswirkt ($F = m \frac{v^2}{r}$), muss beim Training auf ein günstiges Masse-Kraft-Verhältnis geachtet werden¹⁰⁶.

Die Untersuchungen von Letzelter und Letzelter (1983) zeigten beim Eisschnelllaufsprint für die Frauen einen mittleren und überzufälligen Zusammenhang zwischen Körpergewicht und 500 m-Bestzeit. Dabei waren die schnelleren Läuferinnen im Allgemeinen schwerer als die Langsameren. Die Autoren erklären diesen Zusammenhang mit der größeren Muskelkraft der Leistungstärkeren, begründet durch die Annahme, dass höhere Maximalkraftausprägungen normalerweise mit einer Dickenzunahme des Muskels einhergehen. Der überzufällige Zusammenhang zwischen Ober- und Unterschenkelumfang und der Laufzeit bestätigte diese Annahme. Im Gegensatz dazu hat bei den Männern weder die Körperhöhe noch das Körpergewicht einen Einfluss auf die Bestzeit. Auch erwies sich kein Umfangsmaß im Eisschnelllaufsprint als leistungsbestimmend. Die Autoren vermuten deshalb, dass der Kraftgewinn bei den Männern auf Basis der verbesserten intra- und intermuskulären Koordination basiert (vgl. Letzelter & Letzelter, 1983, S. 179).

¹⁰⁵ Bei einer Laufzeit von 41 s über die 500 m-Distanz beträgt die Geschwindigkeit $v = 12,2$ m/s bzw. 43,9 km/h.

¹⁰⁶ Bei einer Laufzeit von 41s auf 500 m beträgt die Kraft F für einen 70 kg schwerer Sportler zirka 1300 N, für einen 80 kg Schweren 1490 N.

Bezüglich der hohen Leistungsrelevanz der Maximalkraft zeigen sich zwischen Eisschnelllauf und Short Track keine bedeutungsvollen Unterschiede, sie ist unumstritten. Allerdings sind im Eisschnelllauf absolute Weltklasseleistungen mit extrem hohem Gewicht möglich¹⁰⁷ (vgl. Letzelter & Letzelter, 1983, S. 175), so dass es gegen eine Maximalkraftzunahme durch Muskelquerschnittsvergrößerung (Muskelhypertrophie) nichts einzuwenden gibt. Beim Short Track sind die erfolgreichen Athleten im Durchschnitt um 10-20 kg leichter als Eisschnellläufer (Rundell, 1996b). Aufgrund der Vielzahl von Kurvendurchläufen¹⁰⁸ ist davon auszugehen, dass leichtere Läufer Vorteile haben, da die wirkenden Zentripetalkräfte bei gegebener Geschwindigkeit kleiner sind, als bei schwereren Läufern. Somit können bei gleicher Geschwindigkeit leichtere Sportler bei den Kurvendurchläufen Kräfte sparen, die sie dann im weiteren Verlauf des Wettkampfes gegenüber den schwereren Sportlern mobilisieren können (vgl. Brusis, 2004, S. 60). Beim Training sollte deswegen darauf geachtet werden, dass die Steigerung der Maximalkraft primär durch die Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination erfolgt.

Bruhn und Felser (2011) führten Untersuchungen zur Kurvenlaufgestaltung einzelner Short Track Athleten durch. Dabei kam heraus, dass Defizite im Kraftbereich durch eine optimale Technik (Laufökonomie) zum Teil kompensiert werden können. Die Ergebnisse der Untersuchungen sprechen dafür, dass die Läufer, die in der Lage sind, ein relativ konstantes Tempo zwischen Kurvenein- und -ausgang beizubehalten, Brems- und erneute Beschleunigungsvorgänge umgehen. Es wird vermutet, dass dadurch unnötige Kraft- und Energieverluste vermieden werden. Eine gute Technik trägt zudem zur Optimierung der Start- und Beschleunigungsfähigkeit bei (Weineck, 2002).

¹⁰⁷ Die schnellste von Letzelter und Letzelter (1983) untersuchte Eisschnellläuferin wog 85 kg. Damit lag sie 21 kg über dem Durchschnittsgewicht aller 23 untersuchten Frauen der nationalen und internationalen Leistungsklasse.

¹⁰⁸ Im Gegensatz zum Eisschnelllauf, wo auf der 500 m-Strecke zwei Kurven mit einem inneren Kurvenradius von 26 Metern durchfahren werden müssen, durchlaufen Short Track Athleten auf selber Distanz neun Kurven mit einem inneren Kurvenradius von nur 8 Metern.

Neben der Beschleunigungsfähigkeit spielt auch die Grundschnelligkeit, also die maximal erreichbare Geschwindigkeit innerhalb eines zyklischen Bewegungsablaufes (= lokomotorische Schnelligkeit), eine entscheidende Rolle (Hollmann & Strüder, 2009). Die wesentlichen Faktoren für die Größe der Grundschnelligkeit sind die dynamische Kraft der beanspruchten Muskulatur und die Koordination (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 249). Da die Grundschnelligkeit erst nach einigen Sekunden der positiven Beschleunigung erreicht wird, wird diese zudem von den Energievorräten in der Arbeitsmuskulatur beeinflusst (Weineck, 2002). Speziell auf den ersten Metern einer maximalen Sprintbelastung kommt es zu einem raschen Abbau der energiereichen Phosphate (ATP, CrP → anaerobe alaktazide Energiebereitstellung). Mit der Abnahme der CrP-Konzentration in der Arbeitsmuskulatur nimmt auch die Leistung in der Beschleunigungsphase ab. Unterschreitet die CrP-Konzentration einen Wert von 3 mmol/kg Muskel, was bereits nach drei bis vier Sekunden eintreten kann, kommt es zu einer maximalen Aktivierung der Glykolyse (anaerobe laktazide Energiebereitstellung) (Hollmann & Strüder, 2009). Mit zunehmender Streckenlänge erhöht sich die Beteiligung glykolytischer Prozesse an der Gesamtenergiebereitstellung, was einem progressiven Anstieg der Laktatwerte zur Folge hat¹⁰⁹. Nach Hollmann und Strüder (2009) ist die relative Beibehaltung der Geschwindigkeit das Resultat eines dynamischen Gleichgewichts zwischen Leistung und einer nahezu 100%igen Aktivierung der Glykolyse. Um die maximale Laufgeschwindigkeit möglichst lange aufrechtzuerhalten bzw. den Geschwindigkeitsabfall gering zu halten, bedarf es somit einer gut ausgebildeten Schnelligkeitsausdauer.

Eine Beanspruchung an die Schnelligkeitsausdauer liegt vor, wenn große Muskelgruppen dynamisch und (überwiegend) anaerob über einen Zeitraum von 20 bis 120 s belastet werden (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 433). Somit zählt Short

¹⁰⁹ Bei etwa 40-sekündiger maximaler Belastung (entspricht dem 500 m-Lauf) erreicht der Laktat Spiegel sein Maximum. Zeitlich darüber hinausgehende muskuläre Beanspruchungen werden zunehmend von der oxidativen Phosphorylierung, also vom aeroben Stoffwechsel, bestimmt. Nach Hollmann und Strüder (2009) besteht bei 2-minütiger Belastungsdauer ein prozentuales Gleichgewicht zwischen aeroben und anaeroben Energiebereitstellungsmechanismen.

Track (die Laufzeiten liegen je nach Distanz zwischen 42 s und ca. 2:30 min) eindeutig zu den Sportarten, bei denen die allgemeine anaerobe dynamische Ausdauer leistungslimitierend wirkt.

Obwohl die anaerobe Ausdauer logisch leistungsrelevant ist, konnte anhand der erhobenen Daten der empirische Nachweis nicht erbracht werden. Dies kann damit erklärt werden, dass der Indikator zur Operationalisierung keine ausreichende inhaltliche Validität besitzt. Als Indikator wurde die durchschnittliche relative 45 s-Leistung beim PLT herangezogen, die, wie die Partialkorrelation zeigte, zu etwa einem Drittel von der iMVC beeinflusst wird (siehe Kap. 7.2.2, Abbildung 46) und zudem von koordinativen und volitiven Eigenschaften abhängt.

Da die anaerobe Ausdauer auch für den Eisschnelllaufsprung logisch leistungsrelevant ist, versuchten Letzelter und Letzelter (1983) dafür auch den empirischen Nachweis zu erbringen. Sie setzten verschiedene Verfahren zur Operationalisierung ein, einmal den sportmotorischen Test *Serienlauf* und zum anderen über die Wettkampfbeobachtung den *Teilzeitenvergleich*. Es zeigte sich, dass auch für diese Verfahren die inhaltliche Zuverlässigkeit unvollkommen ist. Ein empirisch-statistischer Zusammenhang zwischen anaerober Ausdauer und Wettkampfleistung konnte nicht nachgewiesen werden. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass es unumstritten ist, dass die aerobe Ausdauer auf den Kurzstrecken aller Sportarten leistungsindifferent ist. Allerdings ist die Bedeutung der anaeroben Ausdauer oft nicht unstrittig nachzuweisen, da diese schwer zu quantifizieren ist (vgl. Letzelter & Letzelter, 1983, S. 211). Nach Martin et al. (1993) hat der Begriff *anaerobe Kapazität*¹¹⁰ eher einen Modellcharakter für eine bestimmte Stoffwechsellage, die durch die alaktazide und glykolytische Energiebereitstellung, die Azidosetoleranz, die genetischen Anlagen, Willenseigenschaften und die sportartspezifische Schnelligkeit beeinflusst wird.

¹¹⁰ Die anaerobe Kapazität (maximal anaerobic power) ergibt sich aus der anaeroben alaktaziden (ATP, CrP) und laktaziden (anaerobe Glykolyse) Leistungsfähigkeit (Wilmore et al., 2008).

Obwohl es im Rahmen dieser Studie ebenfalls nicht gelungen ist, die empirisch-statistische Leistungsrelevanz der anaeroben Leistungsfähigkeit nachzuweisen, wird daran festgehalten, dass sich diese beim Short Track leistungslimitierend auswirkt. Begründet wird diese Entscheidung u. a. mit den Laufzeiten über die verschiedenen Distanzen. Nach dem Kriterium der Wettkampfdauer befinden sich die Short Track Athleten im Kurzzeitausdauerbereich (mit Übergang zur Mittelzeitausdauer), wo der Anteil der anaeroben Energiebereitstellung größer ist, als die aerobe Energiebereitstellung (Hohmann et al., 2002). Desweiteren wird die Bein-streckmuskulatur aufgrund der tiefen Körperposition, der notwendigen Beschleunigung beim Start sowie durch die hohen Zentripetalkräfte im Kurvenlauf stark beansprucht. Huber (2007) konnte anhand von Messungen mittels Kraftmesssohlen im Schlittschuh belegen, dass die durchschnittlich aufgebrachte Kraft im Kurvenlauf 60-65% der Maximalkraft in Anspruch nimmt. Ab Kräften von > 15% der Maximalkraft kommt es zu Einschränkungen bei der Muskeldurchblutung. Bei Kräfteeinsätzen jenseits von 50% ist die Muskeldurchblutung aufgrund von Gefäßokklusion weitestgehend sistiert. Somit kommt es zwangsläufig zu einer Minderversorgung mit Sauerstoff (Shepard & Plyley, 1993; Hollmann & Strüder, 2009)¹¹¹. Durchblutungseinschränkungen in der Arbeitsmuskulatur können beim Short Track zudem durch die vorgebeugte Oberkörperposition, was zu Ein- bzw. Abklemmung der Aa. femoralis führen kann, verstärkt werden.

Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Blutlaktatwerte bei den Testläufen über die Einzelwertungs-Wettkampfstrecken sind ein Beleg für den hohen Grad der eingegangenen Sauerstoffschuld¹¹². Bei den D-Junioren schwankten die Werte

¹¹¹ Um die anaeroben Energiebereitstellungsmechanismen, die die Muskelfunktion verschlechtern, erst später oder im geringeren Umfang in Anspruch zu nehmen, erscheint es zweckmäßig, die Muskelkraft zu steigern. Begründet wird die Annahme damit, dass bei einem Anstieg der Muskelkraft, die Inanspruchnahme der Maximalkraft bei gleicher Belastung prozentual geringer ist. Dies wiederum würde mit einer besseren Muskeldurchblutung einhergehen (Shepard, 1993b), was sich zusätzlich positiv auf die Sturzgefahr auswirken könnte. Denn nach Johnston et al. (1998) ist zu berücksichtigen, dass muskuläre Ermüdung zu einer erhöhten Sturzgefahr beitragen kann.

¹¹² Die Fähigkeit trotz einer eingegangenen großen Sauerstoffschuld eine hohe Leistungsfähigkeit aufrechterhalten zu können (= volitive Eigenschaften) ist beim Short Track leistungsbestimmend.

zwischen 11 und 13 mmol/l. Bei den anderen Altersklassen lagen die Werte zwischen 13-16 mmol/l, vereinzelt wurden sogar Blutlaktatwerte von 18 mmol/l gemessen. Im Vergleich zu den von Brusis (2004) gemittelten maximalen Blutlaktatwerten bei Wettkampfsimulationen über 500 und 1000 m, die von Junioren (Altersdurchschnitt $14,9 \pm 2,3$ Jahre) in den Jahren 1996/97 erreicht wurden (500m: $11,2 \pm 1,3$ mmol/l, 1000m: $10,5 \pm 1,5$ mmol/l), zeigten sich in dieser Studie für den selben Altersbereich deutlich höhere Blutlaktatwerte, was auf eine verbesserte anaerobe Kapazität hindeutet.

Die empirischen Daten dieser Studie belegen, dass aufgrund der kurzen Laufzeiten beim Short Track, keine besonderen Ansprüche an das aerobe Ausdauer niveau gestellt werden. Sowohl die maximale Sauerstoffaufnahme wie auch die Leistung an der individuellen aerob-anaerobe Schwelle nach Dickhuth zeigten nur sehr geringe Korrelationen mit der komplexen Wettkampfleistung (siehe Kap. 7.2.2, Tabelle 12) Da aber Short Track Athleten aufgrund des Wettkampfbegleiments mehrere Läufe innerhalb weniger Stunden absolvieren müssen, erscheint aufgrund der starken Beanspruchung des anaeroben Energiestoffwechsels während der Läufe, die Fähigkeit zur schnellen Laktatelimination vorteilhaft.

Die Eliminationshalbwertszeit für Laktat beträgt in Abhängigkeit von der Höhe der Laktatkonzentration zwischen 15 und 25 min (Graf et al., 2002a). Ausgehend von einer Blutlaktatkonzentration von 16 mmol/l und einer Eliminationshalbwertszeit von 20 min werden somit zirka 80 Minuten benötigt, um den Ruhewert von 1 mmol/l wieder zu erreichen. Durch aktive Erholung, z. B. lockeres Traben, kann der Prozess der Laktatelimination beschleunigt werden (Weineck, 2002). Um generell einen schnelleren Abtransport von Stoffwechselzwischen- und Endprodukten wie z. B. CO_2 und Laktat zu gewährleisten, bieten sich Ausdauertrainingsmethoden an, die eine vermehrte Kapillarisation zur Folge haben, wodurch Transport- und Diffusionswege verkürzt werden. Eine verbesserte muskuläre Durchblutung führt aufgrund der verbesserten Sauerstoff- und Nährstoffversorgung zu einer Steige-

rung der aeroben Energiebereitstellung¹¹³. Zudem kann das unwillkommene Produkt der anaeroben Energiebereitstellung, die Protonen, die in Form von Milchsäure an den Blutstrom abgegeben werden, verstärkt abtransportiert werden¹¹⁴. Durch die verbesserte Abpufferung der sauren Äquivalente¹¹⁵ kann der Sportler seine maximale aerobe Leistungsfähigkeit voll ausschöpfen und zudem die ATP-Resynthese auf dem Boden der anaeroben Glykolyse steigern (vgl. Newsholme et al., 1993, S. 347). Nach Martin et al. (1993) kann bei aeroben Stoffwechselwegen die gleichzeitige Nutzung der anaeroben Möglichkeiten der Muskulatur ausgelassen werden. Hingegen sind bei anaeroben Energiebereitstellungen, aufgrund der erforderlichen hohen Belastungsintensität, auch hohe aerobe Durchsatzraten bei der Energiebereitstellung erforderlich. Zusammengefasst bedeutet dies, dass die anaerobe Kapazität eine hohe aerobe Leistungsfähigkeit voraussetzt.

Das Bruttokriterium für die kardiopulmonale Kapazität, welche das entscheidende leistungsbegrenzende Kriterium der allgemeinen aeroben Ausdauer darstellt, ist die maximale Sauerstoffaufnahme pro Minute. Diese kann als absolute wie als relative, auf das Körpergewicht bezogene, maximale Sauerstoffaufnahme angegeben werden. Zur Beurteilung des Ausdauerleistungsvermögens ist die Angabe pro kg Körpergewicht vorzuziehen (vgl. Hollmann und Strüder, 2010, S. 298).

¹¹³ Gleichzeitig kommt es durch Ausdauertraining zu einer Zunahme der Mitochondrienzahl (de Marées, 2003) und zur einer Steigerung der aeroben Enzymkonzentration (Hohmann et al., 2002). Je mehr Mitochondrien vorhanden sind, desto mehr Pyruvat kann in den Zitronensäurezyklus eingeschleust und über den aeroben Stoffwechselweg metabolisiert werden (Graf et al., 2002a; de Marées, 2003).

¹¹⁴ Das im Muskel entstandene Laktat (Milchsäure – H^+) gelangt zum großen Teil über die Blutbahn zu anderen Organen, wo es verwertet wird. Zum einen ist Laktat ein willkommender Brennstoff für das Herz, zum anderen wird das Laktat in der Leber und den Nieren zur Glukoseneubildung verwendet (Martin et al., 1993).

¹¹⁵ Die Wasserstoffionen treffen im Blut auf das Bicarbonat (HCO_3^-), wobei die Absorption nach folgender Gleichung erfolgt: $HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3$ (Kohlensäure) $\rightarrow CO_2 + H_2O$. Das CO_2 wird über die Lunge abgeatmet, wodurch der Hydrogencarbonatpuffer regeneriert ist und erneut H^+ aufnehmen kann (Newsholme et al., 1993; Thews, 1993).

Anhand der empirischen Daten dieser Studie konnte ein geringer signifikanter Zusammenhang ($r = 0,415^*$) zwischen der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme und der anaeroben Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden.

Die in dieser Studie ermittelten relativen maximalen Sauerstoffaufnahmen lagen zwischen $44,3$ und $71,1 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$. Der Mittelwert berechnete sich mit $58,7 \pm 7,5 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$. Somit liegt der Durchschnittswert leicht über den Werten wie sie im Eisschnelllaufen beschrieben werden¹¹⁶. Anzunehmen ist, dass die höhere relative maximale Sauerstoffaufnahme auf das durchschnittlich leichtere Gewicht der Short Track Athleten zurückzuführen ist. Bei gleicher Größe weisen leichtere Sportler einen geringeren BMI auf. Die Ergebnisse dieser Studie belegen, dass der BMI einen signifikanten Einfluss ($r = -0,535$) auf die relative maximale Sauerstoffaufnahme hat.¹¹⁷

Die höchsten Werte in Bezug auf die relative maximale Sauerstoffaufnahme erreichten die männlichen D-Junioren mit durchschnittlich $66,4 \pm 3,4 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$ und die männlichen Senioren mit $63,1 \pm 6,6 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$. Dies spiegelt eine sehr gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit wieder. Die hohe maximale Sauerstoffaufnahme bei den D-Junioren kann damit erklärt werden, dass die anaeroben Enzymaktivitäten im Kindes- und frühen Jugendalter unter den Normalwerten von Erwachsenen liegen (Hollmann & Hettinger, 2000). Zudem sind die Kreatinphosphat- und Glykogenkonzentrationen bei Kindern und Jugendlichen deutlich geringer als bei Erwachsenen (Inbar & Bar-Or, 1986). Deswegen wird an-

¹¹⁶ De Boer et al. (1987) ermittelten Werte von $50,5 \pm 8,0 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$, di Prampero et al. (1976) $54,4 \pm 2,6 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$, Ferguson et al. (1969) $55,3 \pm 5,8 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$ und Kandou et al. (1987) $53,9 \pm 4,2 \text{ ml*kg}^{-1}\text{*min}^{-1}$.

¹¹⁷ Der beobachtbare Zusammenhang zwischen BMI und relativer maximaler Sauerstoffaufnahme beträgt $r = -0,419$ (siehe Korrelationsmatrix im Anhang, Abschnitt B). Auf Grund der Inhomogenität der Stichprobe, wurde das Alter herauspartalisiert. Die Ergebnisse der Partialkorrelation zeigen, dass bei der beobachtbaren Korrelation eine Suppression vorliegt und der Zusammenhang bei Kontrolle des Alters mit $r = -0,535$ hoch signifikant ist (siehe Tabelle 16 und Abbildung 44). Somit können 28,6% der Unterschiede in der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme allein durch den BMI erklärt werden.

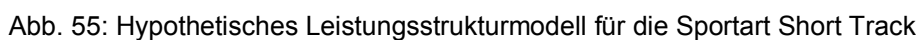
genommen, dass der Anteil der aeroben Energiebereitstellung bei Maximalbelastungen im Kindes- und frühen Jugendalter höher ist als im Erwachsenenalter (vgl. Brusis, 2004, S. 47). Nach Hollmann und Hettinger (2000) liegen Kinder generell mit ihrer körpertgewichtsbezogenen aeroben Leistungsfähigkeit über dem Normbereich der Erwachsenen.

Brusis (2004) diskutiert noch eine weitere Möglichkeit, warum die maximale Sauerstoffaufnahme bei den Junioren höher bzw. bei den Senioren niedriger ausfällt. Der Autor geht davon aus, dass es durch die speziellen Anforderungen an die anaeroben Systeme beim Short Track und die höheren Trainingsjahre bei den älteren Probanden zu einer Selektion zu Gunsten der Sportler mit vorwiegend FT-Fasern kommt. Durch die Hypertrophie der FT-Fasern in der Arbeitsmuskulatur wird der Energiebedarf zu einem größeren Anteil über anaerobe Prozesse gedeckt und somit eine geringere maximale Sauerstoffaufnahme erreicht (vgl. Brusis, 2004, S. 47).

Abschließend ist zu erwähnen, dass insgesamt 15 der 26 untersuchten Sportler ihre höchste Sauerstoffaufnahme beim Labortest (6 beim Stufentest, 9 beim PLT) und 11 Sportler auf dem Eis (3 auf der 500 m-Distanz, 6 auf der mittleren Distanz und 2 auf der 1500 m-Distanz) erreichten. Die in der Literatur (Kandou et al., 1987; Rundell & Pripstein, 1995; Rundell, 1996a) beschriebenen Differenzen zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme in der Eisschnelllaufposition im Gegensatz zum aufrechten Laufen und bei der Fahrradergometrie fielen in dieser Studie nicht auf¹¹⁸.

¹¹⁸ Die durchschnittliche relative maximale Sauerstoffaufnahme bei den Wettkampfsimulationen über die Einzelwertungs-Wettkampfstrecken beträgt $56,5 \pm 8,6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, bei den Labortest ist sie mit $56,7 \pm 6,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ fast identisch.

Werden die zuvor beschriebenen Zusammenhänge der leistungsrelevanten konditionellen Merkmale zusammengetragen, ergibt sich eine komplexe Beziehungsstruktur, die in Abbildung 55 grafisch in einem Strukturmodell dargestellt wird.



201

alaktazide Leistungsfähigkeit beeinflussen in erster Linie die Beschleunigungsfähigkeit. Die Sprint- und Explosivkraft hängen signifikant von der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur ab. Die Maximalkraft, die über die Sprintkraft bzw. über die Wettkampfteilleistung einen indirekten Einfluss auf die komplexe Wettkampfleistung ausübt, stellt eine elementare Fähigkeit für Short Track Athleten dar. Allein durch die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur können rund 27%, also mehr als ein Viertel der Unterschiede in den 500- und 1000 m-Laufzeiten erklärt werden.

Da der Start bzw. der Beschleunigungsweg nur einen verhältnismäßig geringen Anteil an der Gesamtstrecke ausmacht, bedarf es zur Aufrechterhaltung der maximalen Laufgeschwindigkeit (=Grundschnelligkeit) bzw. um den Geschwindigkeitsabfall gering zu halten (=Schnelligkeitsausdauer), einer gut ausgebildeten anaeroben laktaziden Leistungsfähigkeit. Aufgrund der sehr hohen Belastungsintensitäten über 42 s bis 2:30 min sind zudem hohe aerobe Durchsatzraten der Energiebereitstellung erforderlich. Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, dass die auf das Körpergewicht bezogene maximale Sauerstoffaufnahme einen signifikanten Einfluss auf die anaerobe Kapazität ausübt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Athleten mit einem höheren BMI im Durchschnitt über eine schlechtere aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit verfügen.

Aufgrund der hohen Anzahl von Kurvendurchläufen und der engen Kurvenradien beim Short Track hat das Körpergewicht einen enormen Einfluss auf den Energieverbrauch bzw. -stoffwechsel. Entsprechend der wirkenden Zentrifugalkraft muss der Läufer eine dieser Kraft entsprechenden Gegenkraft aufbringen, um nicht aus der Kurve getragen zu werden. Somit haben leichtere Läufer Vorteile, da diese im Kurvenlauf Kräfte sparen, die sie dann im weiteren Verlauf des Wettkampfes gegenüber den schwereren Sportlern mobilisieren können (vgl. Brusig, 2004, S. 60).

Vor allem die große Bedeutsamkeit der Beschleunigung ($\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$) spricht für eine Maximierung der Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur unter der Berücksichtigung, das Körpergewicht möglichst gering zu halten. Zugleich ist davon auszugehen, dass bei einem Anstieg der Maximalkraft die Inanspruchnahme dieser bei gleicher Belastung prozentual geringer ist. Dies wiederum würde mit einer besse-

ren Muskeldurchblutung einhergehen. Folglich würden bei gleichen Belastungsintensitäten anaerobe Energiebereitstellungsmechanismen, die die Muskelfunktion verschlechtern, erst später oder im geringeren Umfang in Anspruch genommen werden (Shepard, 1993b). Somit ist davon auszugehen, dass, je größer die Maximalkraft der Athleten ist, diese desto mehr Reserven haben und die (neuro-) muskuläre Ermüdung¹¹⁹ umso später einsetzt.

Da höhere Maximalkraftausprägungen normalerweise mit einer Dickenzunahme des Muskels einhergehen, was wiederum eine Gewichtszunahme zur Folge hätte, ist beim Training darauf zu achten, dass die Steigerung der Maximalkraft bevorzugt durch neuronale Anpassungen¹²⁰ erfolgt. Anzustreben ist ein optimales Masse-Kraft-Verhältnis.

8.2.4 Konsequenzen für das Training und Trainingsempfehlungen

8.2.4.1 Verbesserung der Kraftfähigkeiten der Beinstreckmuskulatur

Aufgrund der hohen Kräfte, die beim Start und speziell im Kurvenlauf aufzubringen sind, erscheint es zweckmäßig, die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur zu maximieren. Beim Krafttraining ist zu berücksichtigen, dass die Kraftzunahme einerseits durch neuronale Anpassungen begleitet wird und zum anderen durch Hyper-

¹¹⁹ Ermüdung ist als multifaktorielles Geschehen zu sehen, dessen Ereignisse in ihrer Gesamtheit die körperliche und psychische Leistungsfähigkeit verändern (Neumann et al., 1999). Muskuläre Ermüdung wird u.a. verursacht durch eine metabolische Azidose (Mader, 1994). Zudem wird das Ausmaß der Ermüdung bestimmt vom Verbrauch muskulärer Energiequellen (z. B. Glykogen- und Phosphat-Speicher) (Zintl & Eisenhut, 2001), durch das Absinken des Blutzuckerspiegels (Newsolme & Parry-Billings, 1991), die Akkumulation von Ammoniak (Schulz & Heck, 2001), starke Elektrolyt- und Flüssigkeitsverluste (Noakes, 1992) und Hyperthermie in der Muskulatur (Coudreuse et al., 2001). Neben der beschriebenen muskulären Ermüdung existiert noch die Form der neuronalen Ermüdung aufgrund der Erschöpfung der Neurotransmittervorräte (Zintl & Eisenhut, 2001).

¹²⁰ Die Kraftzunahme durch neuronale Anpassungen ist hauptsächlich gekennzeichnet durch eine Erhöhung der Entladungsfrequenz, Rekrutierung einer höheren Anzahl mE, einer verbesserten Synchronisation zwischen den mE und einer Abnahme der autogenen Hemmung (Wilmore et al., 2008).

trophie erfolgen kann (vgl. Wilmore et al., 2008, S. 212). Bei der Muskelquerschnittserweiterung kommt es gezwungenermaßen zu einer Gewichtszunahme der Athleten. Dieser Effekt wirkt sich nachteilig auf den Energieverbrauch des Sportlers aus, da bei gleicher Laufgeschwindigkeit und zunehmendem Körpergewicht die Zentrifugalkraft in der Kurve steigt. Da sich zudem unter Umständen eine Muskelverdickung negativ auf die Sauerstoffversorgung der Muskulatur auswirkt (Hollmann & Strüder, 2009), sollte beim Maximalkrafttraining ein optimales Masse-Kraft-Verhältnis angestrebt werden. Im Vordergrund der Trainingsbemühungen sollte deshalb die Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur stehen (Martin et al., 1993). Zur Anwendung sollten bevorzugt konzentrische und isometrische Übungen kommen, da nach Wilmore et al. (2008) exzentrisches Training vor allem zur Maximierung der Muskelhypertrophie beiträgt.

Um eine Kraftsteigerung durch überwiegend neuronale Anpassungen zu gewährleisten, sollte im Training mit möglichst hoher Intensität, 85 - 100% des 1RM¹²¹, trainiert werden. Die Anzahl der Wiederholungen sollte zwischen einer und maximal sechs liegen und die Pausendauer mindestens 3 min betragen. Pro Übung werden 3-5 Serien empfohlen (Martin et al., 1993; Wilmore et al., 2008).

Nach Schmidbleicher (1987) sind Methoden der maximalen Kontraktionen durch kurzzeitige, explosiv ausgeführte Maximalkontraktionen gegen hohe Lasten (90-100% des 1 RM) gekennzeichnet. Der Autor empfiehlt für hochtrainierte Athleten fünf Serien mit jeweils einer Wiederholung und 100% Belastung. Die Pausenlänge wird mit 5 min angegeben.

Neben dem Niveau der Maximalkraft hat auch die Schnellkraft, speziell die Explosivkraft, einen direkten Bezug zur Beschleunigungsleistung beim Sprint (Hollmann & Strüder, 2009). Da der Zusammenhang zwischen Maximal- und Explosivkraft empirisch-statistisch nachgewiesen wurde, ist davon auszugehen, dass beim Training der Maximalkraft positive Transfereffekte auf die Explosivkraft zu erwar-

¹²¹ Das 1-repetition maximum (1 RM) ist definiert als das Gewicht, was die entsprechende Person nur einmal heben (überwinden) kann = Lastmaximum (Hohmann et al., 2002; Wilmore et al., 2008).

ten sind. Um aber gleichzeitig eine hohe Effektivität zu erreichen, ist es notwendig ein spezielles Krafttraining, dem ein allgemeines aufbauendes Training vorausgegangen ist, anzuschließen. Da es sich beim Short Track um eine anspruchsvolle und komplexe Bewegung handelt, sollte unabhängig von der Maximalkraft die schnelligkeitsspezifische Kraft trainiert werden.

Um eine höhere Bewegungsschnelligkeit zu erreichen, muss mit leichten Gewichten und schneller Bewegungsausführung möglichst bewegungsadäquat zur Sportart trainiert werden (vgl. Weineck, 2002, S. 308). Für die Fähigkeit einer schnellen Kraftentwicklung müssen vor allem die II-b-Fasern, die Fasern mit dem höchsten Schnellkraftniveau, durch das Training erfasst werden. Dafür bieten sich Methoden an, die durch eine explosive Kraftentfaltung gekennzeichnet sind (Weineck, 2002). Zwar kann durch ein spezifisches Schnellkrafttraining der Prozentsatz an schnellen Muskelfasern nur unwesentlich vergrößert werden, jedoch nimmt durch das Training der Querschnitt der FT-Fasern und damit die Masse der Muskelfasern zu (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 258).

Schmidtbleicher (1987) empfiehlt für das Schnellkrafttraining Belastungen von 30-50% des Kraftmaximums. In fünf Serien sollen jeweils sieben Wiederholungen mit explosiver Bewegungsausführung erfolgen. Die Pausenlänge gibt der Autor mit 3-5 min an. Desweiteren besteht die Möglichkeit, die Schnellkraft durch reaktive Methoden (=plyometrische Übungen) zu steigern. Das wesentliche Element der Übungen ist, dass in der Regel nach der Landung eine sofortige weitere Aktion erfolgt, z. B. Sprungkombinationen. Bei diesen Übungen ist auf eine exakte und explosive Bewegungsausführung mit optimalem Übergang von der Dehnung zur Verkürzung mit explosiver konzentrischer Arbeit zu achten (vgl. Martin et al., 1993, S. 134). Die Belastungsstruktur sieht folgende Merkmale vor: 3-5 Serien von 8-10 Wiederholungen mit kurzen Pausen, die Serienpause beträgt 3-5 min (Schmidtbleicher, 1987; Martin et al., 1993).

Als weitere Trainingsmethode zur Verbesserung der Kraftparameter bietet sich ein kombiniertes Maximalkrafttraining (IK-Training) mit vorgestelltem Sensomotoriktraining (SMT) an. Verschiedene Studien belegen, dass ein Krafttraining die willkürliche Maximal-, Explosiv- und Sprungkraft infolge neuronaler (Carroll et al.,

2002) und morphologischer (Folland & Williams, 2007) Adaptationen verbessert. Ebenso führt ein SMT, welches im Rahmen der Prävention und Rehabilitation von Gelenkverletzungen und im Hinblick auf die Optimierung der posturalen Kontrolle angewendet wird (Rozzi et al., 1999; Verhagen et al., 2004), zu Verbesserungen der Maximal-, Explosiv- und Sprungkraft (Bruhn et al., 2004; Kean et al., 2006). Während die Studienergebnisse in Abhängigkeit vom Trainingszustand und der untersuchten Muskelgruppe in Hinblick auf die Wirkweise eines reinen SMT divergieren, zeigen Studien mit einer kombinierten Anwendung von Sensomotorik- und Krafttraining sowohl bei Untrainierten als auch bei Trainierten Verbesserungen der Kraftparameter und der muskulären Aktivität (Bruhn et al., 2006; Behrens et al., 2010).

Bei einem an der Universität Rostock vom BiSP geförderten Projekt¹²² zur neuromuskulären Aktivierung wurden Auswirkungen eines kombinierten SMT und IK-Trainings auf die Aktivierungscharakteristik, die Kraftfähigkeiten und die Leistungsfähigkeit beim Kurvenlauf beobachtet. Nach einer 12-wöchigen Trainingsphase wurden Leistungssteigerungen bei den Short Track Athleten u. a. für die isometrische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur, für das isokinetisch ermittelte Drehmoment im Sprunggelenk sowie im Kurvenlauf dokumentiert (Behrens et al., 2010; Felser et al., 2012). Diese Verbesserungen waren dabei sowohl dem hochintensiven Maximalkrafttraining wie auch dem SMT zuzuordnen. Einige Autoren vermuten, dass die Zunahmen der Maximal- und der Explosivkraft das Ergebnis eines erhöhten neuronalen Inputs (Aagaard, 2003; Duchateau & Hainaut, 2003) sowie morphologischer Veränderungen sind (Enoka, 2008).

Es kann angenommen werden, dass insbesondere für Kinder und junge Athleten die Integration eines SMT in das reguläre Trainingsprogramm vorteilhaft ist, da eine Verbesserung der Kraftparameter ohne starke Beanspruchung des tendomuskulären Systems überlastungsbedingte Verletzungen vermeiden kann.

¹²² Forschungsbericht der Arbeitsgruppe Bruhn an das Bundesinstitut für Sportwissenschaft II A1-070712 /06-07

8.2.4.2 Verbesserung des Startvermögens und der Grundschnelligkeit

Die Start- und Beschleunigungsfähigkeit, das belegen auch die Ergebnisse dieser Studie, hat einen beachtlichen Einfluss auf die Leistung beim Short Track (Kwon et al., 1997; Brusis, 2004). Die Beschleunigungsfähigkeit wird hauptsächlich durch die Maximal- und Explosivkraft der Beinstreckmuskulatur beeinflusst. Somit bieten sich zur Verbesserung des Startvermögens sowohl ein Schnellkrafttraining zur Erhöhung der Kraftbildungsgeschwindigkeit als auch ein kombiniertes SMT mit Maximalkrafttraining an (siehe Kapitel 8.2.4.1). Beim Maximalkrafttraining geht es in erster Linie um die Verbesserung der Aktivierungsfähigkeit der Muskulatur (intra- und intermuskuläre Koordination). Durch das vorgeschaltete SMT soll der neuromuskuläre Beitrag bei der initialen Kraftentfaltung erhöht werden (Gruber & Gollhofer, 2004; Bruhn et al., 2006).

Die maximal erreichbare Geschwindigkeit innerhalb eines zyklischen Bewegungsablaufes (=Grundschnelligkeit) wird durch einen hohen Prozentsatz schneller Muskelfasern begünstigt (Hollmann & Strüder, 2009). Die Faserzusammensetzung wie auch die Größenordnung der Myosin-ATPase, die eine entscheidende Bedeutung für die Entwicklung eines explosiven Kraftaufwandes hat, sind scheinbar wesentlich genetisch determiniert, so dass davon auszugehen ist, dass diese nur geringfügig durch Training beeinflussbar sind (Wilmore et al., 2008; Hollmann & Strüder, 2009). Nach Hollmann und Strüder (2009) sind die wesentlichen durch Training beeinflussbaren Faktoren für die Größe der Grundschnelligkeit die dynamische Kraft und die Koordination.

Im Vordergrund der Bemühungen um eine Verbesserung der Grundschnelligkeit steht nach Hollmann und Strüder (2009) die Beachtung der Koordination. Für die Ausbildung eines optimalen motorisch-dynamischen Stereotyps müssen die Bewegungsmuster der betreffenden Bewegungsabläufe immer wieder durchgespielt werden. Vor allem im Training mit Fortgeschrittenen sollte das entsprechende Krafttraining vornehmlich nur mit jenen Bewegungen durchgeführt werden, in de-

nen die Grundschnelligkeit erhöht werden soll¹²³ (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 263).

Eine kombinierte Verbesserung von Start, Beschleunigungsphase und Grundschnelligkeit ist durch Kurzsprints über 50-60 m zu erreichen. Zu beachten ist, dass ein Training zur Verbesserung der Grundschnelligkeit nicht im ermüdeten Zustand und nur mit dem Willen zur optimalen Leistung (Martin et al., 1993; Weineck, 2002) durchgeführt werden sollte. Auch während des Trainings müssen die Pausen ausreichend lang sein, um Ermüdung und damit Beeinträchtigungen in der Koordination, zu vermeiden¹²⁴ (Hollmann & Strüder, 2009). Empfohlen wird zur Verbesserung der Grundschnelligkeit die Zurücklegung einer Wegstrecke unter Transportierung einer nichtmaximalen Last (maximale Belastungsintensitäten 70-80% der iMVC) mit Höchstgeschwindigkeit (Zaciorskij, 1968, zitiert nach Hollmann & Strüder, 2009).

Untersuchungen haben gezeigt, dass die elementaren Schnelligkeitseigenschaften besonders gut im frühen Schulkindalter und in der ersten puberalen Phase trainierbar sind. Dies hängt damit zusammen, dass Kinder im Vergleich zu Erwachsenen einen höheren Anteil an Intermediärfasern aufweisen. Der Anteil bei Jungen liegt bei 13% und bei Mädchen bei 7,6%. Im Gegensatz dazu weisen Erwachsene nur einen Anteil von 2-3% auf (Weineck, 2002). Ein frühzeitiges schnelligkeitsorientiertes Training kann dazu führen, dass durch die Umwandlung der

¹²³ Nach Martin et al. (1993, S. 171) gehört es zur Verbesserung der Schnelligkeitsleistungen, dass die Bewegungsabläufe mit großer technischer Präzision durchgeführt werden. Aus diesem Grund sollte eine Bewegung erst dann schnell durchgeführt werden, wenn die richtige Technik stabilisiert ist.

¹²⁴ Aufgrund der Temperaturabhängigkeit aller chemischen Prozesse u. a., der Stoffwechselvorgänge im Organismus und die Nervenleitgeschwindigkeit, sollte eine Körpertemperatur von 38,5° angestrebt werden, was eine systematische Aufwärmarbeit von 15-30 min und den Erhalt dieser Temperatur voraussetzt (Martin et al., 1993). Desweiteren muss vor dem Schnelligkeitstraining die Muskulatur dehnfähig gemacht werden, um die inneren Widerstände zu minimieren. „Wenn sich ein Muskel kontrahiert, muss sein Antagonist leicht dehnbar sein, um der agonistischen Muskulatur einen optimalen Widerstand entgegenzusetzen (vgl. Martin et al., 1993, S. 171).

Intermediärfasern in FT-Fasern der Anteil an schnellzuckenden Muskelfasern optimiert wird. Somit kann die genetisch vorgegebene Muskelfaserzusammensetzung im Hinblick auf ein höheres Schnelligkeitspotential frühzeitig beeinflusst werden (vgl. Weineck, 2002, S. 401).

8.2.4.3 Verbesserung der Schnelligkeitsausdauer

Ausgehend davon, dass beim Wettkampf jedes Rennen mit hoher bzw. höchster Intensität absolviert wird, sind bereits nach sechs bis zehn Sekunden die Vorräte an energiereichen Phosphaten (ATP, CrP) in der Muskulatur verbraucht (Hohmann et al., 2002; Weineck, 2002). Mit der Abnahme der CrP-Konzentration nimmt auch die Leistung in der Beschleunigungsphase ab.

Mit zunehmender Laufstrecke nimmt die Beteiligung glykolytischer Prozesse (anaerobe laktazide Energiebereitstellung) an der Gesamtenergiebereitstellung beachtlich zu, was zu einer progressiven Erhöhung der Laktatwerte führt (Weineck, 2002; Hollmann & Strüder, 2009). Nach Hollmann und Strüder (2009) ist die relative Beibehaltung der Geschwindigkeit das Resultat eines dynamischen Gleichgewichts zwischen Leistung und einer nahezu 100%igen Aktivierung der Glykolyse. Um die maximale Laufgeschwindigkeit möglichst lange aufrechtzuerhalten bzw. den Geschwindigkeitsabfall gering zu halten, bedarf es somit einer gut ausgebildeten Schnelligkeitsausdauer.

Trainingsmittel zur Verbesserung der Schnelligkeitsausdauer (= dynamische anaeroben Ausdauer) sind (1.) aerobe Ausdauerbeanspruchungen zur Erhöhung der anaeroben Schwelle und (2.) das Intervalltraining. Die größte Wirksamkeit besitzen Tempowechselläufe, aufgrund ihres breiten Spektrums hinsichtlich der physikalischen und chemischen Mechanismen im Organismus (Hollmann & Strüder, 2009).

(1.) Zur Entwicklung und Optimierung der aeroben Leistungsfähigkeit (Erhöhung der anaeroben Schwelle) empfiehlt sich die Dauermethode mit einer Belastung

von 92 - 97% vom point of deflection¹²⁵ (Martin et al., 1993). Laktatproduktion und Laktatelimination befinden sich hierbei im Gleichgewicht (= Laktat-stady-state), so dass die Belastung über einen langen Zeitraum aufrecht erhalten werden kann. Als die wichtigsten physiologischen Wirkungen sind die Kapillarisation der Arbeitsmuskulatur, das verbesserte Sauerstoffaufnahmevermögen und die Erhöhung der Pufferkapazität zu nennen (Weineck, 2002). Nach Weineck (2002, S. 176) ist für die Aussprossung der Haargefäße (Kapillarisation) ein Belastungsumfang von mindestens 30 min erforderlich.

(2.) Für das Training der Schnelligkeitsausdauer bietet sich das Intervalltraining, speziell die intensive Intervallmethode an. Die Belastungsintensität liegt je nach Belastungsdauer zwischen 80 und 100% der möglichen Höchstgeschwindigkeit. Die einzelnen Wiederholungen können in Serien zusammengefasst werden (Hohmann et al., 2002). Das Intervalltraining wirkt sich vor allem auf die Vergrößerung der Herzleistungsgrößen aus, was sich günstig auf die maximale Sauerstoffaufnahme und damit Ausdauerleistungsfähigkeit auswirkt. Zudem führt das intensive Intervalltraining, bei Belastungsintensitäten über 90% der maximalen Sauerstoffaufnahme, mehr zu einer selektiven Beanspruchung und damit Speicherentleerung bzw. Hypertrophie der FT-Fasern (Weineck, 2002).

Zur Aktivierung und Steigerung der glykolytischen Enzyme sind Belastungen von 30-40 s Dauer mit maximaler Intensität erforderlich. Die Wiederholungszahl sollte, je nach Trainingszustand, zwischen 3-8 liegen. Zwischen den Wiederholungen sind Pausen von mindestens 3 min einzuhalten (Martin et al., 1993; Hollmann & Strüder, 2009). Für die Beanspruchung überwiegend glykolytischer Vorgänge muss die Belastungsdauer auf 60-80 s mit submaximalen Belastungsintensitäten verlängert werden. Die Pausendauer, die 30 s bis einige Minuten betragen kann, ist so zu wählen, dass der Laktatspiegel in den ersten Wiederholungen ständig weiter ansteigt (Hollmann & Strüder, 2009).

¹²⁵ Die Herzfrequenz an der individuelle anaerobe Schwelle.

Für die Verbesserung der Pufferkapazität im Skelettmuskel sind Belastungen von 90-120 s mit nahezu maximaler Intensität erforderlich. Die Pausen zwischen den 2 bis 6 Wiederholungen sollten mindestens drei Minuten betragen (Martin et al., 1993).

Beim Ausdauertraining ist darauf zu achten, dass bei Kindern vorwiegend aerobe Belastungen geringer bis mittlerer Intensität und intensive Kurzzeitbelastungen (anaerob alaktazide Energiebereitstellung) eingesetzt werden. Aufgrund der bei Kindern fehlenden psychophysischen Voraussetzungen sollte das Training zur Verbesserung der anaeroben Kapazität erst ab Beginn der Pubertät an Umfang zunehmen (Weineck, 2002).

9. Zusammenfassung und Ausblick

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Frage, ob die unzureichende Medaillenausbeute deutscher Short Track Athleten bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen mit der Trainingsgestaltung zusammenhängt, die sich stark am Training der international erfolgreichen Eisschnellläufer orientiert. Ergebnisse vereinzelt durchgeführter Analysen zu spezifischen Fragestellungen hinsichtlich der Leistungsstruktur für die Sportart Short Track deuteten darauf hin, dass aufgrund der stark voneinander abweichenden Rahmenbedingungen, andere Leistungsvoraussetzungen als im Eisschnelllaufen für ein erfolgreiches Abschneiden beim Short Track elementar sind.

Im Zuge der Beantwortung dieser Frage wurde im Rahmen dieser Arbeit eine umfangreiche Leistungsdiagnostik an 26 deutschen Short Track Athleten durchgeführt. Unter Einsatz verschiedener statistischer Analyseverfahren wurden die empirisch-statistisch leistungsrelevanten konditionellen Faktoren bestimmt.

Die Ergebnisse dieser empirisch-analytischen Studie waren, dass bezogen auf die konditionellen Fähigkeiten und Fertigkeiten, zwei elementare Dimensionen für die Leistung beim Short Track relevant sind. Da der Start eine große Bedeutung auf das Wettkampfergebnis hat, ist die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur fundamental. Diese sollte unter Berücksichtigung eines optimalen Masse-Kraft-Verhältnisses maximiert werden. Aufgrund der hohen Kräfte, die speziell in den engen Kurven aufgebracht werden müssen, und der damit verbundenen Minderversorgung der beanspruchten Muskulatur mit Sauerstoff, nimmt die anaerobe Leistungsfähigkeit ebenfalls eine bedeutende Schlüsselposition ein.

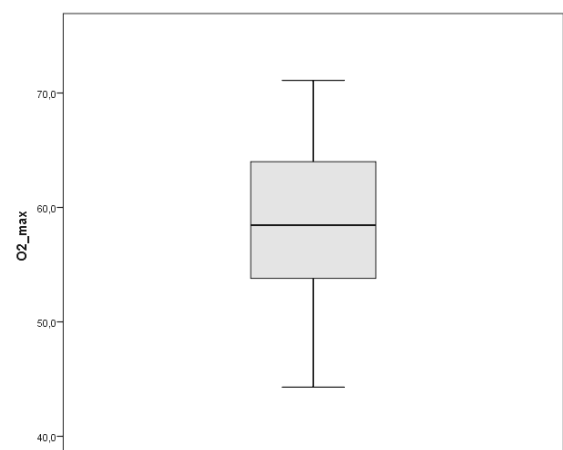
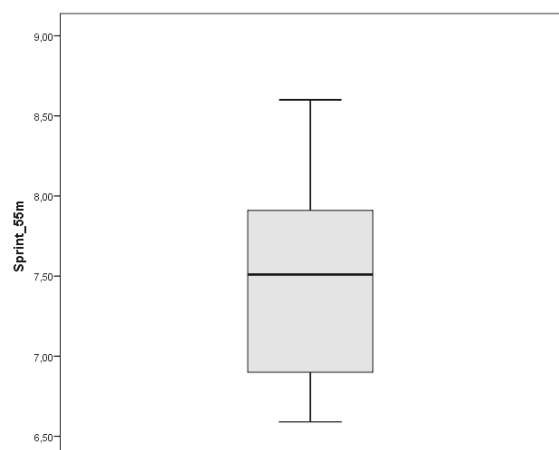
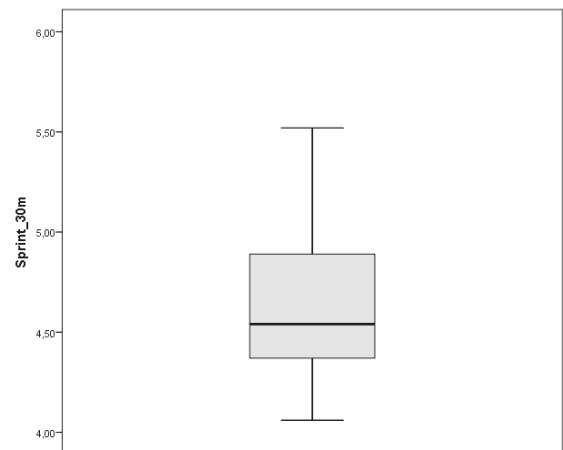
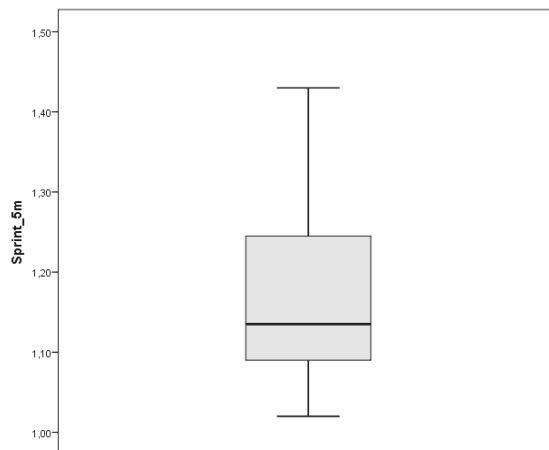
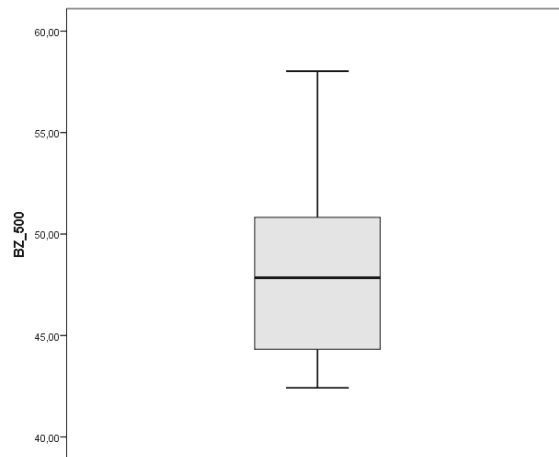
Die Untersuchungen wurden mangels Zugriff auf weitere Spitzenathleten an einer relativ kleinen und inhomogenen Stichprobe durchgeführt. Die am Ende entstandenen Auswertungen zeigen zwei Dinge sehr klar: Zum einen ergeben sich neue Aspekte hinsichtlich der notwendigen körperlichen und konditionellen Voraussetzungen und der optimierten Trainingsgestaltung. Zum anderen zeigen die Auswertungen aber auch, dass weitere, breiter angelegte Studien zur Validierung der sich

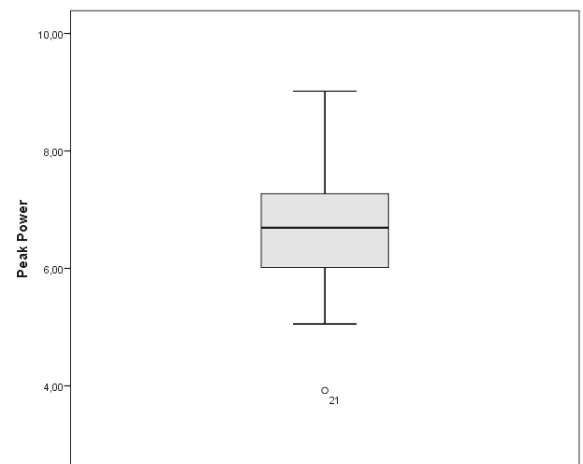
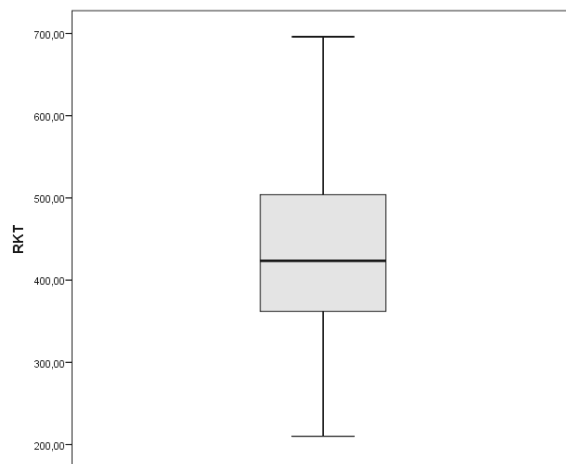
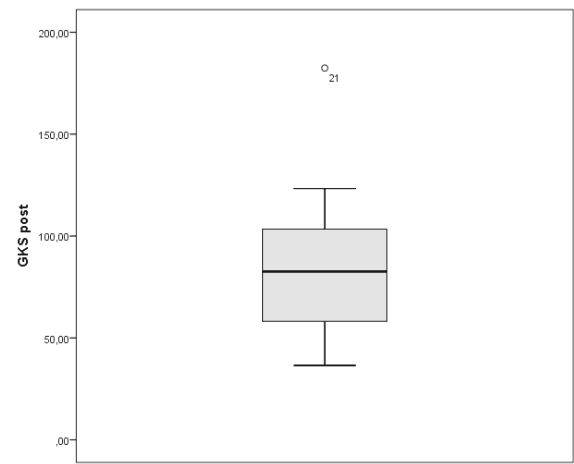
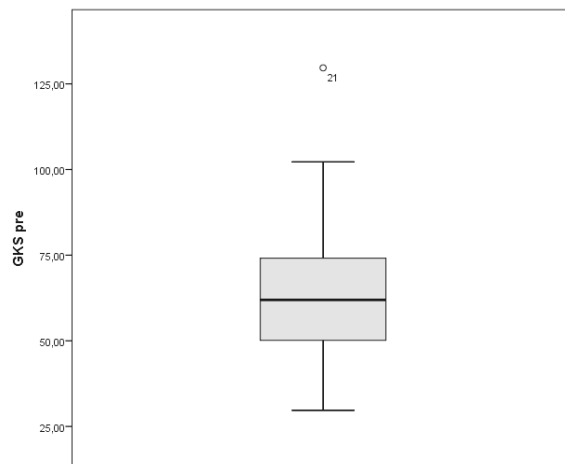
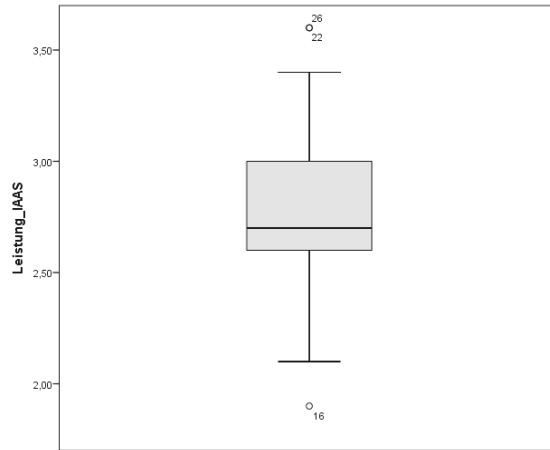
ergebenden Hypothesen sinnvoll und vereinzelt notwendig sind. Speziell für die konditionellen Faktoren, für die kein signifikanter Zusammenhang auf die Leistung nachgewiesen wurde, sollten nochmals Untersuchungen mit anderen Methoden (z. B. andere Messindikatoren) eingesetzt werden, mit denen eventuell die Nullhypothese entkräftet werden kann. Ein nicht signifikanter Zusammenhang muss nicht mit der Annahme gleichgesetzt werden, dass diese Faktoren keinen Einfluss auf die Leistung beim Short Track haben.

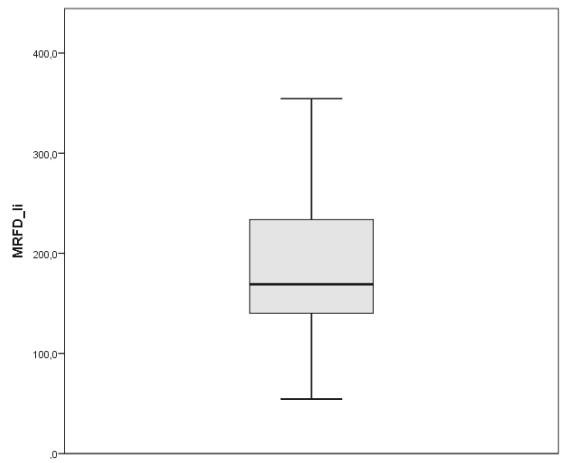
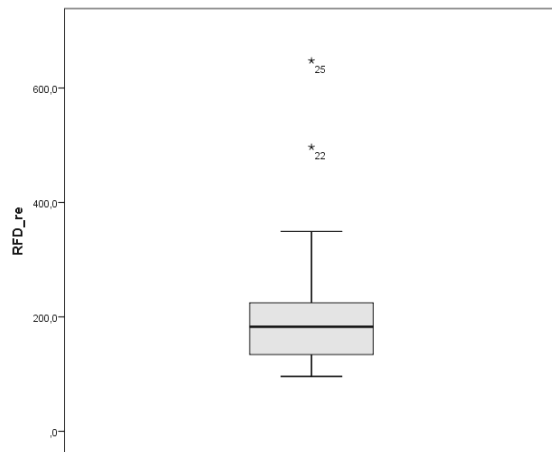
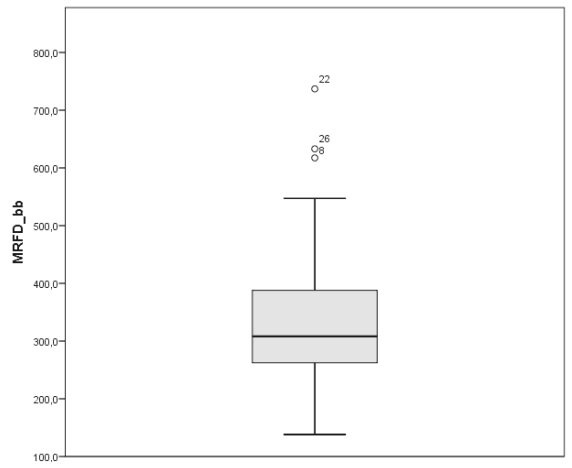
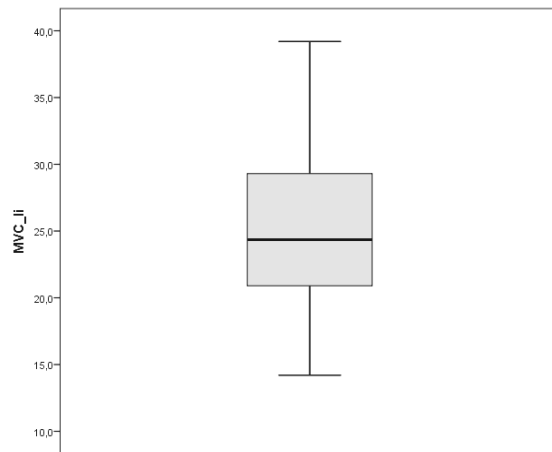
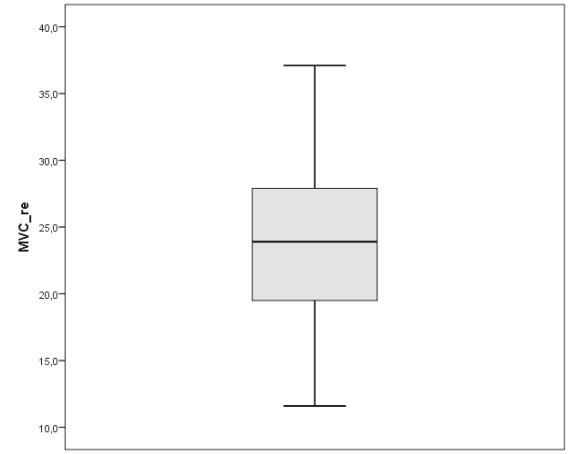
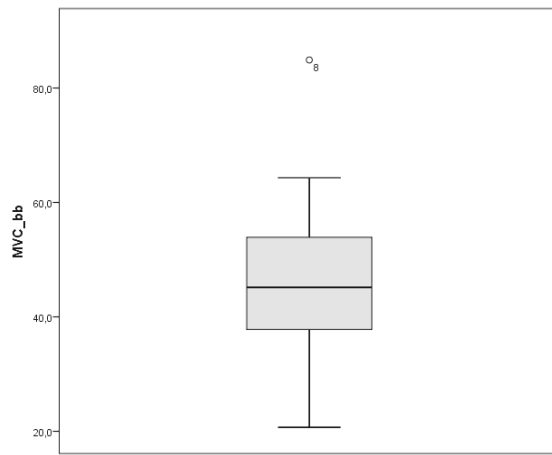
Ausgehend von der Erkenntnis, dass eine Verbesserung der Grundschnelligkeit im Vordergrund der Trainingsbemühungen beim Short Track stehen sollte, sind dringend Untersuchungen hinsichtlich der Koordination (Technik) notwendig. Für eine umfassende Leistungsstrukturanalyse sind ebenfalls Untersuchungen zur Taktik sowie zu den psychischen Fähigkeiten unerlässlich. Da beim Short Track die Kontrahenten direkt gegeneinander laufen, ist anzunehmen, dass die Psyche eine wichtige Rolle spielt. Welche Faktoren, die die Leistung beim Short Track bestimmen, von Bedeutung sind, sollte ermittelt werden, bevor ein umfassender Rahmentrainingsplan für diese Sportart erstellt werden kann.

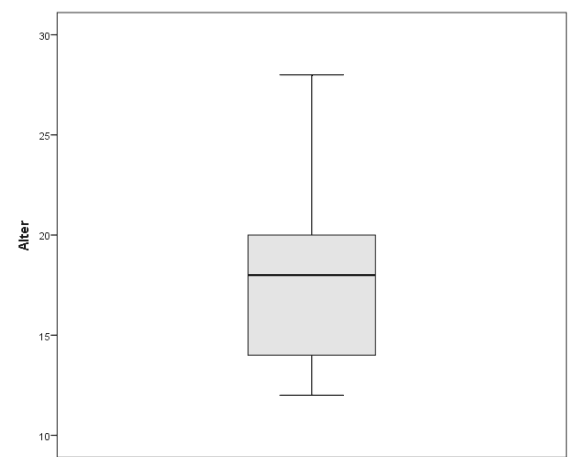
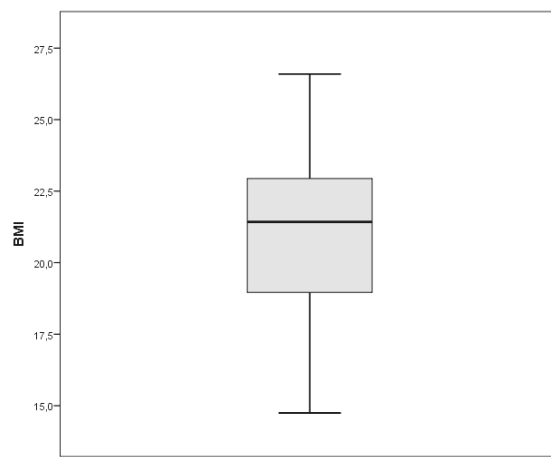
Anhang

A Test auf Extremwerte und Ausreißer mittels Box-Whisker-Plots









B Korrelationsmatrix

	BZ_500	BZ_1000	Sprint_5m	Sprint_30m	Sprint_55m	Peak Power	PLT_45s	GKS pre	GKS post	RKT	Leistung_IAAS	iMVC_bb	iMVC_re	iMVC_li	MRFD_bb	MRFD_re	MRFD_li	O2_max	BMI
BZ_500	1	,982 ,000	,434 ,017	,767 ,000	,899 ,000	-,750 ,000	-,795 ,000	,182 ,192	,290 ,080	-,570 ,001	-,133 ,283	-,584 ,001	-,636 ,000	-,621 ,000	-,618 ,001	-,707 ,000	-,579 ,001	-,185 ,183	-,558 ,002
BZ_1000	,982 ,000	1	,446 ,014	,776 ,000	,897 ,000	-,752 ,000	-,788 ,000	,216 ,150	,298 ,074	-,591 ,001	-,198 ,195	-,577 ,001	-,643 ,000	-,618 ,000	-,553 ,003	-,660 ,000	-,527 ,003	-,178 ,191	-,547 ,002
Sprint_5m	,434 ,017	,446 ,014	1	,793 ,000	,584 ,001	-,413 ,022	-,535 ,004	-,060 ,393	-,073 ,370	-,122 ,285	-,069 ,390	-,598 ,001	-,667 ,000	-,686 ,000	,015 ,474	-,296 ,103	-,267 ,103	-,309 ,071	,001 ,499
Sprint_30m	,767 ,000	,776 ,000	,793 ,000	1	,915 ,000	-,649 ,000	-,728 ,000	,045 ,419	,040 ,429	-,329 ,058	-,101 ,340	-,663 ,000	-,770 ,000	-,750 ,000	-,280 ,110	-,487 ,015	-,513 ,005	-,290 ,084	-,310 ,070
Sprint_55m	,899 ,000	,897 ,000	,584 ,001	,915 ,000	1	-,778 ,000	-,844 ,000	,151 ,236	,246 ,118	-,490 ,006	-,203 ,188	-,650 ,000	-,755 ,000	-,738 ,000	-,552 ,003	-,691 ,000	-,667 ,000	-,290 ,075	-,436 ,013
Peak Power	-,750 ,000	-,752 ,000	-,413 ,022	-,649 ,000	-,778 ,000	1	,872 ,000	-,045 ,415	-,155 ,230	,606 ,001	,361 ,054	,585 ,001	,642 ,000	,617 ,000	,632 ,001	,604 ,001	,587 ,001	,310 ,062	,125 ,271
PLT_45s	-,795 ,000	-,788 ,000	-,535 ,004	-,728 ,000	-,844 ,000	,872 ,000	1	-,148 ,240	-,276 ,091	,603 ,001	,352 ,059	,577 ,002	,705 ,000	,690 ,000	,647 ,001	,744 ,000	,686 ,000	,420 ,018	,256 ,108
GKS pre	,182 ,192	,216 ,150	-,060 ,393	,045 ,419	,151 ,236	-,045 ,415	-,148 ,240	1	,729 ,000	-,328 ,055	-,368 ,050	-,230 ,140	-,251 ,113	-,222 ,143	,012 ,479	,155 ,251	,035 ,434	,098 ,320	-,341 ,048
GKS post	,290 ,080	,298 ,074	-,073 ,370	,040 ,429	,246 ,118	-,155 ,230	-,276 ,091	,729 ,000	1	-,388 ,028	-,150 ,258	-,221 ,150	-,322 ,058	-,248 ,116	-,285 ,100	-,144 ,267	-,180 ,194	,139 ,254	-,398 ,024
RKT	-,570 ,001	-,591 ,001	-,122 ,285	-,329 ,058	-,490 ,006	,606 ,001	,603 ,001	-,328 ,055	-,388 ,028	1	,169 ,232	,451 ,012	,441 ,012	,500 ,005	,518 ,006	,416 ,027	,367 ,033	,171 ,201	,100 ,313
Leistung_IAAS	-,133 ,283	-,198 ,195	-,069 ,390	-,101 ,340	-,203 ,188	,361 ,054	,352 ,059	-,368 ,050	-,150 ,258	,169 ,232	1	,234 ,160	,337 ,068	,211 ,180	-,069 ,386	,109 ,334	-,108 ,321	,831 ,000	-,260 ,127
iMVC_bb	-,584 ,001	-,577 ,001	-,598 ,001	-,663 ,000	-,650 ,000	,585 ,001	,577 ,002	-,230 ,140	-,221 ,150	,451 ,012	,234 ,160	1	,928 ,000	,893 ,000	,382 ,036	,613 ,001	,414 ,020	,355 ,041	,041 ,423
iMVC_re	-,636 ,000	-,643 ,000	-,667 ,000	-,770 ,000	-,755 ,000	,642 ,000	,705 ,000	-,251 ,113	-,322 ,058	,441 ,012	,337 ,068	,928 ,000	1	,936 ,000	,355 ,048	,638 ,001	,466 ,008	,426 ,015	,118 ,284
iMVC_li	-,621 ,000	-,618 ,000	-,686 ,000	-,750 ,000	-,738 ,000	,617 ,000	,690 ,000	-,222 ,143	-,248 ,116	,500 ,005	,211 ,180	,893 ,000	,936 ,000	1	,390 ,033	,668 ,000	,565 ,001	,391 ,024	,087 ,337
MRFD_bb	-,618 ,001	-,553 ,003	,015 ,474	-,280 ,110	-,552 ,003	,632 ,001	,647 ,001	,012 ,479	-,285 ,100	,518 ,006	-,069 ,386	,382 ,036	,355 ,048	,390 ,033	1	,720 ,000	,736 ,000	,128 ,281	,309 ,076
MRFD_re	-,707 ,000	-,660 ,000	-,296 ,103	-,487 ,015	-,691 ,000	,604 ,001	,744 ,000	,155 ,251	-,144 ,267	,416 ,027	,109 ,334	,613 ,001	,638 ,001	,668 ,000	,720 ,000	1	,846 ,000	,382 ,040	,352 ,054
MRFD_li	-,579 ,001	-,527 ,003	-,267 ,103	-,513 ,005	-,667 ,000	,587 ,001	,686 ,000	,035 ,434	-,180 ,194	,367 ,033	-,108 ,321	,414 ,020	,466 ,008	,565 ,001	,736 ,000	,846 ,000	1	,238 ,121	,318 ,057
O2_max	-,185 ,183	-,178 ,191	-,309 ,071	-,290 ,084	-,290 ,075	,310 ,062	,420 ,018	,098 ,320	,139 ,254	,171 ,201	,831 ,000	,355 ,041	,426 ,015	,391 ,024	,128 ,281	,382 ,040	,238 ,121	1	-,419 ,017
BMI	-,558 ,002	-,547 ,002	,001 ,499	-,310 ,070	-,436 ,013	,125 ,271	,256 ,108	-,341 ,048	-,398 ,024	,100 ,313	-,260 ,127	,041 ,423	,118 ,284	,087 ,337	,309 ,076	,352 ,054	,318 ,057	-,419 ,017	1

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

C Partialkorrelation

Test des Zusammenhangs zwischen anaerobe Leistungsfähigkeit (PLT_45s) und der Bestzeit über 1000 m, Kontrollvariable: iMVC_bb

Kontrollvariablen	BZ_1000	PLT_45s
BZ_1000 Korrelation	1,000	-,681
iMVC_bb Signifikanz (einseitig)		,000
Freiheitsgrade	0	21

Test des Zusammenhangs zwischen anaerobe Leistungsfähigkeit (PLT_45s) und der Bestzeit über 500 und 1000 m, Kontrollvariablen: iMVC_bb und Alter

Kontrollvariablen	BZ_500	PLT_45s
Alter & iMVC_bb BZ_500 Korrelation	1,000	-,389
Signifikanz (einseitig)	.	,037
Freiheitsgrade	0	20

Kontrollvariablen	BZ_1000	PLT_45s
Alter & iMVC_bb PLT_45s Korrelation	1,000	-,362
Signifikanz (einseitig)	.	,049
Freiheitsgrade	0	20

Korrelation der Merkmale auf die 1000 m-Bestzeit mit und ohne Kontrolle des Alters

	BZ_500	BZ_1000	Sprint_5m	Sprint_30m	Sprint_55m	O2_max	Leistung_IAAS	PLT_45s
Alter	-,847** ,000	-,855** ,000	-,226 ,144	-,563** ,002	-,750** ,000	,135 ,256	,237 ,151	,755** ,000
BZ_1000	,982** ,000	1	,544** ,004	,776** ,000	,897** ,000	-,178 ,191	-,198 ,195	-,788** ,000
Partial-korrelation			,593** ,002	,688** ,000	,744** ,000	-,124 ,278	,030 ,450	-,424* ,026

	GKS pre	GKS post	RKT	Peak Power	MVC_bb	MRFD_re	MRFD_li	BMI
Alter	-,203 ,165	-,347* ,045	,601** ,001	,794** ,000	,530** ,003	,627** ,003	,525** ,003	,435 ,013
BZ_1000	,216 ,150	,298 ,074	-,591** ,001	-,752** ,000	-,577** ,001	-,660** ,000	-,527** ,001	-,547** ,002
Partial-korrelation	,084 ,349	-,007 ,488	-,185 ,188	-,250 ,114	-,280 ,093	-,313 ,084	-,177 ,199	-,374 ,033

➔ Beschleunigungsfähigkeit, anaerobe Leistungsfähigkeit und BMI sind empirisch-statistisch leistungsrelevant

D Explorative Faktorenanalyse

Darstellung der Ergebnisse bezüglich der Tests auf Eignung der Datenmatrix (KMO-Kriterium) bzw. der einzelnen Variablen (MSA-Wert)

500 m-Bestzeit

KMO- und Bartlett-Test

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.	,711
Signifikanz nach Bartlett	,000

Anti-Image-Korrelationsmatrix

	BZ_500	Sprint_5m	Sprint_30m	Sprint_55m	Peak Power	PLT_45s	GKS_pre	GKS_post	RKT	Leistung_IAAS	O2_max	iMVC_bb	MRFD_re	BMI
BZ_500	,851 ^a	-,208	,085	-,339	,272	-,140	,112	,057	,445	,120	,060	,019	,098	,503
Sprint_5m	-,208	,663 ^a	-,728	,448	-,140	,328	,077	-,177	-,320	-,010	-,045	,361	-,048	-,193
Sprint_30m	,085	-,728	,734 ^a	-,739	-,007	-,130	-,087	,301	,107	-,193	,171	-,133	-,216	,111
Sprint_55m	-,339	,448	-,739	,789 ^a	,211	,301	,166	-,300	-,155	,118	,023	,261	-,020	,117
Peak Power	,272	-,140	-,007	,211	,873 ^a	-,262	-,114	-,072	-,130	-,222	,319	-,114	,003	,328
PLT_45s	-,140	,328	-,130	,301	-,262	,872 ^a	,120	,038	-,282	-,007	-,113	,301	-,314	-,015
GKS_pre	,112	,077	-,087	,166	-,114	,120	,389 ^a	-,597	,313	,471	-,008	,547	-,537	,495
GKS_post	,057	-,177	,301	-,300	-,072	,038	-,597	,618 ^a	,067	-,108	-,117	-,207	,231	-,098
RKT	,445	-,320	,107	-,155	-,130	-,282	,313	,067	,718 ^a	,304	-,017	-,008	-,036	,414
Leistung_IAAS	,120	-,010	-,193	,118	-,222	-,007	,471	-,108	,304	,506 ^a	-,647	,163	,095	,126
O2_max	,060	-,045	,171	,023	,319	-,113	-,008	-,117	-,017	-,647	,614 ^a	,096	-,428	,454
iMVC_bb	,019	,361	-,133	,261	-,114	,301	,547	-,207	-,008	,163	,096	,700 ^a	-,586	,415
MRFD_re	,098	-,048	-,216	-,020	,003	-,314	-,537	,231	-,036	,095	-,428	-,586	,663 ^a	-,474
BMI	,503	-,193	,111	,117	,328	-,015	,495	-,098	,414	,126	,454	,415	-,474	,466 ^a

a. Maß der Stichprobeneignung

1000 m-Bestzeit

KMO- und Bartlett-Test

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.	,695
Signifikanz nach Bartlett	,000

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	6,257	44,694	44,694	3,850	27,503	27,503
2	2,257	16,123	60,817	3,248	23,201	50,703
3	1,801	12,865	73,682	2,189	15,638	66,341
4	1,007	7,189	80,871	2,034	14,530	80,871
5	,785	5,605	86,477			
6	,659	4,710	91,187			
7	,368	2,632	93,818			
8	,295	2,107	95,925			
9	,190	1,360	97,285			
10	,145	1,035	98,320			
11	,096	,689	99,009			
12	,066	,469	99,478			
13	,047	,337	99,815			
14	,026	,185	100,000			

Rotierte Komponentenmatrix^a

	Komponente				h ²
	1	2	3	4	
MRFD_re	,807	-,195	,147	,002	,711
Peak Power	,763	-,395	-,028	,133	,757
RKT	,755	,003	-,322	,089	,682
PLT_45s	,734	-,483	-,147	,147	,815
BZ_1000	-,705	,550	,228	,139	,870
Sprint_5m	-,111	,918	-,097	-,120	,879
Sprint_30m	-,369	,895	,005	,029	,938
Sprint_55m	-,641	,696	,152	,046	,922
iMVC_bb	,496	-,526	-,134	,225	,591
GKS_pre	,034	,064	,959	-,061	,928
GKS_post	-,228	-,045	,854	,105	,795
O2_max	,281	-,221	,150	,842	,859
Leistung_IAAS	,099	-,083	-,329	,826	,807
BMI	,253	-,225	-,399	-,702	,767

E Regressionsanalyse

E. 1 Prüfung auf Linearität - Abhängige Variable BZ_500

Unabhängige Variable: Sprint_5m

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,314	1,654	,000	,977	23

Unabhängige Variable: Sprint_30m

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,579	1,692	,000	,977	23

Unabhängige Variable Sprint_55m

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,834	1,756	,000	,980	26

Unabhängige Variable: O₂_max

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,279	2,097	,000	,980	26

Fallweise Diagnose^a

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_500	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
2	2,097	58,03	48,7262	9,30180

→ Eliminierung Fallnummer 2

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,284	1,769	-,087	,894	25

Unabhängige Variable: PLT_45s

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-2,251	2,711	,000	,979	25

Fallweise Diagnose

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_500	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
2	2,543	58,03	51,0625	6,96547
19	-2,329	46,60	52,9794	-6,37942

→ Eliminierung Fallnummern 2 & 19

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-2,420	1,774	-,289	,896	23

Fallweise Diagnose

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_500	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
16	-2,420	51,50	56,6303	-5,13031

→ Eliminierung Fallnummer 16

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,939	1,496	-,414	,902	22

Unabhängige Variable: Peak Power

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,424	2,143	-,080	,958	25

Fallweise Diagnose

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_500	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
2	2,143	58,03	51,4295	6,59847

→ Eliminierung Fallnummer 2

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,450	1,803	-,135	,900	25

Unabhängige Variable: iMVC_bb

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,676	1,494	,056	,971	25

Unabhängige Variable: MRFD_rechts

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,984	1,776	,216	,973	22

Unabhängige Variable: MRFD_links

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,988	1,917	,000	,980	26

Unabhängige Variable: BMI

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,544	2,199	,000	,980	26

Fallweise Diagnose^a

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_500	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Re- siduen
24	2,199	55,43	47,1942	8,23580

➔ Eliminierung Fallnummer 24

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,624	1,778	-,081	,945	25

E. 2 Prüfung auf Linearität - Abhängige Variable BZ_1000

Unabhängige Variable: Sprint_5m

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,487	1,848	-,038	,957	23

Unabhängige Variable: Sprint_30m

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,510	1,769	,000	,978	24

Unabhängige Variable: Sprint_55m

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,595	1,486	,000	,980	26

Unabhängige Variable: O₂_max

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,413	1,833	,000	,980	26

Unabhängige Variable: PLT_45s

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-2,034	1,899	-,109	,938	25

Fallweise Diagnose

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_1000	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
19	-2,034	98,6	111,305	-12,7048

→ Eliminierung Fall 19

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-2,155	1,938	-,108	,955	24

Fallweise Diagnose^a

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_1000	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
16	-2,155	106,1	118,280	-12,1803

➔ Eliminierung Fall 16

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,597	1,823	-,173	,967	23

Unabhängige Variable: Peak Power

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,448	1,567	-,096	,937	25

Unabhängige Variable: iMVC_bb

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,553	1,644	,063	,963	25

Unabhängige Variable: MRFD_rechts

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,785	2,103	,215	,962	22

Fallweise Diagnose^a

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_1000	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
21	2,103	118,0	101,917	16,0828

➔ Eliminierung Fall 21

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,872	1,830	,124	,923	21

Unabhängige Variable: MRFD_links

Residuenstatistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,805	1,757	,000	,980	26

Unabhängige Variable: BMI

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,506	2,502	,000	,980	26

Fallweise Diagnose^a

Fallnummer	Standardisierte Residuen	BZ_1000	Nicht standardisierter vorhergesagter Wert	Nicht standardisierte Residuen
24	2,502	119,7	98,465	21,2352

➔ Eliminierung Fall 24

Residuenstatistik^a

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	N
Standardisierte Residuen	-1,610	1,589	-,096	,923	25

E 3 Regressionsanalyse der Laufzeit über 500 m auf die Wettkampfteilleistung Sprint_55m

Modellzusammenfassung

	R	R ²	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Änderungsstatistiken				
					Änderung in R-Quadrat	Änderung in F	df1	df2	Sig. Änderung in F
1	,899 ^a	,809	,801	1,97394	,809	101,493	1	24	,000

		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	-3,460	5,156		-,671	,509
	Sprint halbe Runde	6,907	,686	,899	10,074	,000

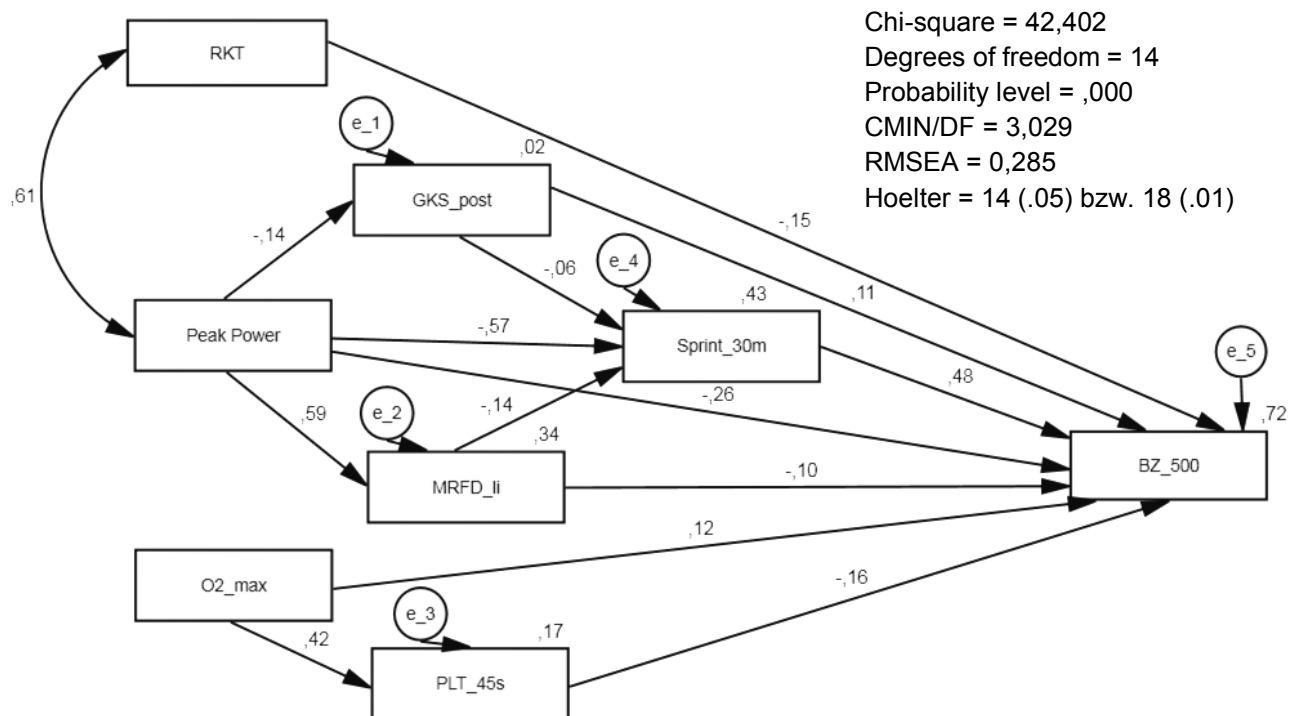
F Pfadanalyse

F.1 Pfadanalyse für das vollständige Strukturmodell

Modell 1 mit Berücksichtigung der dynamischen Maximalkraft (Peak Power) und Sprint auf gerader Strecke (Sprint_30m)

Test auf multivariate Normalverteilung der Daten

Variable	kurtosis	c.r.
Multivariate	1,330	,258



Standardisierte Regressionskoeffizienten (β) und Signifikanz (p)

			β	p
MRFD_li	<---	PeakPower	,587	***
GKS_post	<---	PeakPower	-,135	,496
Sprint_30m	<---	MRFD_li	-,141	,450
Sprint_30m	<---	PeakPower	-,565	,003
PLT_45s	<---	O2_max	,415	,022
Sprint_30m	<---	GKS_post	-,064	,674
BZ_500	<---	PeakPower	-,257	,136
BZ_500	<---	MRFD_li	-,099	,453
BZ_500	<---	O2_max	,117	,313
BZ_500	<---	Sprint_30m	,477	***
BZ_500	<---	RKT	-,153	,248
BZ_500	<---	PLT_45s	-,162	,162
BZ_500	<---	GKS_post	,113	,289

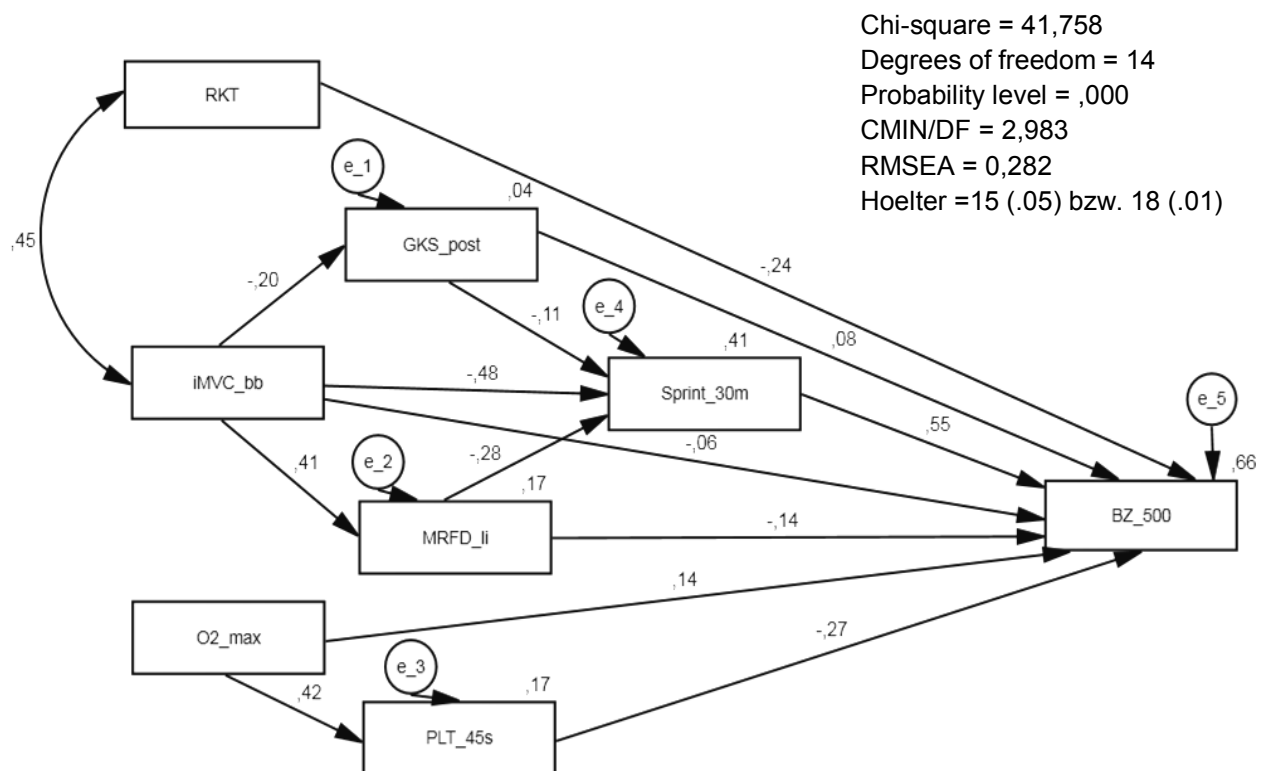
Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das betrachtete Pfadmodell 1

Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	Differenz
Peak Power → MRFD_li	,587**	,587	,000
Peak Power → GKS_post	-,155	-,135	,020
MRFD_li → Sprint_30m	-,515**	-,141	,374
Peak Power → Sprint_30m	-,640**	-,639	,001
O2_max → PLT_45s	,415*	,415	,000
GKS_post → Sprint_30m	,038	-,064	,102
Peak Power → BZ_500	-,750**	-,635	,115
MRFD_li → BZ_500	-,579**	-,166	,413
O2_max → BZ_500	-,185	,050	,235
Sprint_30m → BZ_500	,755**	,477	,278
RKT → BZ_500	-,570**	-,153	,417
PLT_45s → BZ_500	-,762**	-,162	,600
GKS_post → BZ_500	,278	,082	,196

Modell 2 mit Berücksichtigung der statischen Maximalkraft (iMVC_bb) und Sprint auf gerader Strecke (Sprint_30m)

Test auf multivariate Normalverteilung der Daten

Variable	kurtosis	c.r.
Multivariate	-1,029	-,207



Standardisierte Regressionskoeffizienten (β) und Signifikanz (p)

			β	p
MRFD_li	<---	iMVC_bb	,411	,024
GKS_post	<---	iMVC_bb	-,204	,297
Sprint_30m	<---	MRFD_li	-,283	,093
Sprint_30m	<---	iMVC_bb	-,480	,005
PLT_45s	<---	O2_max	,415	,022
Sprint_30m	<---	GKS_post	-,112	,478
BZ_500	<---	iMVC_bb	-,055	,729
BZ_500	<---	MRFD_li	-,142	,291
BZ_500	<---	O2_max	,137	,283
BZ_500	<---	Sprint_30m	,550	***
BZ_500	<---	RKT	-,239	,066
BZ_500	<---	PLT_45s	-,266	,037
BZ_500	<---	GKS_post	,081	,496

Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das betrachtete Pfadmodell 2

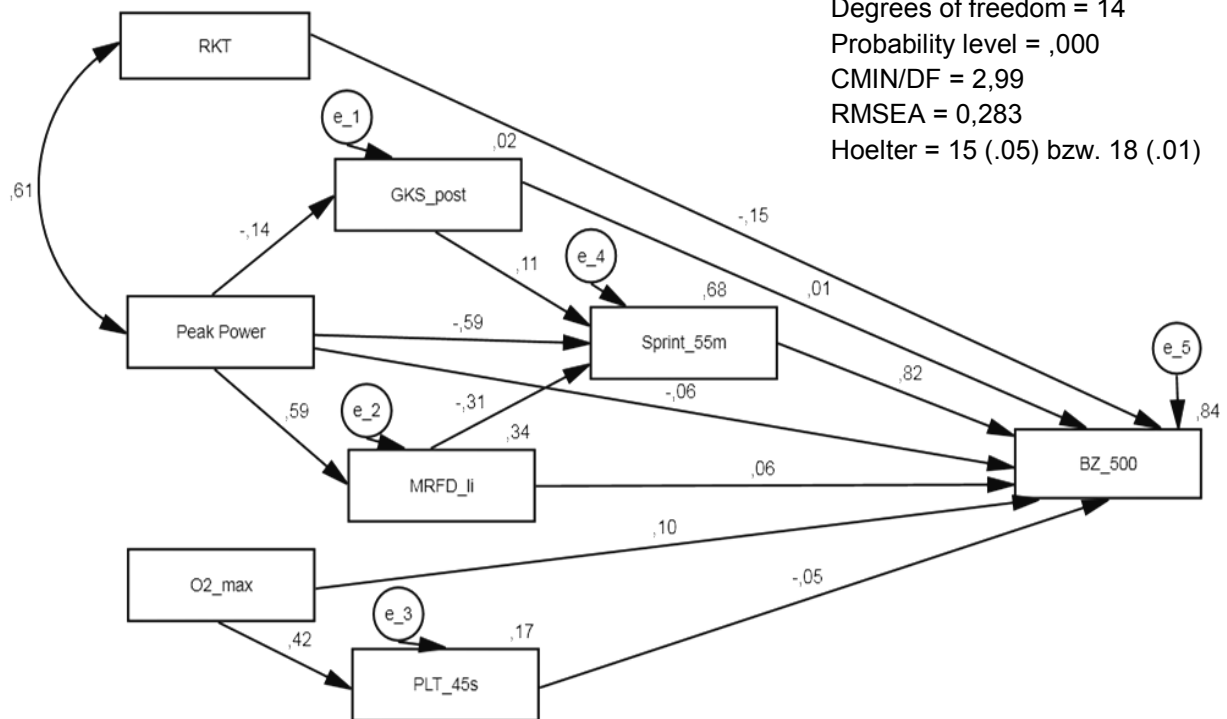
Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	Differenz
iMVC_bb → MRFD_li	,411**	,411	,000
iMVC_bb → GKS_post	-,204	-,204	,000
MRFD_li → Sprint_30m	-,462**	-,283	,179
iMVC_bb → Sprint_30m	-,575**	-,574	,001
O2_max → PLT_45s	,415*	,415	,000
GKS_post → Sprint_30m	,038	-,112	,150
iMVC_bb → BZ_500	-,567**	-,446	,121
MRFD_li → BZ_500	-,579**	-,297	,282
O2_max → BZ_500	-,185	,027	,212
Sprint_30m → BZ_500	,755**	,550	,205
RKT → BZ_500	-,570**	-,239	,331
PLT_45s → BZ_500	-,762**	-,266	,496
GKS_post → BZ_500	,278	,020	,258

Modell 3 mit Berücksichtigung der dynamischen Maximalkraft und Sprint halbe Runde

Test auf multivariate Normalverteilung der Daten

Variable	kurtosis	c.r.
Multivariate	2,789	,562

Chi-square = 41,989
 Degrees of freedom = 14
 Probability level = ,000
 CMIN/DF = 2,99
 RMSEA = 0,283
 Hoelter = 15 (.05) bzw. 18 (.01)



Standardisierte Regressionskoeffizienten (β) und Signifikanz (p)

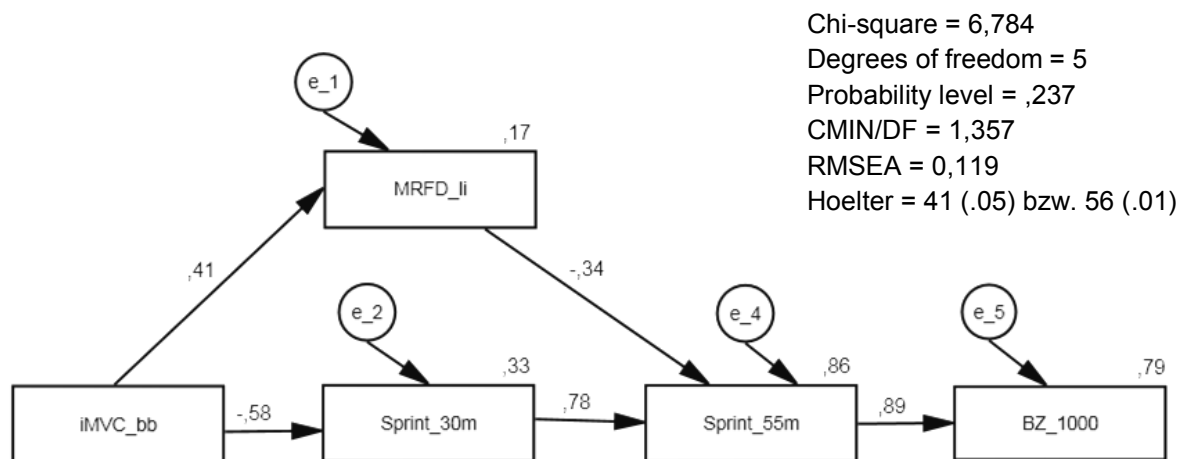
			β	p
MRFD_li	<---	PeakPower	,587	***
GKS_post	<---	PeakPower	-,135	,496
Sprint_55m	<---	MRFD_li	-,305	,029
Sprint_55m	<---	PeakPower	-,587	***
PLT_45s	<---	O2_max	,415	,022
Sprint_55m	<---	GKS_post	,106	,354
BZ_500	<---	PeakPower	-,063	,665
BZ_500	<---	MRFD_li	,061	,579
BZ_500	<---	O2_max	,101	,258
BZ_500	<---	Sprint_55m	,817	***
BZ_500	<---	RKT	-,147	,151
BZ_500	<---	PLT_45s	-,053	,553
BZ_500	<---	GKS_post	,006	,947

Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das betrachtete Pfadmodell 3

Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	Differenz
Peak Power → MRFD_li	,587**	,587	,000
Peak Power → GKS_post	-,135	-,135	,000
MRFD_li → Sprint_55m	-,667**	-,305	,362
Peak Power → Sprint_55m	-,778**	-,781	,003
O2_max → PLT_45s	,415*	,415	,000
GKS_post → Sprint_55m	,239	,106	,133
Peak Power → BZ_500	-,750**	-,666	,084
MRFD_li → BZ_500	-,579**	-,189	,390
O2_max → BZ_500	-,185	,079	,264
Sprint_55m → BZ_500	,899**	,817	,082
RKT → BZ_500	-,570**	-,147	,423
PLT_45s → BZ_500	-,762**	-,053	,709
GKS_post → BZ_500	,278	,092	,186

F.2 Pfadanalyse für das Alternativmodell

Modell 1 mit Berücksichtigung der statischen Maximalkraft (iMVC_bb) und der komplexen Wettkampfleistung BZ_1000 m



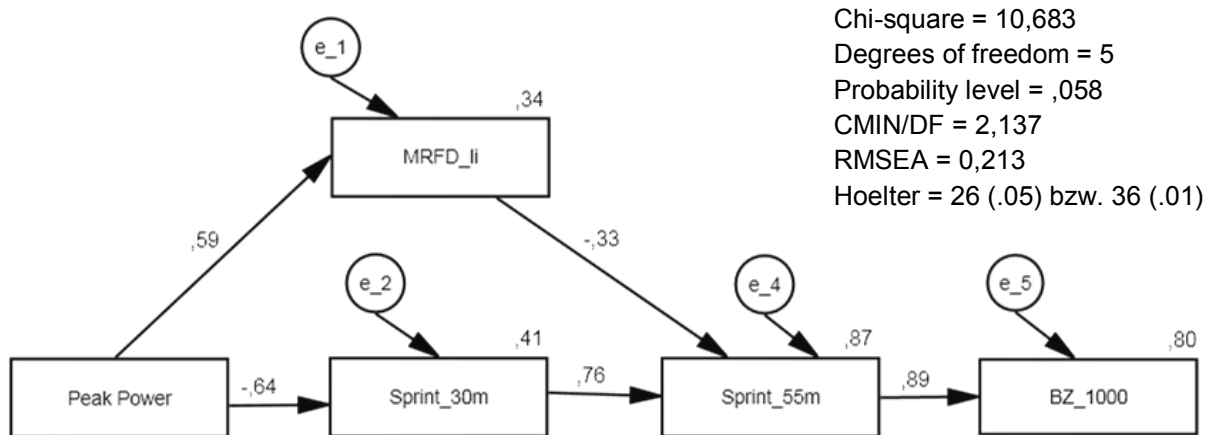
Standardisierte Regressionskoeffizienten (β) und Signifikanz (p)

		β	p
MRFD_li	<--- iMVC_bb	,411	,024
Sprint_30m	<--- iMVC_bb	-,575	***
Sprint_55m	<--- Sprint_30m	,784	***
Sprint_55m	<--- MRFD_li	-,344	***
BZ_1000	<--- Sprint_55m	,886	***

Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das alternative Pfadmodell 1

Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	Differenz
iMVC_bb → Sprint_30m	-,575**	-,575	,000
iMVC_bb → MRFD_li	-,411**	,411	,000
iMVC_bb → Sprint_55m	-,626**	-,592	,032
Sprint_30m → Sprint_55m	,891**	,784	,107
MRFD_li → Sprint_55m	-,667**	-,344	,323
iMVC_bb → BZ_1000	-,555**	-,525	,032
MRFD_li → BZ_1000	-,527**	-,305	,222
Sprint_30m → BZ_1000	,767**	,695	,072
Sprint_55m → BZ1000	,897**	,886	,011

Modell 2 mit Berücksichtigung der dynamischen Maximalkraft (Peak Power) und der komplexen Wettkampfleistung BZ_1000 m



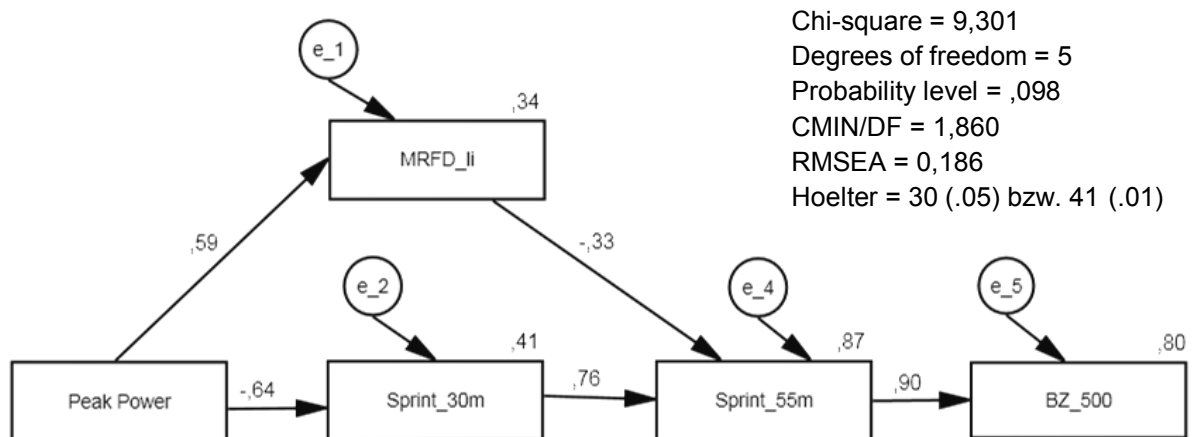
Standardisierte Regressionskoeffizienten (β) und Signifikanz (p)

		β	p
MRFD_li	<--- PeakPower	,587	***
Sprint_30m	<--- PeakPower	-,640	***
Sprint_55m	<--- Sprint_30m	,756	***
Sprint_55m	<--- MRFD_li	-,332	***
BZ_1000	<--- Sprint_55m	,893	***

Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das alternative Pfadmodell 2

Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	Differenz
Peak Power → Sprint_30m	-,640**	-,640	,000
Peak Power → MRFD_li	-,587**	,587	,000
Peak Power → Sprint_55m	-,778**	-,679	,099
Sprint_30m → Sprint_55m	,891**	,756	,135
MRFD_li → Sprint_55m	-,667**	-,332	,335
Peak Power → BZ_1000	-,752**	-,606	,146
MRFD_li → BZ_1000	-,527**	-,296	,231
Sprint_30m → BZ_1000	,776**	,675	,101
Sprint_55m → BZ_1000	,897**	,893	,004

Modell 3 mit Berücksichtigung der dynamischen Maximalkraft (Peak Power) und der komplexen Wettkampfleistung BZ_500 m



Standardisierte Regressionskoeffizienten (β) und Signifikanz (p)

			β	p
MRFD_li	<---	PeakPower	,587	***
Sprint_30m	<---	PeakPower	-,640	***
Sprint_55m	<---	Sprint_30m	,756	***
Sprint_55m	<---	MRFD_li	-,332	***
BZ_500	<---	Sprint_55m	,896	***

Vergleich der beobachteten und reproduzierten Korrelationen für das alternative Pfadmodell 3

Variablen	beobachtetes r	reproduziertes r	 Differenz
Peak Power → Sprint_30m	-,640**	-,640	,000
Peak Power → MRFD_li	-,587**	,587	,000
Peak Power → Sprint_55m	-,778**	-,679	,099
Sprint_30m → Sprint_55m	,891**	,756	,135
MRFD_li → Sprint_55m	-,667**	-,332	,335
Peak Power → BZ_500	-,750**	-,608	,142
MRFD_li → BZ_500	-,579**	-,297	,282
Sprint_30m → BZ_500	,755**	,677	,078
Sprint_55m → BZ_500	,899**	,896	,003

Literatur

- Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and Sports Science Review*, 31(2), 61-67.
- Astrand, P.-O. (1993). Welche Messungen sind sinnvoll? In R. J. Shepard & P.-O. Astrand (Eds.), *Ausdauer im Sport* (pp. 189-190): Deutscher Ärzte-Verlag.
- Atkinson, G. & Nevill, A. M. (1998). Statistical Methods for Assessing Measurement Error (Reliability) in Variables Relevant to Sports Medicine. *Sports Med*, 26(4), 217-238.
- Bachl, N. & Baron, R. (1998). Prinzipien der anaeroben Leistungsdiagnostik. In D. JESCHKE & R. LORENZ (Eds.), *Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. Energetische Aspekte* (pp. 49-64). Köln.
- Bachl, N., Baron, R., Smekal, G. & Tschan, H. (1994). Validität sportartspezifischer Leistungsdiagnostik. In D. Clasing & H. Weicker & D. Böning (Eds.), *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2008). *Multivariate Analyse-methode. Eine anwendungsorientierte Einführung* (Vol. 12). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Barbeau, H., Marchand-Pauvert, V., Meunier, S., Nicolas, G. & Pierrot-Deseilligny, E. (2000). Posture-related changes in heteronymous recurrent inhibition from quadriceps to ankle muscles in humans. *Exp Brain Res*, 130(3), 345-361.
- Barnett, V. & Lewis, T. (1995). *Outliers in Statistical Data*. New York: John Wiley & Sons.
- Bartonietz, K. & Güllich, A. (1992). Die Bedeutung der Pick-up-Beschleunigung bei Höchstleistungen im 100 m Sprint: Ein Beitrag zur Leistungs- und Trainingsstruktur des Kurzsprints. *Olympiastützpunkte im Brennpunkt praxisorientierter Sportwissenschaft*, 10, 198-214.
- Baumann, W., Schwirtz, A. & Gross, V. (1986). Biomechanik des Kurzstreckenlaufs. In R. Ballreich & A. Kuhlow (Eds.), *Biomechanik der Sportarten (Band 1): Biomechanik der Leichtathletik* (pp. 1-15). Stuttgart: Enke.
- Behrens, M., Mau-Möller, A., Laabs, H., Felser, S. & Bruhn, S. (2010). Combined sensormotor and resistance training for young short track speed skaters: A case study. *Isokinetics and Exercise Science*, 18(4), 193-200.
- Bentler, P. M. & Bonnet, D. G. (1980). Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures. *Psychological Bulletin*, 88, 588-606.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical Methods for Assessing Agreement between two Methods of Clinical Measurement. *The Lancet*, 307-310.
- Böning, D. (1994). Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik - Schlußbetrachtung-. In D. Clasing & H. Weicker & D. Böning (Eds.), *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Browne, M. W. & Mels, G. (1992). *RAMONA user's guide*. The Ohio State University: Columbus.
- Bruhn, S. (2009). Sensomotorisches Training-Propriozeptives Training. In P. Stehle (Ed.), *BISp-Expertise* (Vol. 1). Köln: Sportverlag Strauß.

- Bruhn, S. & Felser, S. (2011). Leistungsstrukturanalyse für die Sportart Short Track. In B. f. Sportwissenschaft (Ed.), *Jahrbuch Forschungsförderung 2010/11* (pp. 91-96). Köln: Sportverlag Strauß.
- Bruhn, S., Kullmann, N. & Gollhofer, A. (2004). The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 56-60.
- Bruhn, S., Kullmann, N. & Gollhofer, A. (2006). Combinatory of high-intensity-strength training and sensori motor training on muscle strength. *International Journal of Sports Medicine*, 27(5), 401-406.
- Brusis, J. M. A. (2004). *Sportartspezifische Leistungsdiagnostik am Beispiel des Short Track Eisschnelllaufens unter besonderer Berücksichtigung von Junioren*. München: Technische Universität.
- Bührle, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In M. BÜHRLE (Ed.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (Vol. 82-109). Köln.
- Bührle, M. (1989). Maximalkraft - Schnellkraft - Reaktivkraft. *Sportwissenschaften*, 73, 94-100.
- Bührle, M. & Schmidtbleicher, D. (1981). Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. *Sportwissenschaft*, 11(1), 11-27.
- Carl, K. (1983). *Training und Trainingslehre in Deutschland*. Schorndorf: Hofmann.
- Carroll, T. J., Riek, S. & Carson, R. G. (2002). The sites of neuronal adaption induced by resistance training in humans. *Journal of Physiology*, 544(2), 641-652.
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*(1), 245-276.
- Conzelmann, A. (1999). Grundlagen der Inferenzstatistik. In B. Strauß & H. Haag & M. Kolb (Eds.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (pp. 213-276). Schorndorf: Hofmann.
- Coudreuse, J. M., Ftaita, F., Grelot, L. & Nicol, C. (2001). Combined effects of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 84, 87-94.
- de Boer, R. W., Vos, E., Hutter, W., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(5), 562-569.
- de Groot, G., Hollander, A. P., Sargeant, A. J., van Ingen Schenau, G. J. & de Boer, R. W. (1987). Applied physiology of speed skating. *Journal of Sports Science*, 5(3), 249-259.
- de Marées, H. (2003). *Sportphysiologie* (Vol. 9). Köln: Sportverlag Strauß.
- di Prampero, P. E., Cortili, G., Mognoni, P. & Saibene, F. (1976). Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance. *Journal of Applied Physiology*(40), 584-591.
- Diamantopoulos, A. & Winkelhofer, H. M. (2001). Index Construction with Formative Indicators: An Alternative to Scale Development. *Journal of Marketing Research*, 38, 269-277.
- Dickhuth, H. H., Huonker, M., Münzel, T., Drexler, H., Berg, A. & Keul, J. (1991). Determination of the individual anaerobic threshold for performance evaluation in competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. In

- M. Bachi & G. F. Graham & H. Löllgen (Eds.), *Advances in Ergometry*: Springer-Verlag.
- Dimantopoulos, A. & Riefler, P. (2008). Formative Indikatoren: Einige Anmerkungen zu ihrer Art, Validität und Multikollinearität. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 78(11), 1183-1196.
- Duchateau, J. & Hainaut, K. (2003). Mechanisms of muscle and motor unit adaptation to explosive power training. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (Vol. 2, pp. 315-330). Oxford: Blackwell.
- Eid, M. (1999). Lineare Strukturgleichungsmodelle. In M. Kolb (Ed.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (pp. 427-254). Schorndorf: Hofmann.
- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of Human Movement* (Vol. 4). Champaign: Human Kinetics.
- Felser, S., Mau-Möller, A., Behrens, M., Bäuml, M. & Bruhn, S. (2012). Adaptationen der Kraftfähigkeiten, der neuromuskulären Aktivierung und der Kurvenlaufzeit infolge eines kombinierten Balance- und Krafttrainings bei Short-Track-Kaderathleten. *Leistungssport*(6).
- Ferguson, R. J., Marcotte, G. G. & Montpetit, R. P. (1969). A maximal oxygen uptake test during ice skating. *Medicine Science in Sports*(1), 207-211.
- Föhrenbach, R., Frick, U., Göbel, M., Nagel, P., Stutz, R., Schmidtbleicher, D. & Böhmer, D. (1991). Dauerlauf- versus Intervalltraining bei Fußballspielern. *Dt. Zeitschrift für Sportmedizin*(4), 136-146.
- Folland, J. P. & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145-168.
- Frederick, E. C. (1993). Bewegungsökonomie und Ausdauerleistung. In R. J. Shephard & P.-O. Astrand (Eds.), *Ausdauer im Sport* (pp. 182- 185): Deutscher Ärzte-Verlag.
- Frey, G. (1977). Zur Terminologie und Struktur physischer Leistungsfaktoren und motorischer Fähigkeiten. *Leistungssport*, 7(5), 339-362.
- Frey, G. (1978). Entwicklungsgemäßes Training in der Schule. *Sportwissenschaft*, 8, 172-204.
- Fukunaga, T. (1976). Die absolute Muskelkraft und das Muskelkrafttraining. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27, 255-265.
- Geese, R. (1992). Technisch-apparative Möglichkeiten zur Leistungsdiagnostik und -steuerung mittels Schnellinformationen. *Leistungssport*, 22(2), 31-33.
- Gollnick, P. D., Piehl, K. & Saltin, B. (1974). Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of varying intensity and at varying pedaling rates. *Journal Physiology*, 241, 45-57.
- Graf, C., Hatmann, U., Platen, P., Rost, R. & Schänzer, W. (2002a). Biologische Grundlagen. In R. Rost (Ed.), *Lehrbuch der Sportmedizin* (pp. 25 -154). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Graf, C., Menke, W., Platen, P., Rost, R. & Schüle, K. (2002b). Sport im Kindes- und Jugendalter. In R. Rost (Ed.), *Lehrbuch der Sportmedizin* (pp. 628-660). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Green, H. J. (1978). Glycogen depletion patterns during continuous and intermittent ice skating. *Medicine Science Sports*, 10(3), 183-187.
- Grosser, M. (1991). *Schnelligkeitstraining*. München: BLV.
- Grosser, M. & Neumaier, A. (1988). *Kontrollverfahren zur Leistungsoptimierung*. Schorndorf: Hofmann.

- Grosser, M. & Starischka, S. (1986). *Konditionstests*. München, Wien, Zürich: BVL.
- Grosser, M. & Zintl, F. (1994). *Training der konditionellen Fähigkeiten* (Vol. 2). Schorndorf: Hofmann.
- Gruber, M. & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol*, 92(1-2), 98-105.
- Haag, G. (1999a). Deskriptive Statistik. In B. Strauß & H. Haag & M. Kolb (Eds.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (pp. 157-212). Schorndorf: Hofmann.
- Haag, H. (1999b). Theoretisch-logische Verfahren der Auswertung von Daten - kodiert in Worten. In B. Strauß & H. Haag & M. Kolb (Eds.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (pp. 31-42). Schorndorf: Hofmann.
- Heck, H. & Roskopf, P. (1994). Grundlagen verschiedener Laktatschwellenkonzepte und ihre Bedeutung für die Trainingssteuerung. In D. Clasing & H. Weicker & D. Böning (Eds.), *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik* (pp. 111-131). Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer.
- Herrmann, A., Gassmann, O. & Eisert, U. (2007). An empirical study of the antecedents for dradical product innovations and capabilities for transformation. *Journal of Engeneering Technology Management*, 24, 92-120.
- Hohmann, A. (1985). *Zur Struktur der komplexen Sportspielleistung*. Ahrensburg: Czwalina.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin* (Vol. 4). Stuttgart, New York: Schattauer.
- Hollmann, W., Liesen, H., A., M., Heck, H., Rost, R., Dufaux, B., Schürck, P., Lagerström, D. & Föhrenbach, R. (1981). Zur Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit der deutschen Fußball-Spitzenspieler. *Dt. Zeitschrift für Sportmedizin*, 5, 113-120.
- Hollmann, W. & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin* (Vol. 5). Stuttgart, New York: Schattauer.
- Homburg, C. & Baumgartner, H. (1995). Beurteilung von Kausalmodellen. *Marketing ZEP*, 17(3), 162-176.
- Howald, H. (1989). Veränderungen der Muskelfasern durch Training. *Leistungssport*, 19(2), 18-24.
- Howley, E. T., Basset, D. R. & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 27(9), 1292-1301.
- Hu, L.-T. & Bentler, P. M. (1999). Cutoff Criteria for Fit Index in Covariance Structure Analysis: Coventional Criteri Versus New Alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6, 1-55.
- Huber, A. (Ed.). (2007). *Zeitliche Belastung in der Kurve*. München.
- Inbar, O. & Bar-Or, O. (1986). Anaerobics characteristics in male children and adolescents. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 18, 264-269.
- Jahn, W. & Vahle, H. (1970). *Die Faktorenanalyse*. Berlin: Die Wirtschaft.
- Johnston, R. B., Howard, M. E., Cawley, P. W. & Losse, G. M. (1998). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 30(12), 1703-1707.

- Kandou, T. W. A., Houtman, I. L. D., Bol, E. V. D., de Boer, T. W., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Comparison of physiology and biomechanics on speed skating with cycling and with skateboard exercise. *Can. Journal Sport Science*, 12(1), 31-36.
- Kean, C. O., Behm, D. G. & Young, W. B. (2006). Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *Journal of Sports Science & Medicine*(5), 138-148.
- Keller, F. (1993). *Statistik für naturwissenschaftliche Berufe*. Frankfurt am Main: pmi.
- Keul, J., Dickhuth, H. H., Berg, A., Lehmann, M. & Huber, G. (1981). Allgemeine und sportartspezifische Leistungsdiagnostik im Hochleistungsbereich. Labortests und Feldversuche. *Leistungssport*, 11, 382-398.
- Kindermann, W. (1984). Grundlagen der aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik. *Schw. Zeitschrift für Sportmedizin*, 1, 69-74.
- Knuttgen, H. G. & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1(1), 1-10.
- Kollmitzer, J., Bochdanský, T., Ebenbichler, G. & Sabo, A. (2003). Sturzmechanismen – Grundlagen und diagnostische Ansätze. *Österr. Z. Phys. Med. Rehabil.*, 13(1), 10.
- Kwon, Y.-H., Cho, S.-G., Lee, D.-G. & Jun, M.-K. (1997). The effects of short-term power training on the starting technique of Korean elite female short-track speed skaters. *Korean Journal of Sport Science*(9), 45-57.
- Lames, M. (1995). Aussagen der allgemeinen Wissenschaftstheorie für die Sport- und Trainingswissenschaft. In H. A. Thorhauer & U. Türck-Noack (Eds.), *Trainingswissenschaft. Theoretische und methodische Fragen in der Diskussion*, (pp. 46-50). Köln.
- Lames, M. (2002). Verhaltenswissenschaftliche Modellbildung in der Sportwissenschaft. In J. Perl & M. Lames & U. Glitsch (Eds.), *Modellbildung in der Sportwissenschaft* (pp. 179-253). Schorndorf: Hofmann.
- Lazarsfeld, P. E. (1955). Interpretation of statistical relations as a research operation. In P. E. Lazarsfeld & M. Rosenberg (Eds.), *The language of social research* (Vol. 7, pp. 115-125). New York: The Free Press.
- Letzelter, H. & Letzelter, M. (1982). Die Struktur sportlicher Leistungen als Gegenstand der Leistungsdiagnostik in der Trainingswissenschaft. *Leistungssport*, 12, 351-362.
- Letzelter, H. & Letzelter, M. (1983). *Leistungsdiagnostik. Beispiel Eisschnelllauf*. Niedernhausen/Taunus: Schors.
- MacCallum, R. C., Roznowski, M. & Necovitz, L. B. (1992). Model modifications in covariance structure analysis: The problem of capitalization on chance. *Psychological Bulletin*, 111, 490-504.
- Mader, A. (1994). Die Komponenten der Stoffwechselleistung in den leichtathletischen Ausdauerdisziplinen – Bedeutung für Wettkampfleistung und Möglichkeiten ihrer Bestimmung. Neue Tendenzen im Ausdauertraining. In P. Tschiene (Ed.), *Bundesausschuss Leistungssport, Informationen zum Leistungssport* (Vol. 12). Frankfurt/M: Deutscher Sportbund.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P. & Hollmann, W. (1976a). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27(5), 109-112.

- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P. & Hollmann, W. (1976b). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27(4), 80-88.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre* (Vol. 2). Schorndorf: Hofmann.
- Medbö, J. I. & Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J. Appl. Phys.*, 67(5), 1881-1886.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (1987). *Bewegungslehre - Sportmotorik*. Berlin: Sportverlag.
- Moxley Scarborough, D., Krebs, D. E. & Harris, B. A. (1999). Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly persons. *Gait Posture*, 10(1), 10-20.
- Müller, J. M. (2002). Umgang mit fehlenden Werten. In A. Reusch & C. Zwiggmann & H. Faller (Eds.), *Empfehlungen zum Umgang mit Daten in der Rehabilitationsforschung*. Regensburg: Roderer.
- Müller, K.-J. (1987). *Statische und dynamische Muskelkraft. Eine empirische Grundlagenuntersuchung*. Frankfurt: Harri Deutsch.
- Nemoto, I., Iwaoka, K., Funato, K., Yoshioka, N. & Miyashita, M. (1988). Aerobic threshold, anaerobic threshold, and maximal oxygen uptake of Japanese speed-skaters. *International Journal of Sports Medicine*(9), 433-437.
- Neumaier, A. & Rieder, M. (1992). Zur Kontrolle konditioneller Leistungskomponenten. In H. J. Appell & G. P. Brüggemann (Eds.), *Erfassen und Messen sportlicher Leistung* (pp. 22-64). Sank Augustin: Academia.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Berbalk, A. (1999). *Optimiertes Ausdauertraining*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Newsholme, E. A., Blomstrand, E., N., M. & Parry-Billings, M. (1993). Biochemische Ursachen für Ermüdung und Übertraining. In R. J. Shepard & P.-O. Astrand (Eds.), *Ausdauer im Sport* (pp. 341-354): Deutscher Ärzte-Verlag.
- Newsholme, E. A. & Parry-Billings, M. (1991). Metabolische Ursachen der Ermüdung und ein metabolisches Glied zwischen Muskulatur und Immunsystem. *Sportmedizinische Forschung. Festschrift für Helmut Weicker*, 100-116.
- Noakes, T. D. (1992). The hyponatremia of exercise. *Int. J. Sport. Nutr.*(2), 205-228.
- Olivier, N. (2007). *Vorlesung: Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre*. Paderborn: Universität.
- Olympic.org. (2012). *Olympic Record Evolution*. Available: <http://www.olympic.org/short-track-speed-skating-500m-men> [2012, 22.09.].
- Pampus, B. (2001). *Schnellkraft Training. Theorie, Methoden, Praxis*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Perl, J. (2002). Informatische Aspekte der Modellbildung. In J. Perl & M. Lames & U. Glitsch (Eds.), *Modellbildung in der Sportwissenschaft* (pp. 15-97). Schorndorf: Hofmann.
- Pospeschill, M. (2006). *Statistische Methoden*. München: Spektrum.
- Pressenhofer, H., Sauseng, N. & Schwaberg, G. (1990). Einsatz einfacher mathematischer Modelle in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik. *Biomed Technik 35, Ergänzungsband 2*, 195-196.
- Pressenhofer, H. & Schwaberg, G. (1994). Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. In D. Clasing & H. Weicker & D. Böning (Eds.),

- Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik* (pp. 153-164). Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer.
- Quinn, A., Lun, V., Mc Call, J. & Overend, T. (2003). Injuries in short track speed skating. *Am J Sports Med*, 31(4), 507-510.
- Rönz, B. & Strohe, H. G. (1994). *Lexikon Statistik*. Wiesbaden: Gabler.
- Roth, W., Pansold, B., Hasart, E., Zinner, J. & Gabriel, B. (1981). Zum Informationsgehalt leistungsdiagnostischer Parameter in Abhängigkeit von der Zunahme der Leistungsfähigkeit bei Sportlern. *Medizin und Sport*, 21, 326-336.
- Rozzi, S. L., Lephart, S. M., Sterner, R. & Kuligowski, L. (1999). Balance training for persons with functionally unstable ankles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 29(8), 478-486.
- Rundell, K. W. (1996a). Compromised oxygen uptake in speed skater during treadmill in-line skating. *Medicine and Science in Sports & Exercise*(28), 120-127.
- Rundell, K. W. (1996b). Effects of drafting during short-track speed skating. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 28(6), 765-771.
- Rundell, K. W. & Pripstein, L. P. (1995). Physiological responses of speed skaters to treadmill low walking and cycle ergometry. *International Journal of Sports Medicine*(16), 304-308.
- Schermelleh-Engel, K. & Moosbrugger, H. (Eds.). (2002). *Beurteilung der Modellgüte von Strukturgleichungsmodellen: Arbeiten aus dem Institut für Psychologie* (Vol. Heft 4). Frankfurt am Main: J. W. Goethe-Universität, Institut für Psychologie.
- Schlittgen, R. (1993). *Einführung in die Statistik*. München, Wien: Oldenbuorg.
- Schmidtbleicher, D. (1984). Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. *Lehre der Leichtathletik*, 35(30), 1785-1792.
- Schmidtbleicher, D. (1987). Motorische Beanspruchungsform Kraft. *Dt. Zeitschrift für Sportmedizin*, 28, 356.
- Schnabel, G., Harre, D. & Borde, A. (1997). *Trainingswissenschaft*. Berlin: Sportverlag.
- Schulz, H. & Heck, H. (2001). Ammoniak in der Leistungsdiagnostik. *Dt. Zeitschrift für Sportmedizin*(3), 107-108.
- Schulz, H., Horn, A., Rautenberg, B. & H., H. (1998). Energieverbrauch beim Inline-Skaten. Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. In D. Jeschke & D. R. Lorenz (Eds.), *Bericht über das Symposium am 13. und 14. Juni 1997 in München, Lehrstuhl und Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der Technischen Universität München/ Bundesinstitut für Sportwissenschaft*. (Vol. 1, pp. 275-278). Köln: Sport und Buch Strauss.
- Schwaberg, G., Pressenhofer, H., Kohla, B., Sauseng, N., Wolf, W., Schmidt, P. & Kenner, T. (1987). Zwei-Phasen-Test zur Ermittlung der anaeroben Kapazität bei Straßenraderennfahrern. In M. Bacht & P. Baumgartl & G. Huber & J. Keul (Eds.), *Die trainingsphysiologische und klinische Bedeutung der anaeroben Kapazität*. Wien: Brüder Hollinek.
- Shaver, L. G. (1973). The relationship between maximum isometric strength and relative isotonic endurance of athletes with various degrees of strength. *Journal of Sports Med. phys. Fitness*, 13, 231-237.
- Shepard, R. J. (1993a). Die maximale Sauerstoffaufnahme. In R. J. Shepard & P.-O. Astrand (Eds.), *Ausdauer im Sport* (pp. 191- 198): Deutscher Ärzte-Verlag.

- Shepard, R. J. (1993b). Muskuläre Ausdauer und Blutlaktat. In R. J. Shepard & P.-O. Astrand (Eds.), *Ausdauer im Sport* (pp. 212-221). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Shepard, R. J. & Plyley, M. J. (1993). Peripherer Kreislauf und Ausdauer. In R. J. Shepard & P.-O. Astrand (Eds.), *Ausdauer im Sport* (pp. 92-106). Köln: Deutscher-Ärzte-Verlag.
- ShorttrackOnLine.info. (2012). *WORLD JUNIOR CHAMPIONSHIPS - Sherbrooke, Canada - 9-11 January 2009*. Available: <http://www.shorttrackonline.info/competitions.php> [2012, 11. März].
- Simon, G. (1994). Laktat zur aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik im Schwimmen. In D. Clasing & H. Weicker & D. Böning (Eds.), *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik* (pp. 81-87). Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer.
- Simon, S. (2010). *Olympische Spiel 2010 Vancouver*. München: Copress Sport.
- Snyder, A. C., O'Hagan, K. P., Clifford, P. S., Hoffman, M. D. & Foster, C. (1993). Exercise Responses to In-Line Skating: Comparisons to Running and Cycling. *International Journal of Sports Medicine*(14), 38-42.
- Sonntag, O. (1991). *Zur Wechselwirkung aerober und anaerober Stoffwechselmechanismen während sportlicher Belastungen in der Kurzzeitausdauer unter besonderer Berücksichtigung der leichtathletischen Disziplin 400 m (Langsprint)*. Habilitationsschrift Halle-Wittenberg.
- Stahel, W. A. (2000). *Statistische Datenanalyse* (Vol. 3). Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg.
- Stapelfeldt, B. (2001). *Kraft- und Ausdauerleistungen im Mountainbikesport*. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität.
- Stegemann, J. (1991). *Leistungsphysiologie. Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports* (Vol. 4). Stuttgart/New York: Thieme.
- Sust, M. (2009). Hillsche Gleichung und die Sportwissenschaft – 70 Jahre Hillsche Gleichung. *Spectrum*, 21(1), 38-67.
- Szögy, a. & Cherebetiu, G. (1974). Minutentest auf dem Fahrradergometer zur Bestimmung der anaeroben Kapazität. *European Journal of Applied Physiology*, 171-176.
- Temme, D. & Hildebrandt, L. (2009). Gruppenvergleiche bei hypothetischen Konstrukten- Die Prüfung der Übereinstimmung von Messmodellen mit der Strukturgleichungsmethodik. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 61(2), 123-146.
- Thews, G. (1993). Atemgastransport und Säure-Basen-Status des Blutes. In R. F. Schmidt & G. Thews (Eds.), *Physiologie des Menschen* (Vol. 25, pp. 611-632). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Thiele, J. & Kolb, M. (1999). Datenauswertung in der qualitativen Forschung. In B. Strauß & H. Haag & M. Kolb (Eds.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (pp. 45-52). Schorndorf: Hofmann.
- Tschopp, M. (2003). *Manual - Leistungsdiagnostik Kraft*. Davos, Leukerbad, Magglingen, Muttentz, Zürich: Swiss Olympic Medical Center.
- Umminger, W. (2000). *Sport Chronik 5000 Jahre Sportgeschichte*. Berlin: Sportverlag.
- Union, I. S. (2012). *Short Track Result - Records*. Available: <http://www.sportresult.com/federations/ISU/ShortTrack/Results.aspx?evt=11299700000064> [2012, 22.09.].

- van Ingen Schenau, G. J. & de Groot, G. (1983). Differences in oxygen consumption and external power between male and female speed skaters during supramaximal cycling. *European Journal of Applied Physiology*(51), 337-345.
- van Ingen Schenau, G. J., de Groot, G. & de Boer, R. W. (1985). The control of speed in elite female speed skaters. *Journal of Biomechanics*, 18, 91-96.
- van Ingen Schenau, G. J., de Groot, G. & Hollander, A. P. (1983). Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *European Journal of Applied Physiology*(50), 343-354.
- Verhagen, E., van der Beek, A., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R. & van Mechelen, W. (2004). The effect of a proprioceptive balance training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *American Journal of Sports Medicine*, 32(6), 1385-1393.
- Weiber, R. & Mülhau, D. (2010). *Strukturgleichungsmodellierung*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Weineck, J. (2002). *Optimales Training* (Vol. 12). Balingen: Spitta.
- Werchoshanskij, J. V. & Tatjan, W. W. (1975). Komponenten und funktionelle Struktur der Explosivkraft des Menschen. *Leistungssport*, 5(5), 25-31.
- West, S. G., Finch, J. F. & Curran, P. J. (1995). Structural equation models with nonnormal variables: Problems and remedies. In R. H. Hoyle (Ed.), *Structural equation modeling: Concepts, Issues and Applications* (pp. 56-75). Thousand Oaks CA: Sage Publications.
- Wilcox, J. B., Howell, R. D. & Breivik, E. (2008). Questions about formative measurement. *Journal of Business Research*, 61, 1219-1228.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L. & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise* (Vol. 4): Human Kinetics.
- Wirtz, M. (2004). Über das Problem fehlender Werte: Wie der Einfluss fehlender Informationen auf Analyseergebnisse entdeckt und reduziert werden kann. *Rehabilitation*(43), 109-115.
- Wright, S. (1934). The Methods of Path Coefficients. *Annals of Mathematical Statistics*(5), 161-215.
- Zatsiorsky, W. M. (2000). *Krafttraining. Praxis und Wissenschaft*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Zimmer, H. & Haag, H. (1999). Kognitive Strategien zur Analyse von Daten - kodiert in Worten. In B. Strauß & H. Haag & M. Kolb (Eds.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (pp. 21-30). Schorndorf: Hofmann.
- Zintl, F. & Eisenhut, A. (2001). *Ausdauertraining – Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*. München: BLV Sportwissen.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und dabei keine anderen als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Rostock, 20. November 2012

Sabine Felser