

Tilo Gold

**Schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster
bei azyklischen Bewegungen**

Die Analyse schneller Armzugbewegungen im Judo

Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Sozialwissenschaften
in der Fakultät
für Sozial- und Verhaltenswissenschaften
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

2004

Gedruckt mit der Genehmigung der
Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften
der Universität Tübingen

Hauptberichterstatter:	Prof. Dr. Ulrich Göhner
Mitberichterstatter:	PD Dr. Frank Schiebl
Dekan:	Prof. Dr. Regine Gildemeister
Tag der mündlichen Prüfung:	30. Mai 2005

Tübingen

Zur überlebensnotwendigen Bedeutung der Schnelligkeit:

Einer der größten Wissenschaftler des letzten Jahrhunderts, Nikolai Bernstein deutete in einem Witz an, dass die Dinosaurier deswegen von unserer Erde verschwunden sind, da sie von den frühen Säugetieren bei lebendigem Leib aufgefressen worden sind. Denn diese waren schnell genug, ihnen ein Stück Fleisch aus dem Körper zu beißen und wieder weg zu laufen. Und zwar in genau der Zeit, welche die Dinosaurier benötigten, um den Biss zu spüren und entsprechend darauf reagieren zu können.

Nach Latash (1998, S. 145)

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung	14
1.1	PROBLEMSTELLUNG UND BEGRÜNDUNG DER ARBEIT	15
1.2	AUFBAU UND GANG DER ARBEIT	17
2	Die azyklische Schnelligkeit	18
2.1	ZUM VERSTÄNDNIS DER SCHNELLIGKEIT	19
2.2	ELEMENTARE LEISTUNGSVORAUSSETZUNGEN	23
2.3	ELEMENTARE UND KOMPLEXE LEISTUNGSVORAUSSETZUNGEN.....	26
3	Einflussgrößen der Schnelligkeit	28
3.1	KOORDINATIVE UND KONDITIONELLE ASPEKTE.....	28
3.1.1	DIE KOORDINATIVEN ASPEKTE DER SCHNELLIGKEIT.....	30
3.1.1.1	Die Nervenleitgeschwindigkeit	30
3.1.1.2	Neuromuskuläre Steuerung.....	31
3.1.1.3	Rekrutierung und Frequenzierung	32
3.1.1.4	Die Kontraktionsgeschwindigkeit	33
3.1.1.5	Zum Problem der Koaktivierung	34
3.1.1.6	Der Dehnungs-Verkürzungszyklus	35
3.1.2	DIE KONDITIONELLEN ASPEKTE DER SCHNELLIGKEIT	36
3.1.2.1	Der Energiestoffwechsel und die Ermüdung bei schnellen Bewegungen.....	36
3.1.2.2	Die Muskelfaserstruktur	39
3.1.2.3	Die Bedeutung des äußeren Widerstands für die Schnelligkeit	43
3.1.2.4	Physiologische Einflussfaktoren der Schnelligkeit	46
3.1.2.5	Anthropometrische Einflussfaktoren der azyklischen Schnelligkeit	47
3.2	ZUSAMMENFASSUNG.....	47
4	Die Schnelligkeit in der trainingswissenschaftlichen Literatur.....	50
4.1	ZUSAMMENFASSUNG.....	56
5	Zur Stellung der Schnelligkeit innerhalb der Leistungsstruktur des Judo	57
5.1	ZUM ANFORDERUNGSPROFIL DER ZWEIKAMPFSPORTART JUDO.....	58
5.2	DIE SCHNELLIGKEIT IM JUDO	61
5.2.1	DIE KAMPFHANDLUNG IM JUDO UND IHRE ZUORDNUNG ZUR SCHNELLIGKEIT.....	61
5.2.1.1	Die Struktur einer Kampfhandlung im Judo.....	61
5.2.1.2	Die Reaktionsschnelligkeit innerhalb einer Kampfhandlung	63

5.3	DIE MOTORISCHE KOMPONENTE DER KAMPFHANDLUNG: DIE PHASEN EINES JUDOWURFES	65
5.4	BEITRÄGE ZUR SCHNELLIGKEIT AUS DER JUDOSPEZIFISCHEN LITERATUR	66
5.5	UNTERSUCHUNGEN MIT DEM ARMKRAFTZUGGERÄT (AKZ)	68
5.5.1	KINEMETRISCHE MESSVERFAHREN	68
5.5.2	DYNAMOMETRISCHE MESSVERFAHREN	69
5.5.3	DAS ARMKRAFTZUGGERÄT (AKZ)	70
5.6	BIOMECHANISCHE BETRACHTUNG VON WURFBEWEGUNGEN IM JUDO	74
5.6.1	MECHANISCHE EINFLUSSGRÖßEN BEI WURFBEWEGUNGEN	75
5.6.2	DAS MAß DER STANDFESTIGKEIT IM JUDO	77
5.6.3	DER EINFLUSS DER VON AUßEN UND INNEN EINWIRKENDEN KRÄFTE AUF DAS GLEICHGEWICHT	79
5.6.4	ZU DEN PRINZIPIEN DES WERFENS	80
5.6.4.1	Das Prinzip des Blockens bei den Fuß- und Beinwürfen (Ashi-Waza)	80
5.6.4.2	Das Prinzip des Wegreißen bei den Fuß- und Beinwürfen (Ashi-Waza)	80
5.6.4.3	Das Prinzip des Anhebens bei den Hüft- (Koshi-Waza) und Schulterwürfen (Kata-Waza)	81
5.6.4.4	Das Prinzip des Kippens bei den Handwürfen (Te-Waza)	81
5.7	DIE FUNKTIONSANALYSE EINER WURFTECHNISCHEN BEWEGUNG IM JUDO	82
5.7.1	BIOMECHANISCHE GRUNDLAGEN DER FASSART (KUMI-KATA)	83
5.7.2	BIOMECHANISCHE GRUNDLAGEN DES KUZUSHI	84
5.7.3	BIOMECHANISCHE GRUNDLAGEN DES TSUKURI	86
5.7.4	BIOMECHANISCHE GRUNDLAGEN DES KAKE	87
5.8	DIE FUNKTIONSANALYSE EINES INNENSCHENKELWURFES (UCHI-MATA)	89
5.8.1	VERLAUFSANALYSE DES UCHI-MATA	89
5.8.1.1	Kumi-Kata	90
5.8.1.2	Das Schaffen einer günstigen Ausgangssituation	90
5.8.1.3	Das Gleichgewichtbrechen	91
5.8.1.4	Der Platzwechsel	91
5.8.1.5	Das Durchschwingen des Beines	91
5.8.1.6	Das Abbeugen im Hüftgelenk	92
5.8.1.7	Die Tief-Hoch-Bewegung	92
5.8.1.8	Das Drehen des Oberkörpers um die Körperlängsachse während des Abbeugens	92
5.9	ZUSAMMENFASSUNG	92
5.10	DIE SCHNELLE ARMZUGBEWEGUNG UND DIE SCHNELLE ARMDRUCKBEWEGUNG	93
5.10.1	ANATOMISCHE GRUNDLAGEN	94
5.11	DIE SCHNELLE PLATZWECHSELBEWEGUNG	95
5.11.1	ANATOMISCHE GRUNDLAGEN	95
5.12	DIE SCHNELLE BEINSTRECKBEWEGUNG UND DIE SCHNELLE KÖRPERLÄNGSACHSENDREHUNG	96
5.12.1	ANATOMISCHE GRUNDLAGEN	96
5.13	SCHNELL SEIN ALLEIN GENÜGT NICHT – DIE HANDLUNGSSCHNELLIGKEIT	97
5.14	ZUSAMMENFASSUNG	97

6	Theoretische Grundlagen zum Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster.....	99
6.1	DIE STUFEN DER INFORMATIONSPROZESSIERUNG.....	99
6.1.1	DIE STUFE DER REIZIDENTIFIKATION	100
6.1.2	DIE STUFE DER REAKTIONSAUSWAHL.....	100
6.1.3	DIE STUFE DER BEWEGUNGSPROGRAMMIERUNG.....	100
6.1.4	ZUR BEWEGUNGSSTEUERUNG	101
6.2	DIE „OPEN LOOP“ UND „CLOSED LOOP“-THEORIEN	101
6.3	PROGRAMMTHEORETISCHE ERKLÄRUNGSANSÄTZE ZUR STEUERUNG SCHNELLER BEWEGUNGEN	103
6.4	PLAUSIBILITÄTSÜBERLEGUNGEN ZUR EXISTENZ GESTEUERTER BEWEGUNGEN	105
6.5	DIE THEORIE DER GENERALISIERTEN MOTORISCHEN PROGRAMME (GMP-THEORIE) NACH SCHMIDT	107
6.6	KRITIK AN DER GMP-THEORIE, AM PROGRAMMBEGRIFF UND WEITERE THEORIEN ZUR ERKLÄRUNG SCHNELLER NEUROMUSKULÄRER INNERVATIONSMUSTER	110
6.6.1	DIE ENGRAMMTHEORIE	112
6.6.1.1	Ein Lernmodell zur Engrammtheorie	114
6.6.1.2	Zum Reminiszenzeffekt.....	117
6.6.1.3	Zur Reproduktion der Engramme	117
6.6.2	DIE THEORIE DER LANGEN SCHLEIFEN	118
6.6.3	DIE THEORIE DER NEURONALEN NETZE.....	119
6.7	ZUM PROBLEM DER RÜCKMELDUNG BEI SCHNELLEN BEWEGUNGEN	120
6.8	DIE ORGANISATION UND REGULATION SCHNELLER BEWEGUNGEN AUS DER SICHT DER NEUROPHYSIOLOGIE	122
6.8.1	DER AUFBAU DES ZNS	124
6.9	DER REFLEX	128
6.10	ZUSAMMENFASSUNG.....	130
7	Die motorische Schnelligkeit als Ausdruck schneller neuromuskulärer Innervationsmuster.....	134
7.1	ZUR ÜBERTRAGBARKEIT VON SCHNELLEN NEUROMUSKULÄREN INNERVATIONSMUSTERN	135
7.2	SCHNELLE NEUROMUSKULÄRE INNERVATIONSMUSTER BEI UNTERSCHIEDLICHEN MUSKULÄREN LEISTUNGSVORAUSSETZUNGEN	136
7.3	ZUR ERMÜDBARKEIT UND STABILITÄT VON SCHNELLEN NEUROMUSKULÄREN INNERVATIONSMUSTERN	138
7.4	ZUR ENTWICKLUNG UND TRAINIERBARKEIT DER SCHNELLEN NEUROMUSKULÄREN INNERVATIONSMUSTER IM ALTERSGANG	139
7.5	ZUSAMMENFASSUNG.....	141
8	Zum Zusammenhang der Schnelligkeit mit der Kraft, der Technik und der Ausdauer	143

8.1	ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEN KRAFTFÄHIGKEITEN UND DER MOTORISCHEN SCHNELLIGKEIT	143
8.2	DIE SCHNELLKRAFT.....	144
8.3	KRAFTTRAINING ZUR VERBESSERUNG DER GESCHWINDIGKEIT SPORTLICHER BEWEGUNGEN	147
8.4	ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN SCHNELLKRAFT UND MAXIMALKRAFT	149
8.4.1	DIE KRAFT-GESCHWINDIGKEITS-BEZIEHUNG.....	151
8.4.2	DAS KONZEPT DER MUSKELLEISTUNGSSCHWELLE	154
8.4.3	ZUM PROBLEM DER ÜBERTRAGBARKEIT	156
8.5	ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER SPORTLICHEN TECHNIK UND DER MOTORISCHEN SCHNELLIGKEIT	157
8.5.1	DIE VERBINDUNGEN VON SCHNELLIGKEIT UND BEWEGUNGSTECHNIK.....	158
8.5.1.1	Zur Gestaltung der Rahmenbedingungen	159
8.5.2	SCHNELLIGKEIT, TECHNIK UND PRÄZISION	161
8.5.3	TECHNIK, SCHNELLIGKEIT UND MOTIVATION.....	165
8.6	KONDITIONELLE ASPEKTE DER SCHNELLIGKEIT	166
8.6.1	SCHNELLIGKEIT UNTER BELASTUNGSBEDINGUNGEN	167
8.6.2	ZUR PLATZIERUNG EINES SCHNELLIGKEITSTRAININGS INNERHALB EINER TRAININGSEINHEIT 168	
8.6.3	DER ANSATZ VON OLIVIER.....	170
8.6.3.1	Ergebnisse zum Einfluss konditioneller Belastungen auf das Schnellkraftniveau.....	172
8.6.3.2	Ergebnisse zum Einfluss konditioneller Belastungen auf das Allgemeine Zentralnervöse Aktivierungsniveau.....	173
8.7	ZUSAMMENFASSUNG.....	174
9	Zur Ausbildung von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern.....	177
9.1	GRUNDLEGENDE PRINZIPIEN ZUR VERBESSERUNG DER SCHNELLIGKEIT UNTER DEM ASPEKT DER SCHNELLEN NEUROMUSKULÄREN INNERVATIONSMUSTER.....	177
9.1.1	DIE HIERARCHISCHE STRUKTUR DES SCHNELLIGKEITSTRAININGS.....	178
9.1.2	STUFE 1: ELEMENTARES SCHNELLIGKEITSTRAINING.....	178
9.1.3	STUFE 2: KOMPLEXES SCHNELLIGKEITSTRAINING	179
9.1.4	STUFE 3: TRAINING DER HANDLUNGSSCHNELLIGKEIT	180
9.2	EIN TRAININGSMODELL ZUR SCHNELLIGKEIT IM JUDO	182
9.3	METHODEN DES SCHNELLIGKEITSTRAININGS	185
9.3.1	ZUR AUSWAHL DES BELASTUNGSGEFÜGES	185
9.3.2	TRAINING UNTER ERLEICHTERTEN BEDINGUNGEN.....	186
9.3.3	DIE NUTZUNG DES NACHWIRKUNGSEFFEKTES BEI BELASTUNGS- UND GESCHWINDIGKEITSVARIATION	188
9.3.4	DIFFERENTIELLES LERNEN	190
9.4	ZUSAMMENFASSUNG DER EMPFEHLUNGEN ZUM SCHNELLIGKEITSTRAINING	192
10	Überleitung zum empirischen Teil	194

11	Empirische Untersuchung.....	196
11.1	UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND UND FORSCHUNGSDESIGN	196
11.2	DIE ZU UNTERSUCHENDE ZUGBEWEGUNG BEIM JUDO.....	196
11.3	DARSTELLUNG DES UNTERSUCHUNGSDESIGNS	196
11.3.1	DIE ISOMETRISCHE MAXIMALKRAFTMESSUNG	197
11.3.2	DER ZUGAPPARAT	197
11.3.3	DER LÄNGENGEBER.....	199
11.3.4	DAS EMG-SYSTEM.....	199
11.3.4.1	Die Elektromyographie (EMG).....	199
11.3.4.1.1	Das EMG-Signal.....	200
11.3.4.1.2	Zur Analyse des elektromyographischen Signals	201
11.3.4.1.3	Die Amplitude	202
11.3.4.1.4	Das EMG bei schnellen Bewegungen.....	203
11.3.4.1.5	Zur Präparation der Ableitpunkte	205
11.3.4.1.6	Zur Festlegung der Ableitpunkte	207
11.4	ZUSAMMENFASSUNG.....	208
12	Durchführung der Untersuchungen	209
12.1	DIE GÜTEKRITERIEN	212
12.1.1	DIE OBJEKTIVITÄT.....	213
12.1.2	DIE RELIABILITÄT	213
12.1.3	DIE VALIDITÄT.....	213
12.2	BESCHREIBUNG DER STICHPROBE.....	214
12.3	AUFBAU UND GANG DER UNTERSUCHUNGEN	216
12.3.1	VORUNTERSUCHUNGEN	217
12.3.2	DATENAUSWERTUNG.....	218
12.3.3	ERGEBNISSE DER VORUNTERSUCHUNG.....	218
12.4	ANALYSEN ZUR DAUER DER GESAMTBEWEGUNG	219
12.4.1	ZIEL DER UNTERSUCHUNG UND EINGANGSHYPOTHESE	219
12.4.2	DURCHFÜHRUNG.....	220
12.4.3	ZUR DATENANALYSE MIT DER MESS-SOFTWARE DIADEM	221
12.4.4	ERGEBNISSE	221
12.4.5	PRÜFSTATISTIK.....	224
12.4.6	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	225
12.5	ANALYSE DER EMG-MESSUNGEN	226
12.5.1	ZIEL DER UNTERSUCHUNG UND EINGANGSHYPOTHESEN	226
12.5.2	DURCHFÜHRUNG.....	228
12.5.3	ZUR DATENANALYSE MIT DER SOFTWARE MYOSOFT	228
12.5.4	ERGEBNISSE	228
12.5.5	PRÜFSTATISTIK.....	231
12.5.6	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	236
12.6	ANALYSEN ZUR KRAFTABHÄNGIGKEIT	238

12.6.1	ZIEL DER UNTERSUCHUNG UND EINGANGSHYPOTHESEN	238
12.6.2	DURCHFÜHRUNG.....	239
12.6.3	ERGEBNISSE	240
12.6.4	PRÜFSTATISTIK.....	243
12.6.5	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	245
12.7	STABILITÄTS-ANALYSEN	246
12.7.1	ZIEL DER UNTERSUCHUNG UND EINGANGSHYPOTHESEN	246
12.7.2	DURCHFÜHRUNG.....	246
12.7.3	ERGEBNISSE	247
12.7.4	PRÜFSTATISTIK.....	248
12.7.5	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	250
12.8	ZEITREIHENANALYSE ZUR STABILITÄT DER SCHNELLEN NEUROMUSKULÄREN INNERVATIONSMUSTER BEI ZUGBEWEGUNGEN	251
12.8.1	PRÜFSTATISTIK.....	251
12.8.2	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	252
12.9	ERGEBNISSE DER GRUPPENVERGLEICHE.....	253
12.9.1	ZIEL DER UNTERSUCHUNG UND ERGRÜNDUNGSHYPOTHESEN	253
12.9.1.1	Die Gewichtsklasse als unabhängige Variable	253
12.9.1.2	Das Leistungsniveau als unabhängige Variable	255
12.9.2	DURCHFÜHRUNG.....	257
12.9.3	ERGEBNISSE	257
12.9.4	PRÜFSTATISTIK.....	259
12.9.5	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	260
12.10	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER EMPIRISCHEN ERGEBNISSE.....	261
13	Resümee	265
14	Literaturverzeichnis	268
15	Anhang	282

ABBILDUNGEN

ABBILDUNG 1: ÜBERSICHT ÜBER DIE EINFLUSSFAKTOREN SCHNELLER BEWEGUNGEN (AUS: SCHNABEL ET AL. 1998, S. 141).....	28
ABBILDUNG 2: ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG VON EINFLÜSSEN, DIE ZU EINER FASERTRANSFORMATION VON SCHNELL NACH LANGSAM UND UMGEKEHRT FÜHREN (MOD. NACH PETTE, 1998)	42
ABBILDUNG 3: DER ABLAUF EINER KAMPFHANDLUNG (AUS: LEHMANN, 1997, S. 13).....	63
ABBILDUNG 4: DIE DREI PHASEN EINES JUDOWURFES NACH VORN.....	65
ABBILDUNG 5: DIE DREI PHASEN EINER WURFTECHNIK NACH HINTEN	66
ABBILDUNG 6: EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG EINER ANRISSBEWEGUNG BEI VERWENDUNG DES ARMKRAFTZUGGERÄTES (AUS: NOWOIS KY & WOLF, 1991).....	71
ABBILDUNG 7: DER ANRISSKRAFTVERLAUF UND DAS ELEKTROMYOGRAMM BEI EINEM SEOI-NAGE (AUS: NOWOISKY, 1997, S. 157).....	73
ABBILDUNG 8: BIOMECHANISCHES MODELL DER GLEICHGEWICHTSBRECHUNG NACH VORN (AUS: NOWOISKY, 1997, S. 150).....	76
ABBILDUNG 9: DAS GEOMETRISCHE MAß DER STANDFESTIGKEIT: DER KIPPWINKEL (AUS: LEHMANN & ULBRICHT, 1994, S. 174)	78
ABBILDUNG 10: DAS ENERGETISCHE MAß DER STANDFESTIGKEIT: DER HUBWEG (AUS LEHMANN & ULBRICHT, 1994, S. 175)	78
ABBILDUNG 11: DIE WURFRICHTUNGEN IM JUDO: NACH VORN (A), NACH HINTEN (B), NACH RECHTS (C), NACH LINKS (D), NACH RECHTS VORN (E), NACH LINKS VORN (F), NACH RECHTS HINTEN (G), NACH LINKS HINTEN (H). (MOD. NACH LEHMANN & MÜLLER-DECK, 1989, S. 42).....	85
ABBILDUNG 12: NEURONENVERSCHALTUNG, DIE (HYPOTHETISCH) ZU KREISENDEN ERREGUNGEN FÜHREN KANN (SCHMIDT, 1977, S. 116 AUS: DAUGS ET AL., 1991, S. 70)	113
ABBILDUNG 13: PLASTIZITÄT DER SYNAPSEN (MOD. NACH ECCLES, 1979).....	115
ABBILDUNG 14: DER HIERARCHISCHE AUFBAU DES ZENTRALEN MOTORISCHEN SYSTEMS. DIE DICKE DER PFEILE GIBT DIE BEDEUTUNG DER INFORMATIONÜBERTRAGUNG AN (AUS: NOTH, 1994, S. 93).....	123
ABBILDUNG 15: GENERELLE BESCHREIBUNG EINES REFLEXBOGENS (MOD. NACH SCHMIDT & THEWS, 1980).....	129
ABBILDUNG 16: VERÄNDERUNG DER GESAMTHEIT VON INDIVIDUELLEN UNTERSCHIEDEN (R2) ZWISCHEN DEM KRAFTPOTENTIAL (PO) UND DER GESCHWINDIGKEIT EINER BELASTETEN BEWEGUNG (PO/VP) UND ZWISCHEN DER SCHNELLIGKEIT UND DER GESCHWINDIGKEIT EINER BELASTETEN BEWEGUNG (VO/VP) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER GRÖßE DES ÄUßEREN WIDERSTANDS (AUS: VERCHOSCHANSKIJ, 1995, S. 59). LEGENDE: VP: GESCHWINDIGKEIT EINER BEWEGUNG; VO: SCHNELLIGKEIT EINER BEWEGUNG; PO: KRAFTPOTENTIAL.....	146
ABBILDUNG 17: WIRKUNGSBEREICH DER AZYKLISCHEN SCHNELLKRAFT (MOD. NACH PAMPUS, 1995, S. 9).....	151
ABBILDUNG 18: RANGORDNUNGEN NACH DEM PARAMETER MAXIMALE STRECKGESCHWINDIGKEIT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ZUSATZLAST BEI ACHT PROBANDEN (AUS: SCHMALZ, 1993, S. 95).....	153

ABBILDUNG 19: DIE KRAFT-GESCHWINDIGKEITSRELATION NACH HILL (AUS: RÜEGG, 1987, S. 81).....	154
ABBILDUNG 20: CHARAKTERISTIK DER MUSKELLEISTUNGSSCHWELLE, DEFINIERT ÜBER DEN IMPULS DER BESCHLEUNIGTEN MASSE ZWEIER PROBANDEN. DIE MUSKELLEISTUNGSSCHWELLE LIEGT BEI DEN PROBANDEN BEI 42 NS UND 30 NS. DIE SCHWELLENGEWICHTE LIEGEN BEI 50 UND 70 KILOGRAMM (AUS: MARTIN ET AL., 1991, S. 119).....	155
ABBILDUNG 21: FRAGEN ZUR DETEKTIERUNG DES SPEZIELLEN KRAFTANFORDERUNGSPROFILS (MOD. NACH MARTIN ET AL., 1993, S. 136).....	156
ABBILDUNG 22: DAS VERHÄLTNISS VON SCHNELLIGKEIT UND GENAUIGKEIT SPORTLICHER HANDLUNGEN (MOD. NACH SCHELLENBERGER, 1986, S. 427; GOLD, 1998, S. 46).....	161
ABBILDUNG 23: ERSCHENUNGSFORMEN DER SCHNELLIGKEIT IM BEZIEHUNGSGEFÜGE „TÄTIGKEITSAUFBAU – TÄTIGKEITSREGULATION – LEISTUNGSVORAUSSETZUNGEN“ (MOD. NACH KÜHN, 1991, S. 307).....	164
ABBILDUNG 24: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES DREI-FAKTOREN-MODELLS ZUM EINFLUSS KONDITIONELLER BELASTUNGEN AUF AUSFÜHRUNGSLEISTUNGEN BEI SPORTMOTORISCHEN LERNPROZESSEN NACH OLIVIER (1996, S. 50).....	171
ABBILDUNG 25: TECHNISCH-TAKTISCHER HANDLUNGS KOMPLEX IM RINGEN (AUS: SCHNABEL ET AL., 1997, S. 86).....	182
ABBILDUNG 26: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER ARMZUGBEWEGUNG AM SELBST KONSTRUIERTEN ZUGAPPARAT.....	198
ABBILDUNG 27: VERÄNDERUNGEN DES M. GASTROCNEMIUS UND DES M. RECTUS FEMORIS VOM ÜBERGANG AUS DEM LANGEN IN EIN KURZES ZEITPROGRAMM (AUS: WITTEKOPF ET AL., 1991, S. 206FF).....	204
ABBILDUNG 28: DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER DAUER BIS ZUM ERREICHEN DER MAXIMALEN GESCHWINDIGKEIT UND DER DAUER DER ZUGBEWEGUNG.....	225
ABBILDUNG 29: ZUSAMMENHANG DER EMG-AKTIVITÄT WÄHREND DER ZUGPHASE DES M. BIZEPS BRACHII UND DER DAUER DER ZUGBEWEGUNG.....	232
ABBILDUNG 30: ZUSAMMENHANG DER EMG-AKTIVITÄT WÄHREND DER ZUGPHASE DES M. LATISSIMUS DORSI UND DER DAUER DER ZUGBEWEGUNG.....	233
ABBILDUNG 31: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER EMG-AKTIVITÄT DES M. BIZEPS BRACHII IN DER VORINNERVATION UND DER DAUER DER ZUGBEWEGUNG.....	234
ABBILDUNG 32: ZUSAMMENHANG DER EMG AKTIVITÄT DES M. LATISSIMUS DORSI IN DER VORINNERVATION UND DER DAUER DER ZUGBEWEGUNG.....	235
ABBILDUNG 33: DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEM EXPLOSIVKRAFTQUOTIENTEN UND DER DAUER DER ZUGBEWEGUNG.....	243
ABBILDUNG 34: DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEM STARTKRAFTQUOTIENTEN UND DER DAUER DER ZUGBEWEGUNG.....	244
ABBILDUNG 35: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DES ZEITLICHEN VERLAUFS DER ZUGBEWEGUNGEN INNERHALB DES FÜNF-MINUTEN-TESTS.....	249

Tabellen

TABELLE 1: DAS ANFORDERUNGSPROFIL DER ZWEIKAMPFSPORTART JUDO (MOD. NACH LEHMANN & MÜLLER-DECK, 1989; GOLD, 1998).....	60
TABELLE 2: AUSGEWÄHLTE PARAMETERWERTE BEI T0 IN ABHÄNGIGKEIT VON DER AUSGANGSGESCHWINDIGKEIT DES KSP VKSP DER MODELLMASSE (MODELLMASSE MG = 136 KG, AUSGANGSKIPPWINKEL BKSP = -33°).....	73
TABELLE 3: FUNKTIONSBESCHREIBUNG DER EINZELNEN WURFPHASEN	88
TABELLE 4: STRUKTURMODELL DER SCHNELLKRAFT (MOD. NACH SCHMIDTBLEICHER, 1987, S. 359).....	145
TABELLE 5: DER LERNVERLAUF EINER KAMPFHANDLUNG (MOD. NACH LEHMANN, 1997, S. 13).....	165
TABELLE 6: DAS DREI-STUFEN-MODELL DES SCHNELLIGKEITSTRAINING IM JUDO (MOD. NACH BAUERSFELD & VOSS, 1992; WEIGELT, 1997).....	182
TABELLE 7: TRAININGS METHODEN ZUR VERBESSERUNG DER SCHNELLIGKEIT (MOD. NACH HOHMANN ET AL., 2002, S. 95).....	186
TABELLE 8: MÖGLICHKEITEN ZUR SICHERUNG VON ÜBUNGSBEDINGUNGEN FÜR DIE AUSBILDUNG DER SCHNELLIGKEIT.....	187
TABELLE 9: FAKTOREN, WELCHE DIE SIGNALINFORMATION DER ELEKTROMYOGRAPHIE BEEINFLUSSEN	200
TABELLE 10: KATALOG ZUR VORBEREITUNG DER DATENERHEBUNG MITTELS DER OBERFLÄCHENELEKTROMYOGRAPHIE.....	206
TABELLE 11: ZUSAMMENSTELLUNG DER ABLEITPUNKTE ZU DEN MUSKELN, DIE BEI DER ARMZUGBEWEGUNG WIRKEN UND IM OBERFLÄCHEN-EMG ABLEITBAR SIND	208
TABELLE 12: DIE VERSUCHSPERSONEN	214
TABELLE 13: DER LEISTUNGS- UND GEWICHTSKLASSENSCHLÜSSEL.....	215
TABELLE 14: VERGLEICH DER MITTELWERTE ZUR DAUER DER ZUGBEWEGUNG.	218
TABELLE 15: ÜBERSICHT ÜBER DIE GESAMTDAUER DER ZUGBEWEGUNG UND DER DAUER BIS ZUM ERREICHEN DER MAXIMALEN GESCHWINDIGKEIT. JEWEILS BESTER VERSUCH PRO PROBAND	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
TABELLE 16: ÜBERSICHT ÜBER DIE EXTREMWERTE BEI DER BETRACHTUNG DER GESAMTDAUER DER ZUGBEWEGUNG UND DER ZEITDAUER BIS ZUM ERREICHEN VON VMAX.....	223
TABELLE 17: ÜBERBLICK ÜBER DIE EXTREMWERTE, MITTELWERTE UND DIE STANDARDABWEICHUNGEN DER BESTEN ZUGVERSUCHE ALLER PROBANDEN	223
TABELLE 18: REGRESSIONSSTATISTIK ZUR ERSTEN HYPOTHESE.....	224
TABELLE 19: ÜBERSICHT ÜBER DIE EMG-AKTIVITÄT WÄHREND DER VORINNERVATIONSPHASE.....	229
TABELLE 20: ÜBERSICHT ÜBER DIE EMG-AKTIVITÄT WÄHREND DER ZUGPHASE.....	230
TABELLE 21 ÜBERSICHT ÜBER DIE EXTREMWERTE BEI DER BETRACHTUNG DER GESAMTDAUER DER ZUGBEWEGUNG	231
TABELLE 22: DIE KORRELATION ZUR ZWEITEN HYPOTHESE UND DER EMG AKTIVITÄT DES M. BICEPS BRACHII WÄHREND DER ZUGPHASE.....	232
TABELLE 23: DIE KORRELATION ZUR ZWEITEN HYPOTHESE UND DER EMG AKTIVITÄT DES M. LATISSIMUS DORSI WÄHREND DER ZUGPHASE.....	233

TABELLE 24: DIE KORRELATION ZWISCHEN DER VORINNERVATION DES M. BICEPS BRACHII UND DER DAUER DER GESAMTBEWEGUNG	234
TABELLE 25: DIE KORRELATION ZWISCHEN DER VORINNERVATION DES M. LATISSIMUS DORSI UND DER DAUER DER GESAMTBEWEGUNG.....	235
TABELLE 26: ÜBERBLICK ÜBER DIE BESTEN EXPLOSIVKRAFTQUOTIENTEN UND DIE BESTEN ZUGVERSUCHE DER PROBANDEN	240
TABELLE 27: ÜBERSICHT ÜBER DIE MITTELWERTE UND DIE STANDARDABWEICHUNGEN DES EXPLOSIVKRAFTQUOTIENTEN, EINGETEILT NACH LEISTUNGSHOMOGENEN GRUPPEN	241
TABELLE 28: ÜBERBLICK ÜBER DIE BESTEN STARTKRAFTQUOTIENTEN UND DIE BESTEN ZUGVERSUCHE DER PROBANDEN	241
TABELLE 29: ÜBERSICHT ÜBER DIE MITTELWERTE UND DIE STANDARDABWEICHUNGEN DES STARTKRAFTQUOTIENTEN, EINGETEILT NACH LEISTUNGSHOMOGENEN GRUPPEN	242
TABELLE 30: DIE KORRELATION ZWISCHEN DEM EXPLOSIVKRAFTQUOTIENTEN (EKQ) UND DER DAUER DER GESAMTBEWEGUNG.....	243
TABELLE 31: DIE KORRELATION ZWISCHEN DEM STARTKRAFTQUOTIENTEN (SKQ) UND DER DAUER DER GESAMTBEWEGUNG	244
TABELLE 32: ÜBERSICHT ÜBER DIE DAUER DER ZUGBEWEGUNGEN IM FÜNF-MINUTEN-TEST.....	247
TABELLE 33: ÜBERSICHT ÜBER DIE MAXIMALEN UND MINIMALEN WERTE IM FÜNF-MINUTEN-TEST.....	248
TABELLE 34: ÜBERSICHT ÜBER DIE WERTE ZUR AUTOKORRELATION BEI DER UNTERSUCHUNG ZUR STABILITÄT DER ZUGVERSUCHE.....	252
TABELLE 35: DER GEWICHTSKLASSENSCHLÜSSEL.....	254
TABELLE 36: DIE EINTEILUNG DER GEWICHTSKLASSEN	254
TABELLE 37: DIE EINTEILUNG DER PROBANDEN NACH DEM GEWICHTSKLASSENSCHLÜSSEL.....	255
TABELLE 38: DER LEISTUNGSNIVEAUSCHLÜSSEL	256
TABELLE 39: DIE EINTEILUNG DER LEISTUNGS KLASSEN	256
TABELLE 40: DIE EINTEILUNG DER PROBANDEN NACH DEM LEISTUNGSNIVEAUSCHLÜSSEL	257
TABELLE 41: VERGLEICH DER MITTELWERTE DER BEIDEN PROBANDENGRUPPEN, EINGETEILT NACH DEM GEWICHTSKLASSENSCHLÜSSEL	257
TABELLE 42: VERGLEICH DER MITTELWERTE DER BEIDEN PROBANDENGRUPPEN, EINGETEILT NACH DEM LEISTUNGSNIVEAUSCHLÜSSEL	258
TABELLE 43: ERGEBNIS DES T-TESTS ZUM VERGLEICH DER PROBANDENGRUPPEN BEZÜGLICH DES EINFLUSSES DER UNABHÄNGIGEN VARIABLE GEWICHTSKLASSE	259
TABELLE 44: ERGEBNIS DES T-TESTS ZUM VERGLEICH DER PROBANDENGRUPPEN BEZÜGLICH DES EINFLUSSES DER UNABHÄNGIGEN VARIABLE LEISTUNGS NIVEAU	260

1 Einführung

Die Schnelligkeit ist eine der am wenigsten erforschten konditionelle Fähigkeit. Und es gibt gleichzeitig keine Fähigkeit, zu welcher derart viele kontroverse Standpunkte existieren. Hohmann, Lames & Letzelter (2002, S. 90) fassten im Überblick hierzu vier Richtungen zusammen:

Zum biomechanischen Ansatz zählen sie die Einordnung der Schnelligkeit in das Schnellkraft-Konzept. Hier wird die Schnelligkeit zwar nicht als motorische Grundeigenschaft beschrieben, es wird ihr jedoch ein konditionell determinierter Charakter unterstellt und zwar manifestiert dieser sich als spezifische Fähigkeit in Form der Startkraft bei der Überwindung von geringen Widerständen. Paten für diesen Ansatz sind die Arbeiten von Bührle & Schmidbleicher (1983).

Aus trainingswissenschaftlicher Perspektive, auf der Grundlage der Ergebnisse von Weigelt (1997) und Thienes (1998), wird die Schnelligkeit als Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck in geschlossenen oder offenen Bedingungen beschrieben. Auch dort ist die Schnelligkeit keine motorische Grundeigenschaft, sondern wird den Leistungsvoraussetzungen Technik/Koordination zugeordnet.

Als dritten Ansatz beschreiben Hohmann et al. (2002, S. 90) das Konzept der anatomisch-physiologischen Sichtweise der elementaren und komplexen Schnelligkeit. Hierbei sind elementare Schnelligkeitsfähigkeiten durch Zeitprogramme bestimmt. Zeitprogramme sind durch die zeitlich abgestimmten neuromuskulären Impulsfolgen des Muskeleinsatzes bei einer bestimmten Bewegung charakterisiert (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992). Aufgrund der kurzen Dauer dieser schnellen Bewegungen sind diese aus informationstheoretischen Überlegungen (vgl. Küchler, 1983) nicht bewusst korrigierbar und gelten daher als programmgesteuert. Als Vertreter dieser Position sind Bauersfeld & Voss (1992), Grosser (1991) und Verchoschanskij (1996) zu nennen.

Der vierte Ansatz hat einen klassischen, pragmatischen Ansatz und stammt aus der Trainingslehre. Die Schnelligkeit wird hierbei in die Reaktionsschnelligkeit, die azyklische Schnelligkeit und die zyklische Bewegungsschnelligkeit eingeteilt.

In der vorliegenden Arbeit soll nun der maßgeblich von Bauersfeld & Voss (1992) geprägte Ansatz zu den postulierten Zeitprogrammen zur Schnelligkeit in der Zweikampfsportart Judo sportartspezifisch überprüft werden, da dieser in der trainingswissenschaftlichen Literatur große Beachtung erfährt. Damit soll des Weiteren in den Zweikampfsportarten eine Lücke im Bereich der Schnelligkeit und des Schnelligkeitstrainings geschlossen werden. Denn bislang existieren noch keine empirischen Befunde zu schnellen azyklischen Zeitprogrammen der oberen Extremitäten in Zweikampfsportarten.

Im Zentrum der Untersuchungen von Bauersfeld & Voss (1992) standen sogenannte Nieder-Hoch-Sprünge, welche einen ausgeprägten Dehnungs-

Verkürzungs-Zyklus aufweisen. Da in der vorliegenden Arbeit schnelle konzentrische Armzugbewegungen im Judo untersucht werden sollen, scheint der Begriff Zeitprogramm bereits vorbelastet und soll durch den Terminus schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster ersetzt werden. Als weitere Begründung für die Wahl eines anderen Begriffs ist die problematische Wahl des Begriffs Programm, der an vielen Stellen kritisiert wird (vgl. im Überblick Roth & Willimczik, 1999, S. 206ff.). Schmidt (1988), ein Vertreter von Programmtheorien, erklärt sich zu dieser Problematik:

„Kein Programmtheoretiker würde behaupten, dass sich Menschen in einer bestimmten Weise verhalten, weil es Motorikprogramme gibt, sondern vielmehr, dass sie sich so verhalten, als ob es Motorikprogramme gäbe.“

Dem Programmbegriff kommt der Status eines Metaphers zu. Allerdings plädiert Neumann (1992) für eine Umorientierung von Metaphern zu Mechanismen. Damit soll außerdem dem Dilemma entgegen gewirkt werden, einer Theorie hinterherzulaufen, anstatt eine neue zu entwickeln.

Aus diesem Grund scheint der Begriff schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster zutreffender zu sein, da er sowohl die Zeitdauer einer Bewegung, als wichtigen Aspekt der Schnelligkeit, als auch topologische Aspekte einer Bewegung beinhaltet. Somit kommt der Begriff schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster einem Mechanismus näher. Unter einem schnellen neuromuskulären Innervationsmuster soll demnach die zeitlich abgestimmte neuromuskuläre Impulsfolge des Muskeleinsatzes der für die entsprechende Bewegung notwendigen Muskeln, die Dauer und das Anstiegsverhalten der bioelektrischen Aktivität verstanden werden. Diese Definition ist angelehnt an Bauersfeld & Voss (1992, S. 18), die hierfür jedoch den problematischen Arbeitsbegriff Zeitprogramm wählten.

In der vorliegenden Arbeit geht es um die Untersuchung, wie schnelle Bewegungen im Judo als schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster aufgefasst werden können, also ohne Feedback-Prozesse ablaufen, und wie diese in den Ansatz von Bauersfeld & Voss eingeordnet werden können bzw. anhand dessen und den gefundenen Charakteristika überprüft werden können.

1.1 Problemstellung und Begründung der Arbeit

Zahlreiche Ansätze zum Schnelligkeitstraining sehen eine große Affinität zum Techniktraining, da beide Erscheinungen stark vom neuromuskulären Zusammenspiel determiniert werden. Vor allem Bauersfeld & Voss (1992) lieferten mit ihren Arbeiten neue Denkanstöße.

Bauersfeld & Voss (1992) fordern bei der Ausbildung der Schnelligkeit in Verbindung mit einem Techniktraining (vgl. Weigelt, 1997) die Ausbildung sogenannter kurzer Zeitprogramme und damit die bestmögliche Ausnutzung der individuellen Eigenschaften des Zentralen Nervensystems eines Sportlers

(Verchoschanskij, 1995, S. 31). Diese Zeitprogramme beinhalten die zeitlich abgestimmten neuromuskulären Impulsfolgen des Muskeleinsatzes. Aufgrund ihrer kurzen Dauer sind sie aus informationstheoretischen Überlegungen (vgl. Küchler, 1983) nicht bewusst korrigierbar. Ein motorisches Programm bzw. neuromuskuläres Innervationsmuster wird nach Roth (1982, S. 56f.) als

„zentral gespeicherte Pläne für Bewegungssequenzen, welche den Ablauf menschlicher Selbstbewegungsakte kontrollieren“.

beschrieben. Innerhalb eines neuromuskulären Innervationsmusters werden hiernach erlernte oder angeborene efferente Kommandos im Zentralen Nervensystem abgerufen, die eine bestimmte sequentielle und zeitliche Ordnung innerhalb des Zentralnervensystems zur Realisierung der Zielbewegung aufweisen. Diese neuromuskulären Innervationsmuster dienen der Beschreibung motorischer Kontroll- und Speicherungsstrategien des Zentralnervensystems.

In ihrem fähigkeitsorientierten Ansatz gehen nun Bauersfeld & Voss (1992) davon aus, dass die Schnelligkeit nicht als maximale Geschwindigkeit zu definieren sei, sondern einen elementaren Grundcharakter hat und als elementare Leistungsvoraussetzung gilt. Dieser elementare Grundcharakter wird durch die Zeitprogramme beschrieben. Elementare Leistungsvoraussetzungen äußern sich jedoch erst im Zusammenspiel mit anderen elementaren motorischen Fähigkeiten (Techniktraining) und benötigen ihre eigenen adäquaten Trainingsmittel.

In bezug auf schnelle azyklische Bewegungen existieren zum Ansatz der schnellen Zeitprogramme lediglich Befunde zu den unteren Extremitäten (Nieder-Hochsprung) bzw. einfacher Bewegungen im Bereich des Handgelenks (vgl. Weigelt, 1997). Insofern besteht bei komplexeren Bewegungen, wie sie in den Zweikampfsportarten vorkommen, zusätzlich Forschungsbedarf, der in der vorliegenden Arbeit angegangen werden soll.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, in einer ausführlichen Literaturanalyse zunächst die azyklische Schnelligkeit aus der physiologischen, über die biomechanische und nicht zuletzt der trainingswissenschaftlichen Perspektive zu betrachten. Dies dient dazu, die Frage zu beantworten, ob schnelle Bewegungen im Judo als schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster verstanden werden können. In einer abschließenden empirischen Untersuchung werden die von Bauersfeld & Voss (1992) postulierten Charakteristika der Zeitprogramme anhand von schnellen Zugbewegungen im Judo überprüft.

1.2 Aufbau und Gang der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit wird zunächst auf den Charakter der azyklischen Schnelligkeit eingegangen. Es wird beschrieben, wie sie sich als elementare und komplexe Leistungsvoraussetzung in der sportlichen Leistung durch spezifische Bewegungen manifestiert. In einem nächsten Schritt werden die konditionellen und die koordinativen Aspekte der Schnelligkeit beschrieben und wie sie sich nach dem aktuellen Stand der Forschung darstellen. Es folgen Beiträge zur Schnelligkeit aus der judospezifischen und artverwandten Literatur, sowie die Vorstellung bereits vorliegender Messsysteme, um den Schnelligkeitscharakter von Bewegungen im Judo zu erfassen.

Da der Gegenstand, an welchem die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster einer schnellen Bewegung festgemacht wird, eine Bewegung aus der Zweikampfsportart Judo ist, wird in einem weiteren Abschnitt die Bedeutung der Schnelligkeit innerhalb der Leistungsstruktur des Judo aufgezeigt.

In einem weiteren Schritt werden verschiedene Erklärungsmodelle zur Schnelligkeit in einer kritischen Synopse der relevanten und vorliegenden Literatur beschrieben.

Daraufhin werden die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster als Ausdruck der motorischen Schnelligkeit beschrieben und die trainingswissenschaftlich orientierte Literatur diesbezüglich aufgearbeitet. Da die Zusammenhänge der Schnelligkeit mit der Kraft, der Technik und der Ausdauer gerade in der Praxis eine hohe Bedeutung haben, werden diese Zusammenhänge mittels einer Literaturanalyse untersucht. Um diese weiter zu durchdringen, wird auch auf das Training der Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster eingegangen.

Der zweite Teil der Arbeit besteht aus einer empirischen Untersuchung einer Zugbewegung im Judo. Diese Zugbewegung wird nach verschiedenen Kriterien untersucht, die sich aus der Durchsicht der relevanten Literatur ergeben. Primäres Ziel dieser Untersuchung ist die Überprüfung der beschriebenen Charakteristika der von Bauersfeld & Voss (1992) vorgestellten Zeitprogramme bei einer konzentrischen Bewegung der oberen Extremitäten bzw. eine Überprüfung weiterer Begebenheiten, welche die Schnelligkeit als Teil eines Anforderungsprofils detektieren sollen.

2 Die azyklische Schnelligkeit

Da die azyklische Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht, erfolgt zunächst eine ausführliche Literatursichtung, um den Begriff der azyklischen Schnelligkeit zu operationalisieren.

Der Unterscheidung zwischen azyklischer und zyklischer Schnelligkeit liegen die Überlegungen von Meinel (1971, S. 149) zugrunde, welche ein Kategoriensystem zur Beschreibung des räumlich-zeitlichen Verlaufs einer Bewegung beschreiben. Diese Phasengliederung teilt jede sportliche Bewegung in eine Vorbereitungsphase, eine Hauptphase und in eine Endphase ein. Während bei einer azyklischen Bewegung diese Phasen einmal ablaufen und die Bewegung mit der Beendigung der Endphase beendet ist, also eine Dreiphasenstruktur vorliegt, gibt es bei zyklischen Bewegungsleistungen eine Zweiphasenstruktur. Bei diesen liegt eine Verschmelzung zwischen der Endphase und der Vorbereitungsphase vor. Die gesamte Bewegung wird unmittelbar wiederholt (vgl. Göhner, 1992, S. 122f).

Schnabel, Harre & Borde (1997, S. 141) definieren die azyklische Schnelligkeit als die Schnelligkeit einer Einzelbewegung, während die zyklische Schnelligkeit mit der lokomotorischen Schnelligkeit gleichgesetzt wird. Die Lokomotorik bezieht sich in der Sportwissenschaft auf den Teilbereich der Motorik, der als Grundlage für die Fortbewegung betrachtet wird (Mechling in: Röthig 1992, S. 296).

In einigen Forschungsarbeiten (Bauersfeld, 1989, S. 37; Weigelt, 1997, S. 8f.) wird das Postulat aufgestellt, dass die Schnelligkeit einen dominant azyklischen Charakter hat. So weisen einige Autoren darauf hin, dass die zyklische Schnelligkeit, ausgedrückt durch die Bewegungsfrequenz, aus einer Summe von Einzelzyklen besteht (u. a. Hollmann & Hettinger, 1990, S. 276; Neumaier & Klein, 1991, S. 9; Bauersfeld & Voss, 1992, S. 23).

Allerdings muss dies weitaus differenzierter betrachtet werden. Denn hierbei kommen auch Aspekte der Koordination zum Tragen. Dies zeigt sich beispielsweise bei der Gestaltung der Umkehrpunkte der Bewegung. Denn es muss das Verhältnis zwischen beschleunigenden und abbremsenden Kräften optimiert werden. Aus diesem Grund müssen die azyklische und die zyklische Schnelligkeit als weitgehend unabhängig voneinander betrachtet werden. Hohmann et al. (2002, S. 90) unterstützen diese Annahme, denn bei einer optimalen Koordination zyklischer Bewegungsfolgen werden zusätzlich reflektorisch ausgelöste Muskelkräfte und elastische Speicherkräfte in den Sehnen, Bändern und Muskeln genutzt.

Im Rahmen dieser Arbeit werden primär azyklische Bewegungen betrachtet. Aus diesem Grund werden Phänomene, welche die zyklische Schnelligkeit betreffen, nur peripher berücksichtigt.

2.1 **Zum Verständnis der Schnelligkeit**

Die Schnelligkeit ist unter den motorischen Hauptbeanspruchungsformen die wohl komplexeste und noch am wenigsten erforschte Form. Dies zeigt sich in den häufig geführten Diskussionen um die Zuordnung der Schnelligkeit als eine eher konditionell determinierte Fähigkeit oder als einen durch das Zentralnervensystem bestimmten Fähigkeitskomplex.

Schon 1983 machte Bauersfeld auf die problematische Stellung der Schnelligkeit im System der motorischen Fähigkeiten aufmerksam. Das zur Schnelligkeit verwendete Begriffsspektrum reicht von konditioneller Fähigkeit, konditionell-koordinativ determinierter Fähigkeit, maximal schneller Fortbewegung, koordinativer Leistung oder komplexer Fähigkeit bis hin zum verwendeten Synonym Sprint.

Auf diese Problematik eingehend bieten Bauersfeld & Voss (1992, S. 13) eine Übersicht über die in der Literatur verwendeten Begriffe zur Schnelligkeit. Selbst zu den einzelnen „Sammelbegriffen“ wurden unterschiedlichste Definitionen gefunden.

Tab. 1: Übersicht über die unterschiedlichen Definitionen zur Schnelligkeit (mod. nach Bauersfeld & Voss, 1992, S. 13).

- Reaktionsschnelligkeit: 10 unterschiedliche Begriffe von 25 Autoren.
- Aktionsschnelligkeit: 8 unterschiedliche Begriffe von 17 Autoren.
- lokomotorische Schnelligkeit: 8 unterschiedliche Begriffe von 17 Autoren.
- Ausdauerschnelligkeit: 2 unterschiedliche Begriffe von 9 Autoren.
- Handlungsschnelligkeit: 6 Autoren.

So sehen beispielsweise Schnabel & Thiess (1993, S. 696) die Schnelligkeit als konditionelle Fähigkeit, als eine

„Leistungsvoraussetzung, um motorische Aktionen unter den gegebenen Bedingungen ... mit hoher und höchster Intensität zu realisieren.“

Die Motorik wird durch die internen Regelungs- und Steuerungsvorgänge charakterisiert.

Dahingegen ordnen Martin, Carl & Lehnertz (1991, S. 147) die Schnelligkeit nur bedingt den konditionellen Fähigkeiten zu. Denn die Verursachung der Schnelligkeit ist nur partiell durch energetische Geschehnisse bestimmt. Sie

„beruht in hohem Maße auf zentralnervösen Steuerungsmechanismen.“

Bei Grosser (1991, S. 13) ist die Schnelligkeit eine psycho-physische Fähigkeit. Sie kommt bei Bewegungshandlungen zum Ausdruck, bei welchen die maximale Leistung nicht durch die Ermüdung beeinträchtigt wird. Gesteuert wird die Schnelligkeit durch die

„Fähigkeit, aufgrund kognitiver Prozesse, maximaler Willenskraft und der Funktionalität des Nerv-Muskel-Systems höchstmögliche Reaktions- und Bewegungsgeschwindigkeiten unter bestimmten Bedingungen zu erzielen.“

Einen Mittelweg gehen auch Schnabel et al. (1997, S. 140). Bei ihnen gilt die Schnelligkeit als

„koordinativ konditionell determinierte Leistungsvoraussetzung, um in kürzester Zeit auf Reize zu reagieren bzw. Informationen zu verarbeiten sowie Bewegungen oder motorische Handlungen unter erleichterten und/oder sportartspezifischen Bedingungen mit maximaler Bewegungsintensität ausführen zu können, wobei durch eine sehr kurze Belastungsdauer eine Leistungslimitierung durch Ermüdung ausgeschlossen wird.“

Weineck (1994, S. 395) vertritt die Auffassung, dass sich die Schnelligkeit einerseits den konditionellen Fähigkeiten, andererseits aber auch den koordinativen Fähigkeiten zuordnen lässt.

Die Autoren Harre & Hauptmann postulierten ebenfalls schon im Jahre 1987, dass die Schnelligkeit eine konditionell-koordinativ determinierte Fähigkeit, also eine Mischform, sei.

Auf der einen Seite ist die Schnelligkeit durch die alaktazide und nach neueren Erkenntnissen auch stark durch die Laktazide (vgl. Leyk, Baum, Wamser, Pachurka, Wacker-Hage & Essfeld, 1997, S. 17) Energiegewinnung limitiert, auf der anderen Seite wird sie aber wohl überwiegend durch die Funktionalität des Zentralen Nervensystems bestimmt. Schnabel et al. (1997, S. 131) betonen, dass den konditionellen Fähigkeiten schon per Definition überwiegend energetische Prozesse zugrunde liegen, aber gerade die Schnelligkeit eine enge Beziehung zu den koordinativen Fähigkeiten aufweist und daher eine koordinativ-konditionell determinierte Fähigkeit sei (Schnabel et al., 1997, S. 140).

Nach dem Differenzierungsmodell von Frey & Hildenbrandt (1994, S. 97) ist die Schnelligkeit eine elementare Fähigkeit im engeren Sinne, wenn sie von der Qualität neuromuskulärer Prozesse, von Speicherprogrammen des Zentralnervensystems abhängig ist. Da diese elementare Schnelligkeit in komplexen sportmotorischen Handlungen jedoch häufig in Verbindung mit einer Kraft- oder Ausdauerkomponente auftritt, werden von Frey & Hildenbrandt (1994, S. 97) solche Formen (z. B. Schnelligkeitsausdauer, Schnellkraftausdauer) der Schnelligkeit im weiteren Sinne zugeordnet.

Bei Bauersfeld & Voss (1992) ist die Schnelligkeit eine elementare Leistungsvoraussetzung, die dominant durch ein biologisches Funktionssystem bestimmt wird, jedoch mit anderen in Wechselwirkung tritt. Die Schnelligkeit einer sportlichen Bewegung äußert sich in der Qualität neuromuskulärer Steuer- und Regelprozesse und ist daher an besondere Leistungen des Nerv-Muskel-Systems gebunden. Motorische Aktionen mit einem betont hohen Anteil an Schnelligkeitsanforderungen zeichnen sich durch eine spezifische Qualität aus, die sich in einem bestimmten neuromuskulären Innervationsmuster zeigt. Dieses Innervationsmuster wird von den Autoren mit dem Arbeitsbegriff Zeitprogramm belegt. Bei Bauersfeld & Voss (1992) kommt der elementaren Schnelligkeit, die sich über das Zeitprogramm definiert, ein Basischarakter zu. Erst im komplexen

Schnelligkeitstraining werden diese Zeitprogramme, die Basis der Bewegung, in die Wettkampfbewegung eingebracht und mit den anderen an der Bewegung beteiligten Leistungsvoraussetzungen in Verbindung gebracht.

Grosser (1993, S. 7) äussert sich in dieselbe Richtung, indem er feststellt dass

„die Schnelligkeit als elementare Fähigkeit erlernt wird und offensichtlich unabhängig von energetischen Einflüssen und Kraftkomponenten ist“.

Schnelle Bewegungen werden somit im wesentlichen durch die Qualität neuromuskulärer Steuer- und Regelprozesse determiniert. Schnelligkeit zeigt sich in spezifischen Bewegungsprogrammen. Diese Programme werden nach Grosser (1993, S. 7) im Zentralen Nervensystem (ZNS) ausgebildet und gespeichert.

Wie bei keiner anderen motorischen Hauptbeanspruchungsform zeigen sich bei der Einordnung der zur Schnelligkeit zu zählenden Unterfraktionen bestimmte Zuordnungsprobleme. Grosser (1991) beispielsweise unterscheidet hierbei zwischen den reinen Schnelligkeitsformen (Reaktionsschnelligkeit, Aktionsschnelligkeit, Frequenzschnelligkeit) und den komplexen Schnelligkeitsformen (Kraftschnelligkeit oder Schnellkraft, Schnellkraftausdauer, maximale Schnelligkeitsausdauer). Reine Schnelligkeitsformen sind durch minimale Kraftanforderungen charakterisiert (weniger als 30 Prozent der individuellen Maximalkraft). Als komplexe Schnelligkeitsformen gelten alle Schnelligkeitsanforderungen bei welchen ein erhöhter Anteil der Kraft oder der Ausdauer gegeben ist.

Tatsächlich müssen die engen Verbindungen zur Kraft, aber auch zur Technik und zur Koordination in Verbindung mit der Schnelligkeit konstatiert und in ihrer Bedeutung aufgeschlüsselt werden. Hierzu betonen Bauersfeld & Voss (1992, S. 15) im Gegensatz zu Grosser (1991), dass bezüglich des Schnelligkeitstrainings eine strenge Abgrenzung zur Ausdauer und zum Ausdauertraining vorzunehmen sei. Aus diesem Grund werden die Mischformen der Schnelligkeit, welche eine Ausdauerkomponente besitzen, den anderen konditionellen Fähigkeiten zugeordnet (z. B. Schnelligkeitsausdauer zur Ausdauer, Schnellkraft zur Kraft).

Schnelle Bewegungen müssen im Sport zumeist gegen hohe Widerstände erbracht werden, dies äussert sich beispielsweise im Schnellkraftbegriff. Nur wenn ein bestimmtes Kraftniveau vorhanden ist, kann auch ein entsprechender Widerstand „schnell“ überwunden werden. Die Kraft dient hierzu als Voraussetzung. Der koordinative Anteil der Schnelligkeit, wenn Schnelligkeit als eine koordinativ-konditionell Fähigkeit verstanden wird, ist an besondere Leistungen des ZNS gebunden. Somit kann der Koordination ein Grundlagencharakter zugesprochen werden. Die Ausprägung der sportlichen Technik schliesslich beinhaltet den Genauigkeitscharakter und kann damit als Maß der Präzision verstanden werden. Der in der vorliegenden Arbeit verwendete Technikbegriff versteht die sportliche Technik in erster Linie in

Anlehnung an Meinel (1961, S. 242) als charakteristisches Lösungsverfahren sportlicher Bewegungsaufgaben (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 102; Weineck, 1994, S. 563; Martin et al., 1991, S. 45). Eine gute Technik, die sich biomechanischer Prinzipien bedient, sichert einen maximalen Nutzeffekt beispielsweise durch die Verwendung passiver Kräfte (vgl. Thorstensson, 1989, S. 189).

Es ist also festzustellen, dass die koordinativen Fähigkeiten als Grundlage für die Ausbildung der Schnelligkeitsfähigkeiten gelten, die Kraft eine Voraussetzung bei schnellen Bewegungen gegen höhere Widerstände ist und die Technik wiederum eine Eintrittskarten- und Integrationsfunktion für die Sportart hat:

„Nur wer über ein Minimum an technischen Fertigkeiten verfügt, kann am Sport, beispielweise an einem Volleyballspiel, teilnehmen.“

„Zwar stellt jede Bewegung in der Regel Anforderungen an sämtliche Voraussetzungskomplexe (Ausdauer-, Kraft-, Schnelligkeitsfähigkeiten), die technische Fertigkeit integriert diese Verhaltensdispositionen jedoch erst zu einer sportlich sinnvollen Bewegung.“

(Hohmann et al., 2002, S. 101)

Die Schnelligkeit ist eine koordinativ und zum Teil konditionell bestimmte Fähigkeit und wird als elementare Leistungsvoraussetzung bezeichnet. Sie ist durch die Qualität der neuromuskulären Steuer- und Regelprozesse bestimmt und äussert sich in den bereits definierten schnellen neuromuskulären Innervationsmustern. Daneben wird sie von anderen motorischen Beanspruchungsformen beeinflusst und wirkt mit ihnen gemeinsam.

Als weiterer Begriff im Zusammenhang mit der Schnelligkeit muss die Geschwindigkeit genannt werden. Hierbei wird die Geschwindigkeit als physikalischer Begriff eindeutig abgegrenzt, denn diese erschließt sich aus $v = ds/dt$. Getrennt werden können die beiden Aspekte nicht (vgl. Thienes, 1998, S. 8f.). Denn die Schnelligkeit wird über die Geschwindigkeit, d. h. die Ortsveränderung von Körperteilen operationalisiert. Die Geschwindigkeit ist, gemeinsam mit der Zeitdauer, der äußere messbare Ausdruck der motorischen Schnelligkeit.

Eine weitere, bereits in der Einführung vorgestellte Strukturierung stammt von Hohmann et al. (2002, S. 90). Nach einer Synopse verschiedener Strukturierungsansätze aus der trainingswissenschaftlichen Literatur stellen sie vier Ansätze dar.

Zum biomechanischen Ansatz zählen sie die Einordnung der Schnelligkeit in das Schnellkraft-Konzept. Hier wird die Schnelligkeit zwar nicht als motorische Grundeigenschaft beschrieben, es wird ihr jedoch ein konditionell determinierter Charakter unterstellt und zwar manifestiert dieser sich als spezifische Fähigkeit in Form der Startkraft bei der Überwindung von geringen Widerständen.

Aus trainingswissenschaftlicher Perspektive wird die Schnelligkeit als Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck in geschlossenen oder offenen Bedingungen beschrieben. Hier ist die Schnelligkeit keine motorische Grundeigenschaft, sondern wird den Leistungsvoraussetzungen Technik/Koordination zugeordnet.

Als dritten Ansatz beschreiben Hohmann et al. (2002, S. 90) das Konzept der anatomisch-physiologischen Sichtweise der elementaren und komplexen Schnelligkeit, welcher im folgenden Kapitel näher erläutert wird.

Der vierte Ansatz hat einen klassischen, pragmatischen Ausgangspunkt und stammt aus der Trainingslehre. Die Schnelligkeit wird hierbei in die Reaktionsschnelligkeit, die azyklische Schnelligkeit und die zyklische Bewegungsschnelligkeit eingeteilt.

In der vorliegenden Arbeit soll nicht Partei für den einen oder anderen Ansatz ergriffen werden, vielmehr gilt es, die vier Ansätze zu verknüpfen, da jeder davon aus einer bestimmten Sichtweise heraus wertvolle Dienste liefert.

Schon mehrfach wurde die Schnelligkeit als eine elementare Leistungsvoraussetzung, die sich in bestimmten schnellen neuromuskulären Innervationsmustern äußert, charakterisiert. Im nun folgenden Teil soll das Konzept der elementaren und komplexen Leistungsvoraussetzungen, die anatomisch-physiologische Sichtweise, näher beschrieben werden. Bei diesem Ansatz wird die Schnelligkeit einem biologischen Funktionssystem zugeordnet und entsprechend operationalisiert. In diesem Zusammenhang wird die Schnelligkeit durch das Nerv-Muskel-System bestimmt. Die postulierten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster stellen hiernach den grundlegenden „Baustein“ dar.

2.2 Elementare Leistungsvoraussetzungen

Schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster haben nach Bauersfeld & Voss (1992, S. 18) einen Grundlagencharakter bei Bewegungen mit hohen Schnelligkeitsanforderungen. Und da bei diesen Autoren die Schnelligkeit als elementare Leistungsvoraussetzung definiert wird, müssen die Charakteristika dieser elementaren Leistungsvoraussetzungen betrachtet werden. Denn diese gelten im Umkehrschluss auch für die postulierten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster.

Elementare Leistungsvoraussetzungen sind nach Werchoschanskij (1973; 1974) dadurch charakterisiert, dass sie an ein einzelnes Funktionssystem gebunden sind (vgl. Weineck, 1994, S. 409; Bauersfeld & Voss, 1992, S. 16; Voss, 1993, S. 5; Lehmann, 1993, S. 15). Roth & Willimczik (1999, S. 234) beschreiben, dass die elementaren motorischen Fertigkeiten in der fähigkeitsorientierten Betrachtungsweise durch die internen Steuerungs- und Funktionsprozesse bedingt sind. Die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise

befasst sich mit der Beschreibung und Erklärung von individuellen motorischen Leistungsdifferenzen und bedient sich hierzu der zentralen Gedanken und Methoden der differentiellen Psychologie (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 228).

Elementare Leistungsvoraussetzungen sind nach Bauersfeld & Voss (1992, S. 16) des Weiteren durch folgende Kriterien definiert:

1. Sie werden dominant durch ein einzelnes Funktionssystem bestimmt bzw. beeinflusst.
Bsp.: die Ausdauer wird durch das Herz-Kreislaufsystem bestimmt, die Kraft durch das Muskelsystem und die Schnelligkeit durch das Nerv-Muskel-System.
2. Elementare Leistungsvoraussetzungen sind zwischen strukturähnlichen Bewegungen übertragbar, d. h. diese werden auf der gleichen Grundlage, z. B. einem schnellen neuromuskulären Innervationsmuster gesteuert.
Bsp.: für die Zweikampfsportart Judo könnte dies bedeuten, dass ein ausgebildetes Innervationsmuster, z. B. bei einer Zugbewegung limitierend bei unterschiedlichen Wurftechniken der gleichen Klasse wirkt.
3. Sie sind für alle sportlichen Bewegungen bedeutsam und damit in jeder sportlichen Bewegung enthalten.
Bsp.: eine elementare Leistungsvoraussetzung ist in irgendeiner Form bei jeder Sportart eine mehr oder weniger leistungslimitierende Größe.
4. Ihr Ausprägungsgrad ist nicht primär vom Ausprägungsgrad anderer Leistungsvoraussetzungen beeinflusst, obwohl sie bei der Bewegung gemeinsam mit anderen in Erscheinung treten und Wechselbeziehungen eingehen.
Bsp.: der Ausprägungsgrad des Herz-Kreislauf-Systems ist unabhängig vom Ausprägungsgrad des Nerv-Muskel-Systems.
5. Sie sind bei hohen sportlichen Leistungen nicht kompensierbar, d. h. ein unzureichender Ausprägungsgrad ist nicht durch eine überdurchschnittliche Ausprägung einer anderen elementaren Leistungsvoraussetzung auszugleichen.
Bsp.: bei einer unzureichenden Ausprägung des Herz-Kreislauf-Systems kann ein Marathonläufer dies nicht durch eine überdurchschnittliche Ausprägung der Krafftfähigkeiten ausgleichen und dadurch seine Bestzeit steigern.
6. Sie benötigen für ihre Ausbildung ein adäquates System von Mitteln und Methoden.
Bsp.: um schnell zu werden, müssen im Sprinttraining Formen benutzt werden, die es dem Athleten ermöglichen, ein perspektivisches schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster auszubilden, etwa durch Bergabläufe.

Die Schnelligkeit mit ihren koordinativ-konditionellen Komponenten (vgl. Schnabel, Harre & Borde, 1997) ist nach Bauersfeld & Voss (1992) eine

elementare Leistungsvoraussetzung, die an besondere Leistungen des Nerv-Muskel-Systems gebunden ist. Das Nerv-Muskel-System bezieht sich primär auf die nicht bewusst ablaufenden motorischen Prozesse, die im unmittelbaren Zusammenwirken des Nerven- und Muskelsystems offenbar werden.

Elementare Schnelligkeitsvoraussetzungen werden durch die Qualität neuromuskulärer Steuer- und Regelprozesse limitiert, die sich ihrerseits in einem bestimmten Innervationsmuster (z. B. im EMG) widerspiegeln. Diese schnellen charakteristischen Bewegungsformen wurden, wie bereits oben vorgestellt, bei Bauersfeld & Voss (1992) mit dem Begriff „Zeitprogramm“ belegt. Qualitätsunterschiede im Zeitprogramm können nach Bauersfeld & Voss (1992, S. 18) im EMG detektiert werden. Schnelle bzw. kurze Zeitprogramme sind durch einen direkten schnellen Impuls an die Hauptmuskeln charakterisiert. Das Innervationsmuster zeigt eine ausgeprägte Vorinnervation, einen steilen Anstieg der Hauptaktivität und eine Aktivitätskonzentration in der ersten Arbeitsphase sowie eine gute Koaktivierung zwischen den Hauptmuskeln. Lange Zeitprogramme zeigen keine schnelle direkte Ansteuerung der Hauptmuskeln und es lässt sich keine ausgeprägte Vorinnervation erkennen.

Schnelle elementare Schnelligkeitsfähigkeiten sind eine Voraussetzung, um schnelle komplexe Schnelligkeitsfähigkeiten auszubilden. Es wird also angenommen, dass eine Verbesserung der elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten auch eine Verbesserung der komplexen Fähigkeiten der Schnelligkeit mit sich bringt (Weineck, 1994, S. 408ff).

Elementare Leistungsvoraussetzungen bilden einzelne Komponenten der komplexen sportlichen Leistung (Voss, Zempel & Gäbel, 1993, S. 37). In Bezug zur Schnelligkeit sind dies zum einen die biologischen Grundlagen, wie die motorische Nervenleitgeschwindigkeit, die motorischen Reflexzeiten (Muskeleigenreflexe), die Muskelfaserverteilung, aber auch das optimale Zusammenwirken des Nerv-Muskel-Systems, welches von Bauersfeld & Voss (1992, S. 47) als neuromuskuläre Steuerung und Regelung bezeichnet wird. Von Steuerung wird gesprochen, wenn die Bewegung weniger als 200 ms lang dauert, von Regelung, wenn die Bewegung eine längere Zeitdauer aufweist.

In den neuromuskulären Steuerungsmechanismen wird bei der Ausbildung der Schnelligkeit noch ein erhebliches Potential vermutet.

Bauersfeld & Voss (1992, S. 18) detektierten die Zeitprogramme bei Nieder-Hochsprüngen. Die Qualitätsunterschiede werden neben der variablen zeitlichen Struktur vorrangig über das Innervationsverhalten charakterisiert. Im EMG weisen kurze Programme einen steil ansteigenden eingipfeligen Verlauf auf und haben eine deutlich ausgeprägte Vorinnervationsphase. Die langen Programme unterscheiden sich hinsichtlich der qualitativen Struktur darin, dass sie einen flacheren Kurvenverlauf haben. Auch sind die Vorinnervationsphasen deutlich geringer ausgeprägt bzw. fehlen gänzlich.

Auch im weiteren Verlauf bilden sich öfter Plateaus, die Aktivität wird also durch kleine Einsattelungen in den Kurven unterbrochen.

Es wurde in diesem Kapitel gezeigt, wie die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster die Schnelligkeit als elementare Leistungsvoraussetzung widerspiegeln. Sie sind an das Nerv-Muskel-System gebunden. Die Qualitätsunterschiede dieser Zeitprogramme wurden bei Bauersfeld & Voss (1992) durch EMG-Messungen und die Betrachtung der Kurvenverläufe bei Weg-Zeit Messungen verifiziert.

Im folgenden Kapitel soll nun aufgezeigt werden, wie sich elementare Leistungsvoraussetzungen bei sportlichen Bewegungen äußern.

2.3 Elementare und komplexe Leistungsvoraussetzungen

Elementare Leistungsvoraussetzungen sind zwar eigenständig und unabhängig, manifestieren sich aber erst im Zusammenspiel mit anderen elementaren Leistungsvoraussetzungen und werden dadurch schließlich in Form einer (schnellen) Bewegung sichtbar.

Daher gilt gerade für Bewegungen mit hohen Schnelligkeitsanforderungen, dass zunächst ein geeignetes schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster erarbeitet werden muss. Dieses muss in die Wettkampfbewegung eingebracht werden (komplexe Leistungsvoraussetzung). Die letzte Forderung betrifft das Zusammenwirken des Zeitprogramms bei Bauersfeld & Voss (1992, S. 66) mit den anderen an der Bewegung beteiligten Leistungsvoraussetzungen.

Wichtig ist für die Trainingsmethodik, welche im weiteren Verlauf der Arbeit noch zu skizzieren ist, der Umstand, dass elementare Leistungsvoraussetzungen einer Bewegung auf strukturähnliche Bewegungen übertragbar sind. So sollen schnelle Bewegungen, beispielweise Armzugbewegungen, auf der Grundlage desselben schnellen neuromuskulären Innervationsmusters ablaufen. Das bedeutet, dass beispielsweise die Armzugbewegung im Judo bei allen Würfeln der gleichen Klasse limitierend wirkt bzw. dass die Armzugbewegung beim Schulterwurf mit ihrem schnellen neuromuskulären Innervationsmuster auch beim Armzug bei einem Hüftwurf genutzt werden kann. Dieser Übertragungscharakter ist nach Bauersfeld & Voss (1992, S. 66) in Training und Wettkampf zielgerichtet auszunutzen.

Der Zusammenhang zwischen elementaren und komplexen Schnelligkeitsfähigkeiten wird auch durch folgende Definition klar. Denn Weigelt (1997, S. 30) definiert die Schnelligkeit

1. mit der Fähigkeit ein elementares schnelle Zeitprogramme (Hier: neuromuskuläre Innervationsmuster) zu realisieren und

2. mit der Fähigkeit der optimierten Realisierung elementarer schneller Zeitprogramme (Hier: neuromuskuläre Innervationsmuster) im Verbund eines generalisierten Bewegungsprogramms.

Da die Schnelligkeit als elementare Leistungsvoraussetzung durch das Nerv-Muskel-System bestimmt wird und sich dies in einem schnellen neuromuskulären Innervationsmuster widerspiegelt, sollen im nächsten Teil die entsprechenden Aspekte dieses biologischen Funktionssystems betrachtet werden.

3 Einflussgrößen der Schnelligkeit

Aus den unterschiedlichen Definitionen des vorangegangenen Kapitels wird ersichtlich, dass sich bezüglich der Einflussfaktoren schneller Bewegungen ein muskulär-energetischer (konditioneller) Aspekt, sowie ein neural-informationeller (koordinativer) Aspekt unterscheiden lassen. Schnabel et al. (1997, S. 141) zeigen in der Abbildung 1 diese unterschiedlichen Faktoren in zusammenfassender Form auf. Im nächsten Kapitel werden nun die wesentlichen Einflussgrößen in ihrer Bedeutung für den Ausprägungsgrad der Schnelligkeit dargestellt. Dies dient der Beschreibung des biologischen Funktionssystems, welches der Schnelligkeit als elementare Leistungsvoraussetzung zu Grunde liegt und in diesem Zusammenhang auch die Qualitätsunterschiede der vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster erklären kann.

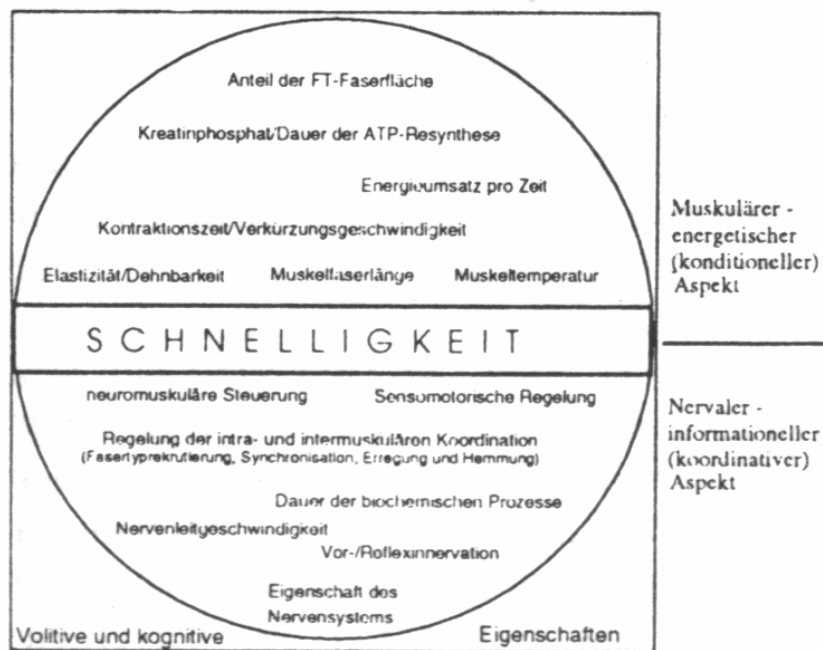


Abbildung 1: Übersicht über die Einflussfaktoren schneller Bewegungen (aus: Schnabel et al. 1998, S. 141)

3.1 Koordinative und konditionelle Aspekte

Unter der Koordination werden in der Trainingswissenschaft die Leistungsvoraussetzungen zusammengefasst, die vornehmlich durch Prozesse der Bewegungssteuerung und -regelung determiniert sind. Der Begriff Kondition lehnt sich an das lateinische *conditio* (=grundlegende Voraussetzung) an. Die Kondition wird weithin als grundlegende

Voraussetzung jeglichen sportlichen Handelns beschrieben. In einem engeren Verständnis werden unter den konditionellen Fähigkeiten diejenigen Leistungsvoraussetzungen eingeordnet, die primär durch energetische Prozesse bestimmt werden.

In neueren Untersuchungen (z. B. Weigelt, 1997; Thienes, 1998) wurde die Dominanz schnellmotorischer Prozesse, also eher bewegungssteuernder Prozesse für die Schnelligkeit belegt. Hinsichtlich der Verbesserung dieser Faktoren wurde festgestellt, dass automatisierte, schnellkoordinativ determinierte Innervationsmuster eine wichtige Basisfunktion für perspektivische Schnelligkeitsanforderungen haben. Und diese werden durch bewegungssteuernde, also informationell-koordinative Abläufe, in Gang gesetzt. Diese sind, grob dargestellt, durch folgende Prozesse bestimmt.

Die bewusste Entscheidung zur Ausführung einer Aktion geht von den motorischen Zentren der Großhirnrinde aus. Die präzise räumlich-zeitliche Parametereinstellung erfolgt durch hierarchisch tieferliegende Systeme. Nach Henatsch & Langer (1983, S. 48) werden hierfür insbesondere das Kleinhirn und die Basalganglien verantwortlich gemacht. De Mares & Mester (1991, S. 26) gehen davon aus, dass die Basalganglien für die Programmierung langsamer Bewegungen verantwortlich sind, während das Kleinhirn und insbesondere die Kleinhirnrinde, ein Funktionsgenerator für schnelle Bewegungen darstellt. Diese Einschätzung kann auch durch eine anatomisch-physiologische Sichtweise unterstrichen werden. Denn das extrapyramidale System nimmt seinen Ursprung in den Basalganglien. Und dieses System ist verantwortlich für unbewusste Korrekturmechanismen, wie dem Pendeln der Arme beim Laufen.

Durch diese informatorischen Vorgänge, welche im weiteren Verlauf der Arbeit noch detaillierter vorgestellt werden, wird Energie zur Bewältigung der motorischen Anforderungen angesteuert. Auf diese Weise bedingen sich Information und Energie wechselseitig. Lehmann (2000, S. 113) erläutert, dass je nach Schwierigkeit und Komplexität einer Bewegung eine graduell unterschiedliche Aktivierung der zentralnervalen Prozesse zur Steuerung der informationellen Impulse notwendig sei, welche wiederum durch Prozesse der Energiebereitstellung gesteuert werden. Er setzt diese Aussage in Bezug zum Lernen und dem Training einzelner Fähigkeiten, wonach in den einzelnen Lernphasen fördernde energetisch-konditionelle Belastungen (z. B. durch Aufwärmen oder zielgerichtete konditionelle Belastungen) gesetzt werden müssen. Er begründet dies mit der Aussage von Schnabel et al. (1995, S. 107), dass Funktionserweiterungen sich nur dann in ausreichender Qualität vollziehen können, wenn das ZNS eben diesen dafür günstigen Zustand besitzt. Untersuchungen von Olivier (1996), welche noch beschrieben werden, unterstützen diese Annahmen.

Im folgenden Teil werden nun die Einflussfaktoren vorgestellt, die limitierend auf die Schnelligkeit wirken (können).

3.1.1 Die koordinativen Aspekte der Schnelligkeit

In dem Modell von Schnabel et al. (1998, S. 141) aus der Abbildung 1 werden koordinative und konditionelle Einflussfaktoren voneinander abgegrenzt. Diese werden im folgenden erläutert. Begonnen wird mit der Vorstellung der koordinativen Aspekte der Schnelligkeit.

3.1.1.1 Die Nervenleitgeschwindigkeit

Da die koordinativen Aspekte von dem Zusammenspiel des Nerv-Muskelsystems abhängig sind, kommt der Nervenleitgeschwindigkeit als schnelligkeitslimitierendem Faktor in der Reizübertragung eine entsprechende Rolle zu. Die motorische Nervenleitgeschwindigkeit gilt als Kriterium zur Beurteilung des funktionellen Zustands des peripheren Nervensystems (vgl. Korth & Wittekopf, 1988, S. 11). Sie bezeichnet die Geschwindigkeit, mit der sich das Aktionspotential fortpflanzt. Für unterschiedliche Nervenfasern können aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus verschiedene Geschwindigkeiten festgestellt werden. Als wichtigstes Korrelat hierzu gilt die Dicke der Mark- oder Myelinscheide. Dickere Fasern weisen gegenüber den dünnen vegetativen Nervenfasern deutlicher höhere Leitgeschwindigkeiten auf (Tittel, 1994, S. 323). Kamen et al. (1984) fanden bei Gewichthebern im Ellen- und im hinteren Schienbein-Nerv Werte von 64,9 bzw. 52,9 m/s. Marathonläufer kamen nur auf 59,8 bzw. 45,2 m/s (Tittel, 1994, S. 323).

Grosser, Brüggemann & Zintl (1986, S. 99) postulieren, dass die Nervenleitgeschwindigkeit beim Menschen in einzelnen Fasern durchaus interindividuelle Unterschiede aufweise, diese jedoch genetisch präformiert seien und deshalb nicht trainierbar sind. Vorsichtiger formulieren diesen Sachverhalt Korth & Wittekopf (1988). Sie verweisen auf schwer definierbare Wechselbeziehungen zwischen genetisch fixierten Voraussetzungen und Trainingseffekten und schließen damit nicht aus, dass es durch Training zu einer Funktionsoptimierung der Leitgeschwindigkeit kommt. Nach der aktuellen Forschungslage gibt es keine eindeutigen Hinweise auf eine Trainierbarkeit oder eine ausschließlich genetische Präformierung.

Bauersfeld & Voss (1992, S. 20) erklären, dass hohe Nervenleitgeschwindigkeiten und kurze Reflexzeiten nicht automatisch zu kurzen Zeitprogrammen führen. Untersuchungen zeigten, dass Sportler mit einer hohen Nervenleitgeschwindigkeit nicht unbedingt auch gute (schnellkoordinative) Leistungen zeigten (vgl. Voss, 1989). Trotzdem liegen Mindestanforderungen für das Erreichen eines schnellen Zeitprogramms in bezug auf die Nervenleitgeschwindigkeit vor. Im konkreten Fall des Nieder-Hochsprungs liegen diese für den N. tibialis bei 49 m/s, für die

Leitgeschwindigkeit des Nervs für den M. quadriceps femoris bei 19 m/s und für die Leitgeschwindigkeit des Nervs für den M. triceps surae bei rund 33 m/s (vgl. Bauersfeld & Voss 1992, S. 20).

3.1.1.2 Neuromuskuläre Steuerung

Muskelkontraktionen werden durch Erregungen von Motoneuronen, die ihren Ursprung in der grauen Substanz im Rückenmark haben, ausgelöst. Dabei gilt, dass eine bestimmte Anzahl von Muskelfasern des gleichen Typs, die durch eine motorische Nervenzelle erregt werden, als motorische Einheit bezeichnet wird. Diese besteht aus einem Motoneuron, einem Axon, der motorischen Endplatte und den von ihr aktivierten Muskelfasern. Nach dem „Alles oder Nichts Prinzip“ werden nach der Erregung einer motorischen Einheit über den markhaltigen Axonfortsatz alle dazugehörigen Muskelfasern zur Kontraktion gebracht. Die Kraftabstufung innerhalb einer motorischen Einheit geschieht durch eine Abstufung der Entladefrequenz (Zatsiorskij, 1996, S. 97). Die Zahl der innervierten Muskelfasern ist um so kleiner, je kleiner die Muskeln sind und je genauer die auszuführenden Bewegungen sind (vgl. Noth, 1994, S. 33). Die Muskelfasern einer motorischen Einheit weisen stets die gleichen kontraktile Eigenschaften auf. Daraus wird geschlossen, dass motorische Einheiten, die eine hohe Kontraktionsgeschwindigkeit haben, vorwiegend aus Typ-II-B-Fasern bestehen. Zwar unterscheiden sich die Fasern innerhalb einer motorischen Einheit hinsichtlich struktureller und metabolischer Eigenschaften, doch ist die Variationsbreite innerhalb dieser Einheiten längst nicht so hoch, wie im Vergleich zwischen unterschiedlichen Einheiten (vgl. Roy & Edgerton, 1994, S. 126). Die schnellen Einheiten wirken nach Billeter & Hoppeler (1994, S. 63) deshalb bei schnellen Korrekturbewegungen und bei Muskelreflexen.

Die schnellen motorischen Einheiten bestehen aus großen Motoneuronen mit einer hohen Reizschwelle und großer Entladefrequenz. Darüber hinaus verfügen schnelle motorische Einheiten über Axone mit großer Übertragungsgeschwindigkeit und, wie bereits angesprochen, vorwiegend über schnelle Fasern (vgl. Zatsiorskij, 1996, S. 96ff). Die Verkürzungsgeschwindigkeit der schnellen motorischen Einheiten ist um bis das Vierfache höher als die der langsamen motorischen Einheiten.

Die Größe der Motoneuronen steht in direktem Verhältnis zur Reizleitungsgeschwindigkeit der motorischen Einheit. Die Größe dieser Nervenfortsätze wird durch eine Hülle aus Lipoprotein bestimmt, der sogenannten Markscheide. Diese bildet eine wirksame Isolationsschicht und wirkt wie ein elektrisches Kabel, wodurch die Erregungsleitung unterstützt wird. Zudem wird die Markscheide von Einschnürungen in Form der Ranvierschen Schnürringe unterbrochen. Diese beschleunigen die Leitungsgeschwindigkeit, indem die Erregung von Schnürring zu Schnürring springt. Man spricht von der saltatorischen (sprunghaften) Erregungsleitung (vgl. de Marees & Mester, 1991, S. 103; Schäffler & Schmidt, 1996, S. 160f).

3.1.1.3

Rekrutierung und Frequenzierung

Nach dem allgemeinen Hennemannschen Rekrutierungs- oder Größenordnungsprinzip (vgl. Latash, 1998, S. 45ff; Zatsiorskij, 1996, S. 97) gilt, dass zuerst die langsamen (kleinen) motorischen Einheiten eingeschaltet werden und bei intensiverer Muskelarbeit zunehmend die größeren Einheiten zugeschaltet werden. Die Reihenfolge der Rekrutierung motorischer Einheiten wird durch die Größe der Motoneuronen determiniert. Dies gründet auf der Tatsache, dass die motorischen Einheiten mit den größten Motoneuronen die höchste Ansprechschwelle haben und daher zuletzt aktiviert werden. Wie schnell nacheinander die motorischen Einheiten in der Reihenfolge ihrer Größe aktiviert werden, bestimmt die Explosivkraft also die Steilheit des Kraftanstieges. Der Time-to-Peak liegt bei den langsamen motorischen Einheiten zwischen 90 und 120 ms, schnelle Einheiten benötigen lediglich 55 bis 65 ms (vgl. Gülich & Schmidtbleicher, 1999, S. 227).

Demgegenüber steht die Summations-Strategie nach Tidow & Wiemann (1993). Diese besagt, dass die beteiligten Muskelfasertypen zeitgleich mit der Kontraktion beginnen, jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten das Kraftmaximum erreichen.

Bei maximal schnellen Bewegungen kommt es zu einer Verkürzung der Aktivierungsintervalle durch die kurz aufeinanderfolgenden zentralen Aktivierungen. Bei der Zunahme der Reizfrequenz ist ein allgemeiner Kraftanstieg und eine zunehmende Fusion der Einzelkontraktionen zu beobachten (vgl. Dietz, 1985, S. 20). Dies bewirkt, dass die Impulse der schnellen Neuronen (bis zu 100 m/s) vor den langsamen Neuronen (bis zu 55 m/s) im Erfolgsorgan ankommen. Es kommt nach Thienes (1999, S. 20 zit. nach Desmedt & Godaux, 1977, S. 690) zu einer peripheren Verschiebung der Einsatzzeitpunkte schneller und langsamer motorischer Einheiten.

Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 227) berichten, dass die größten und schnellsten motorischen Einheiten erst bei mehr als 90 Prozent der Maximalkraft aktiviert werden. Allerdings heben die Autoren den Spezialfall eines sehr steilen Kraftanstiegs hervor. Dieser wird durch die „dynamische“ oder „ballistische Rekrutierungsschwelle“ beschrieben. Denn im Falle eines sehr steilen Kraftanstiegs feuern die Einheiten auch schon unterhalb ihrer jeweiligen statischen Rekrutierungsschwelle und zwar so lange wie die erhöhte Anforderung des schnellen Kraftanstieges dauert.

Die Steigerung der Bewegungsfrequenzen wird durch eine höhere Frequenzierung der motorischen Einheiten ermöglicht, während die Rekrutierung und Synchronisierung vermehrter motorischer Einheiten eine erhöhte Kraft bewirkt (vgl. Thienes, 1999, S. 20; Zatsiorskij, 1996, S. 96ff).

Zatsiorskij (1996, S. 98) differenziert die Bedeutung von Rekrutierung und Frequenzierung für die Kraftentwicklung bei Willkürbewegungen weiter, da sich die relativen Anteile der beiden Parameter bei kleinen und großen Muskeln unterscheiden. Bei kleineren Muskeln wird bereits ab 50 Prozent der Maximalkraft eine weitere Steigerung der Kraft nur durch eine Erhöhung der

Entladefrequenz möglich. Bei größeren Muskeln, wie dem M. Deltoideus erfolgt erst ab 80 Prozent der Maximalkraft eine weitere Erhöhung der Kontraktionskraft durch eine Steigerung der Entladefrequenz.

Eine weitere Ausnahme vom Größenordnungsprinzip wird bei Sale (1994, S. 257f) vorgestellt. Er beschreibt, dass unter bestimmten Bedingungen die schnellen Muskelfasern vor den langsamen aktiviert werden. Dies gilt gerade für intensive Schnellkraftbelastungen und sehr schnell und sehr kurzfristig durchgeführte Muskelkontraktionen. Sale (1994, S. 257) führt diese Phänomene auf spezifische nervale Adaptationsvorgänge zurück, in deren Ergebnis bestimmte Bewegungsmuster stehen. Es liegt somit die These nahe, dass schnelle Muskeln auch vorzugsweise bei schnell ausgeführten Bewegungen eingesetzt werden und unter Umständen zum schnellen neuromuskulären Innervationsmuster gehören. Diese Innervationsmuster sind durch eine bevorzugte Aktivierung der schnellen motorischen Einheiten charakterisiert. Der Autor weist ausdrücklich darauf hin, dass diese Spezifität die Bedeutung des motorischen Lernens bzw. koordinativer Vorgänge reflektiere (Sale, 1994, S. 258).

Tidow & Wiemann (1993) beschreiben zwei Möglichkeiten der Kraftregulation durch die Frequenzierung. Zum einen führt eine längere Entladungsdauer bei gleichbleibender Frequenz zu einer höheren Kraftspitze in der Kraft-Zeit-Kurve. Zum anderen ist der Kraftanstieg von der höheren Entladefrequenz abhängig. Aufgrund des erhöhten Anstrengungsgrad werden die motorischen Einheiten in ihrer Aktivierung zeitlich beeinflusst. Dies bewirke, dass die Kontraktionen früher beginnen können und zum anderen bereits laufende Kontraktionen schneller beendet werden.

Bei Olivier (1996, S. 64) werden Überlegungen angestellt, wonach das Größenordnungsprinzip bei schnellen Bewegungen durch eine vorausgehende Programmierung oder Initialisierung der FT-Fasern umgangen wird. Mögliche Erklärungen hierzu sind unterschiedliche Leitungsgeschwindigkeiten zwischengeschalteter Neurone. Auch wird angenommen, dass bei der Programmierung der Bewegung Hemmungsprozessen eine wichtige Rolle zukommt.

Göhner (1999, S. 88) rekurriert auf das Hennemannsche Größenordnungsprinzip mit der Feststellung, dass feine Kraftabstufungen nur in unteren Kraftwertebereichen möglich sind. Feinmodulationen in der Nähe der Maximalkraft sind demnach kaum möglich. Denn schon bei 20 Prozent der Maximalkraft wurde beobachtet, dass bereits 50 Prozent der motorischen Einheiten rekrutiert sind.

3.1.1.4

Die Kontraktionsgeschwindigkeit

Ein limitierender Faktor sowohl für Schnelligkeits- als auch für Schnellkraftleistungen stellt die Kontraktionszeit des Muskels dar, also die Zeit, die ein Muskel bei maximaler Stimulierung im unbelasteten Zustand

benötigt, um sich maximal schnell um einen bestimmten Betrag zu verkürzen (vgl. Pampus, 1991, S. 118).

Der Kontraktionsvorgang wird unter anderem durch die Gleitfilamenttheorie nach Huxley und Hanson (vgl. Kreutzig, 1997, S. 386 ff) erklärt. Durch charakteristische Querbrückenverbindung gleiten die Myosin- und Aktinfilamente innerhalb eines Sarkomers übereinander. Die Zeit hierfür wird durch die Dauer der elektromechanischen Kopplung bestimmt. Hierbei vor allem durch die Erregungsleitung im Transversalsystem (T-System), die Calciumfreisetzung aus dem Longitudinalsystem (L-System) und die Calciumwirkung auf die Myofibrillen (vgl. Rüegg, 1987, S. 70).

In Anlehnung an Rüegg (1987, S. 80) können folgende Faktoren als limitierend für die Kontraktionszeit des Muskels, die von der Anzahl und Geschwindigkeit der einzelnen Querbrückenverbindungen zwischen Aktin und Myosin abhängig ist, angesehen werden:

- * Ein längerer Muskel verkürzt sich aufgrund der vermehrten Anzahl der Brückenzyklen schneller.
- * Durch vermehrte und schnellere Calciumeinströmung wird die Anzahl der Brückenbildung pro Zeit erhöht.
- * Die Brückenbildung pro Zeit hängt auch von der Geschwindigkeit der ATP-Spaltung durch die Myosinköpfe ab.

McComas (1996) betont vor allem die Bedeutung der Muskellänge für die Verkürzungsgeschwindigkeit. Je länger ein Muskel ist, desto mehr verkürzt er sich und desto größer ist seine Verkürzungsgeschwindigkeit.

Rüegg (1987, S. 80) definiert die maximale Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels bzw. des Sarkomers als maximale Geschwindigkeit des Übereinandergleitens der Aktin- und Myosinfilamente.

3.1.1.5 Zum Problem der Koaktivierung

Bei sehr schnellen Bewegungen, schon gegen geringe Widerstände, setzt bereits etwa ab dem mittleren Gelenkwinkel eine unwillkürliche Aktivierung der Antagonisten ein, welche ab diesem Zeitpunkt als Bremskraft wirken (vgl. Letzelter & Letzelter, 1990, S. 86). Diese Erscheinung mag auf den ersten Blick dem Ziel, nämlich eine schnelle Bewegung zu generieren, nicht dienlich zu sein, hat diesbezüglich trotzdem eine wichtige Funktion.

Hierzu werden verschiedene Annahmen diskutiert, welche im folgenden erläutert werden sollen.

Zunächst scheint die gleichzeitige Aktivierung des Antagonisten eine Schutzfunktion zu haben. Denn die gegenläufige Kontraktion unterstützt den Bandapparat bei der Gelenkstabilisierung (vgl. Sale, 1994, S. 261).

Ferner wird der Koaktivierung eine Funktion bei der Bewegungskoordination zugeschrieben. Van Zuylen et al. (1988), sowie Jongen et al. (1989) zeigen dies am Beispiel des Armbeugers. Der Bizeps hat zum einen eine Beugefunktion, kann aber gleichzeitig den Unterarm supinieren. Ist nun eine

Supinationsbewegung intendiert, so kommt dem antagonistisch wirkenden M. Triceps die Aufgabe zu, das Beugemoment des M. Bizeps zu neutralisieren. Bei Bewegungen, die mit sehr hohen Geschwindigkeiten ausgeführt werden und eine grosse Kraft entwickeln, trägt die Aktivierung des Antagonisten zur Stabilisierung und Präzision der Bewegung bei und bremst dabei unter Umständen die Bewegung ab. Damit scheint der zunächst negative erscheinende Effekt der Kokontraktion der Antagonisten im Sinne der optimalen Bewegungssteuerung einen durchaus sinnvollen Effekt zu haben (vgl. Sale, 1994, S. 261f). Bei Bewegungen, die in der Feinstform ausgebildet sind, ist davon auszugehen, dass der bremsende Effekt keine Auswirkung auf die Geschwindigkeit der Bewegung hat und lediglich der präzisen Abstimmung dient.

Latash (1998, S. 88) stellte diesen Sachverhalt im EMG fest. Bei schnellen isotonischen und eingelenkigen Bewegungen zeigt sich im Innervationsmuster eines abgeleiteten Muskels im EMG eine dreiphasige Struktur. Bei schnellen willkürlichen Bewegungen ist zunächst der Ausschlag des agonistisch wirkenden Muskels zu erkennen. Dieser initiale Anstieg beim Agonisten ist begleitet von einer relativ schwachen Koaktivierung des Antagonisten und wird gefolgt von einem großen EMG Ausschlag des Antagonisten, während der Agonist relativ ruhig ist. Der Autor kommt auf der Basis dieses Sachverhalts zu dem Schluss, dass ein Absinken der Geschwindigkeit einer Bewegung im EMG durch die Abnahme der Ausschläge im EMG begleitet ist. Langsame Bewegungen werden von einer unterstützenden Aktivität des antagonistischen Muskels begleitet.

Schon 1939 stellte Fenn fest, dass bei einer Pendelbewegung des Oberarmes nur bis zur Hälfte Beschleunigungskräfte wirken und ab dort bereits Bremskräfte wirken. Gestützt auf diesen Überlegungen kommt er zu dem Schluss, dass bei maximal schnellen Bewegungen die Maximalkraft demnach nicht genutzt werden kann. Deshalb scheint gerade bei schnellen Bewegungen die durch das zentrale Nervensystem gesteuerte geordnete Folge zwischen erregenden und hemmenden Impulsen limitierend zu sein.

3.1.1.6 Der Dehnungs-Verkürzungszyklus

Der Dehnungs-Verkürzungszyklus stellt die Kombination einer exzentrischen (nachgebend: der Muskel kontrahiert bei gleichzeitiger passiver Längenzunahme) mit einer konzentrischen (überwindenden) Muskelaktion. Nach Komi (1994, S. 173) besteht der biologische Sinn des „Stretch Shortening Cycle“ (SSC) darin, dass durch die Vordehnung in der exzentrischen Phase die Kraft der Aktion in der konzentrischen Phase verstärkt wird.

Begründet wird dieser Sachverhalt durch die konservierenden Eigenschaften der serienelastischen Elemente, also der Sehnen. Denn die bei der Dehnung der Sehne einwirkende Energie wird als potentielle Energie gespeichert und

beim Aussetzen der einwirkenden Kraft freigesetzt (vgl. Huijing, 1994, S. 156). Erfolgt das Nachlassen der einwirkenden Kraft langsam, so wird auch die Energie langsam freigesetzt und umgekehrt.

Huijing (1994, S. 156) bezeichnet die Sehnen aus diesem Grund als Energiespeicher, wenn von der Muskelfaser hohe Bewegungsgeschwindigkeiten bzw. Leistungen erbracht werden müssen. Tatsächlich ist die Kraftentwicklung am vorgedehnten Muskel größer als am vorher isometrisch angespannten Muskel. Dieser Umstand führt dazu, dass zu Beginn der folgenden konzentrischen Phase eine wesentlich höhere Initialkraft vorliegt.

Allerdings muss der Übergang von der exzentrischen in die konzentrische Phase möglichst schnell und koordiniert vonstatten gehen. Denn wenn die durch Gegenbewegung bewirkte Dehnung zu lange dauert, verpufft die elastische Energie und wird als Wärme freigesetzt (vgl. Göhner, 1999, S. 84). Daher wird der Dehnungs-Verkürzungszyklus häufig auch mit der „short-range-elastic-stiffness“ (SRES) in Verbindung gebracht. Noth (1985, S. 247) betont die Bedeutung des SRES-Verhalten besonders bei zyklischen Bewegungen. Aus diesem Grund soll nicht weiter auf den Dehnungs-Verkürzungszyklus eingegangen werden.

Nachdem nun die koordinativ bedingten Einflussgrößen der Schnelligkeit vorgestellt wurden, sollen nun die konditionellen Einflussgrößen der Schnelligkeit vorgestellt werden.

3.1.2 Die konditionellen Aspekte der Schnelligkeit

In diesem Abschnitt werden nun die konditionellen Aspekte der Schnelligkeit, in Anlehnung an Abbildung 1, beschrieben.

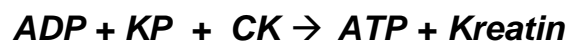
3.1.2.1 Der Energiestoffwechsel und die Ermüdung bei schnellen Bewegungen

Schnelle azyklische Bewegungen sind durch maximale Intensitäten und damit durch kurze Realisierungszeiten gekennzeichnet. Denn der Zielcharakter schneller Bewegungen liegt zum einen in einer Zeitminimierung und/oder in einer Geschwindigkeitsmaximierung (vgl. Weigelt, 1997, S. 36). Hinsichtlich dieser kurzen Belastungszeiten ist primär der anaerob-alaktazide Stoffwechsel für die Versorgung des Muskel- und des Nervensystems von Bedeutung. Hohe Schnelligkeitsleistungen sind demnach innerhalb eines Bereiches von bis zu zehn Sekunden möglich.

Muskelarbeit ist nur möglich, wenn genügend Adenosintriphosphat (ATP) vorhanden ist, denn ATP ist die einzige direkt verwertbare Energiequelle (vgl. Kreutzig, 1997, S. 383). Bei der Spaltung von ATP in Adenosindiphosphat (ADP) und einen Phosphatrest entsteht Energie, die dazu benutzt wird, die

Myosinköpfchen zu kippen und die Ca^{++} Ionen in die Terminalzisternen zurück zu transportieren, damit die Querbrücken wieder gelöst werden (vgl. Heck, 1990, S. 21). Da der Vorrat an ATP im Muskel begrenzt ist und nur für eine bis drei maximale Kontraktionen bzw. eine bis drei Sekunden Arbeit ausreichend vorhanden ist, muss der ATP-Vorrat laufend ersetzt werden. Dies geschieht bei schnellen Bewegungen durch die anaerob-alaktazide Resynthese.

Unter der Einwirkung des Enzyms Kreatinkinase (CK) wird die energiereiche Verbindung Kreatinphosphat (KP) mit dem ADP verbunden (Lohmann-Reaktion) (vgl. Heck, 1990, S. 24).



Das Kreatinphosphat kann die intensive Arbeit für weitere 20 Muskelkontraktionen aufrecht erhalten. In bezug auf schnelle Bewegungen, die weitaus kürzer sind und eher durch mehrere aufeinander folgende Phasen intensiver Arbeit gekennzeichnet sind, ist es bedeutsam, dass das Kreatinphosphat innerhalb weniger Sekunden unter relativ verminderter Muskelarbeit wieder aufgefüllt werden kann (vgl. Markworth, 1992, S. 237). Ausgehend von diesem Sachverhalt formulierten Martin et al. (1991, S. 82) die Hypothese, dass Leistungsminderungen in der Muskulatur kurzfristig regenerieren, parallel mit dem Verlauf der Kreatinphosphatresynthese.

Das ATP ist jedoch, wie bereits angesprochen, nicht ausschließlich für die Spannungsentwicklung vonnöten, sondern auch für die Entspannung. Denn die Lösung der Querbrückenverbindungen geschieht ebenfalls unter Hinzunahme von ATP (sogenannte Weichmacher-Funktion des ATP) (vgl. Hollmann & Hettinger, 1990, S. 35). Die Muskulatur verliert mit länger dauernder Arbeit die Fähigkeit, sich wieder schnell zu entspannen. In diesem Zusammenhang sprechen Hollmann & Hettinger (1990, S. 136) von lokaler Ermüdung. Im Ergebnis steht eine Verschlechterung der muskulären Leistungsfähigkeit durch eine Anhäufung von Stoffwechselend- und Zwischenprodukten (z. B. Laktat \uparrow \rightarrow pH-Wert \downarrow \rightarrow Übersäuerung der Muskulatur).

Afferente Nerven melden den Zustand der lokalen Muskelermüdung dem Zentralen Nervensystem. Es kommt zur Ausbildung von Hemmungsimpulsen in den motorischen Zentren, die schließlich dazu führen, dass die Arbeit abgebrochen wird. Dieser, durch das ZNS verursachte Abbruch der körperlichen Tätigkeit, wird als zentrale Ermüdung bezeichnet.

Lehnertz (1986, S. 8f) erklärt die zentrale Ermüdung mit einem Transmittermangel. Transmitter sind Überträgersubstanzen und stellen die biochemischen Voraussetzungen für die Übertragung der Aktionspotentiale. Bei einem Transmittermangel verschlechtert sich das neuromuskuläre Übertragungsverhalten (vgl. Pahlke & Peters, 1991, S. 7). Dies hat für

sportliche Bewegungen erhebliche Auswirkungen. Nach Lehnertz (1991, S. 179) steht die zentrale Ermüdung in enger Verbindung mit der Verminderung erregender (Glutamat) und hemmender (GABA) Transmitter.

Für die Schnelligkeit hat dies Auswirkungen. Weineck (1986, S. 460) beschreibt, dass im Zustand der zentralen Ermüdung koordinierte Bewegungen nicht mehr mit der gleichen Präzision durchgeführt werden können wie im unermüdeten Zustand. Schnelle Bewegungen können folglich auch nicht mehr mit derselben Qualität durchgeführt werden. Weineck (1986, S. 462) beschreibt zudem Wechselwirkungen zwischen der lokalen und der zentralen Ermüdung. Hiernach verstärken die zentral ausgelösten Koordinationsstörungen die periphere Ermüdung, da für die gleiche Leistung größere Anstrengungen vollbracht werden müssen.

Ein physiologisch orientiertes Erklärungsmodell zur Ermüdung beschreibt Brouns (1992, S. 38f). Er erklärt, dass während intensiver körperlicher Arbeit verzweigtkettige Aminosäuren (BCAA: Leucin, Valin, Isoleucin) zur Energieproduktion beitragen. Dies bewirkt, dass ihre Plasmakonzentrationen abnehmen. Das hat zwei Folgen. Zunächst führt der beim Abbau der Aminosäuren entstandene Stickstoff zur Bildung von Ammoniak, welches zur Entstehung der zentralen Müdigkeit beiträgt. Als weitere Folge verändert sich das Verhältnis von BCAA zu anderen Aminosäuren. Ursächlich bewirkt dies, dass einige Aminosäuren die Blut-Hirn-Schranke überschreiten, es erhöht sich folglich deren Konzentration im Gehirn. Brouns (1992, S. 39) postuliert nun auf dieser Basis, dass diese Vorgänge die Neurotransmission und die Ermüdung beeinflussen. Je größer diese Veränderungen im Bereich der Plasma-Aminosäuren sind, desto größer scheint ihr Effekt auf den intermediären Stoffwechsel und die Ermüdung zu sein.

In der "muscular-fatigue" Forschung wird muskuläre Ermüdung letztlich als ein komplexer Prozess mehrerer Ereignisse verstanden, von denen jeder allein oder auch erst im Zusammenspiel zu einer Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit führen kann (vgl. Bigland-Ritchie, 1981, S. 131).

Es ist bei einem trainingsmethodisch korrekt durchgeführten Schnelligkeitstraining zur Verbesserung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster aufgrund der äußerst kurzzeitigen Einsätze, nicht mit einer Ermüdung zu rechnen. Schnellkoordinative Leistungen sind nach wie vor möglich, wenn entsprechende Belastungsprinzipien eingehalten werden. Allerdings kann es auch zu Kumulationseffekten kommen, die zu einer zentralen Ermüdung führen können (vgl. Martin et al., 1991, S. 170).

Thienes (1998, S. 75ff) kommt nach einer ausführlichen Literatursichtung zur Ermüdung bei zyklischen Schnelligkeitsleistungen zu dem Schluss, dass ein Nachlassen der Frequenz bei komplexen sportlichen Leistungen weniger eine Folge zentralnervöser Beanspruchungen ist, sondern vielmehr das Ergebnis muskulärer, also lokaler Erschöpfungen. Demnach ist eine Reduzierung der Schnelligkeitsleistung zu erwarten, wenn a) eine ausreichend hohe

Beanspruchung vorliegt, b) eine hohe Übereinstimmung von Belastungscharakteristik und Kriteriumsbeziehung vorliegt (in Anlehnung an das Belastungs-Beanspruchungskonzept führen nur spezifische Belastungen zu leistungsnegativen Effekten) und c) wenn die Erholungsphasen zu kurz sind, da das neuromuskuläre System relativ schnell wieder die maximale Leistungsfähigkeit erlangt (Thienes, 1998, S. 82).

3.1.2.2 Die Muskelfaserstruktur

Die Muskelfaserstruktur galt lange Zeit als wesentliche Voraussetzung, damit menschliche Selbstbewegungsakte mit größtmöglicher Geschwindigkeit durchgeführt werden können. Auch Bauersfeld & Voss (1992, S. 22f.) weisen darauf hin, dass eine bessere Ausstattung mit schnellkontrahierenden Fasern Fast-Twitch-Fasern, die durch „schnellere“ Nerven innerviert werden, einen Grundlagencharakter bei kurzen Zeitprogrammen haben. Da es zu dieser Thematik teilweise kontroverse Meinungen gibt, beispielsweise, dass durch spezifisches Training der Einfluss der Muskelverteilung überdeckt werden kann (vgl. Bosco et al., 1989), aber auch eine Muskelfaserumverteilung möglich sei, soll an dieser Stelle der Einfluss der Muskelfaserstruktur dargestellt werden.

Die Muskelfasern des menschlichen Skelettmuskelsystems weisen unterschiedliche Charakteristika auf und werden deshalb in verschiedene Muskelfasertypen eingeteilt, die sich hinsichtlich ihrer spezifischen Leistungsfähigkeit unterscheiden. Hinweise, dass sich die Muskelfasern allein schon aufgrund ihrer morphologischen Struktur unterscheiden, wurden bereits 1874 von Ranvier gefunden. Er detektierte rote und weiße Fasern und fand, dass die roten Fasern sehr sarcoplasmareich waren und höhere Kapillarisierungsraten aufwiesen (vgl. Tittel, 1994, S. 57).

Durch histochemische Methoden war es später möglich, die Fasern in mitochondrienreiche und -arme einzuteilen (vgl. u. a. Tittel, 1994; Hollmann & Hettinger, 1990; De Marees, 1979). Heute werden aufgrund lichtmikroskopischer-histochemischer, biochemischer sowie elektrophysiologischer Untersuchungen und je nach Autor die Fasertypen I und II unterschieden. Dabei sind die Fasern vom Typ I oft mit dem Begriff ST-Fasern (slow-twitch) belegt, was daher kommt, dass sie eher zu den langsamen tonischen Muskelfasern gehören. Dagegen werden die Fasern vom Typ II auch als FT-Fasern (fast-twitch) bezeichnet, da sie zu den schnell zuckenden phasischen Muskelstrukturen gehören. Die FT-Fasern stellen eine wichtige invariante Voraussetzung für schnelle Bewegungen dar.

Im Jahr 1974 detektierten Gydikow & Kosarov unterschiedliche motorische Einheiten. Die einen zeigten ein eher tonisches Entladungsverhalten, welche im Diagramm nach einem anfänglichen Anstieg ein Plateau erreichten. Die anderen wurden erst bei höheren Kraftstufen rekrutiert und ihre Entladefrequenz zeigte einen linearen Anstieg zur isometrischen Maximalkraft.

Allerdings betont hierzu Freund (1983), dass alle motorischen Einheiten sowohl phasisch als auch tonisch entladen werden können. Bei schnellen Kontraktionen sind jedoch weitaus mehr „schnelle“ motorische Einheiten aktiv als bei langsamen. Dabei bleiben die motorischen Einheiten aktiv, die ihre tetanische Schwelle erreicht haben. Damit sind die Begriffe tonisch und phasisch nichts Weiteres als Arbeitsbereiche und können nicht zur Charakterisierung der einzelnen Fasern herangezogen werden.

Hollmann & Hettinger (1990, S. 39) differenzieren aufgrund elektronenmikroskopischer Befunde mitochondrienarme Fasern (Typ A), mitochondrienreiche (Typ C) und einen Intermediärtyp (B). Eine weitere Unterscheidung ergibt sich aufgrund enzym-histochemischer Farbdarstellungen. Hiernach sind die Typ-I-Fasern vornehmlich durch einen oxidativen Stoffwechsel bestimmt, sie weisen demnach eine eher schmale, langsame und ermüdungsresistente Struktur auf. Sie werden auch als rote Fasern bezeichnet, da sie einen höheren Myoglobingehalt aufweisen, während die Muskelstrukturen vom Typ II als weiße Fasern benannt werden (vgl. Kreutzig, 1997, S. 382).

Typische Unterscheidungsmerkmale in der morphologischen Struktur finden sich im Aufbau der Myosinmoleküle. Schnelle Fasern sind ausschließlich mit leichten Molekülketten bestückt, während die langsamen Fasern neben den leichten Ketten stets zwei schwere Molekülketten aufweisen (vgl. Weigelt, 1997, S. 47). Auch weisen schnelle Muskelfasern mehr T-Systeme auf.

Als wichtigstes Kriterium zur Unterscheidung zwischen schnellen und langsamen Muskelfasern gilt jedoch die ATP-ase, welche die Geschwindigkeit der Kontraktion maßgeblich beeinflusst. Durch die Färbung dieses Enzyms ist eine Typisierung der Muskelfasertypen möglich (vgl. Howald, 1985, S. 36; Billeter & Hoppeler, 1994, S. 61). In den schnellen Fasern erfolgt die Aufspaltung des Enzyms ATP-ase bis zu 600 mal pro Sekunde, während die langsamen Fasern nur die Hälfte dieser Wiederholungszahl erreichen.

Die Typ-II-Fasern werden durch den glykolytischen Stoffwechsel dominiert. Innerhalb dieser findet eine weitere Einteilung statt. Typ-II-A-Fasern sind schnell und weisen eine relative Ermüdungsresistenz auf (vgl. Hollmann & Hettinger, 1990, S. 39). Hartmann & Tünnemann (1993, S. 23f) bezeichnen diese auch als die FTO-Fasern, da die Energiebereitstellung bei diesen Fasern ebenfalls, analog zu den Typ-I-Fasern, oxidativ erfolgt.

Die Typ-II-B-Fasern sind schnell, relativ groß und ermüden leicht. Sie werden aufgrund ihrer metabolischer Eigenschaften auch als FTG-Fasern bezeichnet, da ihre Energiebereitstellung auf glykolytischem Wege erfolgt (vgl. Hartmann & Tünnemann, 1993, S. 24; Hollmann & Hettinger, 1990, S. 39). Die Typ-II-C-Fasern schließlich werden auch als intermediäre Fasern bezeichnet. Nach Jansson (1975) sind ihre oxidativen Eigenschaften mit denen des Typ I vergleichbar, während die glykolytische Kapazität eine gewisse Affinität zu den Typ-II-A-Fasern aufweist.

Weitere Typisierungsmerkmale sind die Zeit, die eine Muskelfaser benötigt, um ihre maximale Zuckungsamplitude (CT) zu erreichen und der Ermüdungsindex. Auch ist die Relaxationszeit nach einer Kontraktion bei unterschiedlichen Muskelfasern verschieden. So ist die Halbrelexationszeit der langsamen Fasern meist länger als die Kontraktionsgeschwindigkeit, während schnelle Fasern eine kürzere Halbrelexationszeit aufweisen (vgl. Hering, 2000, S. 39).

Bis etwa zum dritten Lebensjahr wurden bislang hinsichtlich der Muskelfaserverteilung, geschlechtsspezifische Unterschiede nicht detektiert. Zunächst existieren relativ viele schnelle Muskelfasern, die bis zum dritten Lebensjahr zugunsten der langsamen Muskelfasern weniger werden. Diese Entwicklung steht nach Tittel (1994, S. 60) in unmittelbarem funktionellem Zusammenhang. Denn bezüglich der Motorik werden zunehmend statisch-dynamische Anforderungen gestellt. Dies entspricht genau den Charakteristika der ST-Fasern. Diesem Gedankengang folgend werden die ontogenetischen Veränderungen durch das Bewegungsverhalten bedingt. Dies unterstreicht auch Howald (1985, S. 42) mit seiner Behauptung, dass exogene Faktoren bzw. Reize für die Differenzierung der verschiedenen Muskelfasertypen verantwortlich sind. Das bedeutet, dass bei entsprechenden Interventionen auch positive Veränderungen bezüglich der schnellen Muskelfasern erwirkt werden können. Schmidtbleicher (1994, S. 131) betont in diesem Zusammenhang, dass Entwicklungen zur Typ-I-Faser statt finden, wenn niederfrequente tonische Reize gesetzt werden und gleichzeitig phasische Aktivierungen unterbleiben. Damit haben exogene Faktoren, die auch in Form von Trainingsreizen gesetzt werden können, für die Ausdifferenzierung eine wichtige Bedeutung.

Im Widerspruch hierzu stehen jedoch Ergebnisse aus dem Beginn der 80-er Jahre, die durch umfangreiche Untersuchungen mit der Elektromyostimulation am Muskel gewonnen wurden. Demnach wurden Veränderungen an den einzelnen Muskelfasern nicht primär durch die Applikation der typischen Reizmuster erreicht. Entscheidend für die Anpassungen war vielmehr das Ausbleiben des jeweils anderen Reizmusters (vgl. Schmidtbleicher zit. nach Howald, 1982; Pette, 1984). Aufgrund zahlreicher Längsschnitt- und Zwillingsstudien muss davon ausgegangen, dass die Muskelfaserstruktur sowohl durch endogene als auch durch exogene Faktoren beeinflusst werden kann (vgl. Howald, 1985).

Den wesentlichsten Einfluss für die phänotypische Struktur der Muskelfaser hat jedoch das Motoneuron selbst. Die berühmten Kreuzinnervationsstudien von Buller et al. (1960) zeigten dies deutlich. Dort übernahmen die Muskelfasern die Struktur des Motoneurons. Der langsame Muskel, der mit einem schnellen Neuron verbunden wurde, wurde schnell und der schnelle Muskel, der mit einem langsamen Neuron verbunden wurde, wurde langsam. Auch Immobilisationsstudien zeigten Verschiebungen in der Charakteristik der Muskelfaserstruktur. Immobilisationen in gedehntem Zustand, z. B. nach

Knochenbrüchen, bewirkten eine Verschiebung von schnellen zu langsamen Strukturen (Goldspink et al., 1992 zit. in Hering, 2000, S. 23). Dahingegen zeigte sich bei der Immobilisation in verkürzter Position mit einer Suspension der Gliedmassen und begleitender Mikrogravitation eine Typenverschiebung von langsam nach schnell.

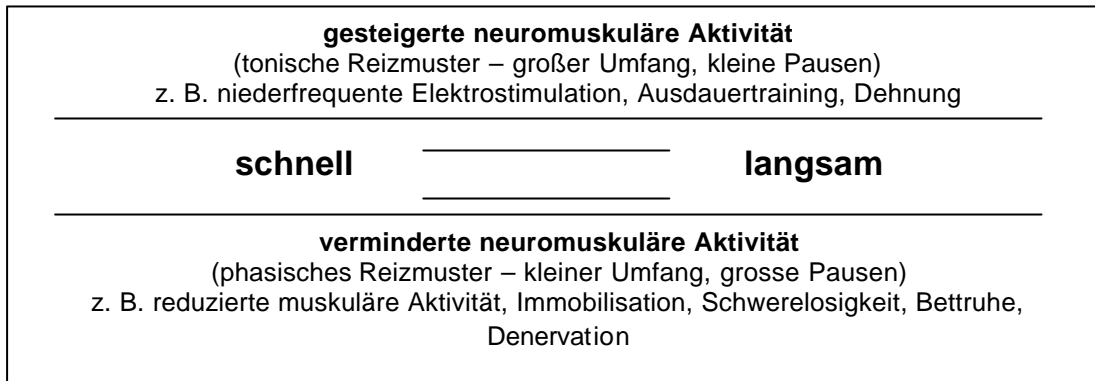


Abbildung 2: Zusammenfassende Darstellung von Einflüssen, die zu einer Fasertransformation von schnell nach langsam und umgekehrt führen (mod. nach Pette, 1998)

Die Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der postulierten Mechanismen, die zu einer Umwandlung der Fasertypen führen kann.

Es überrascht nicht, dass sehr gut trainierte Ausdauersportler in den in ihrer Sportart stark beanspruchten Muskelpartien einen hohen Anteil von Typ-I-Fasern aufweisen, während Sprinter in den gleichen Muskelgruppen mehr Typ-II-Fasern aufweisen. Sowohl die Schnellkraft als auch die Maximalkraft korrelieren mit einem hohen Anteil an Typ-II-Fasern (vgl. Howald, 1985, S. 36). So besitzen Volleyballer und Springer gegenüber Langstreckenläufern weniger und gegenüber den Sprintern mehr langsame Fasern, in Zahlen ausgedrückt 52 Prozent zu 72 Prozent (Hering, 2000, S. 27).

Bei einem sehr großen Trainingspensum sind Umwandlungen der Typ-II-Fasern zu Typ-I-Fasern möglich. Diese reagieren damit auf das niedrige Impulsmuster. Dagegen existieren keine Befunde, die eine Umwandlung von Typ-I-Fasern zu Typ-II-Fasern belegen. Dies liegt zum einen darin begründet, dass die langsamen Fasern zwischen den Trainingseinheiten, also in Ruhe, wieder in ihrem eigenen Impulsmuster, der niedrigen Dauerstimulation, stehen (vgl. Howald, 1985, S. 48) und zum andern darin, dass die langsamen Fasern im Rahmen der Alltagsmotorik dieser niederfrequenten Stimulation ständig ausgesetzt sind, was ihr charakteristisches Muster zusätzlich stabilisiert. Allerdings wurden Umwandlungen innerhalb der Typ-II-Fasern festgestellt. Diese bezogen sich auf eine Verschiebung von Typ-II-B (FTG) in die Richtung von II-A-Fasern (FTO), ähnlich wie bei einer Verschiebung durch Ausdauertraining von Typ-II- zu Typ-I-Fasern (vgl. Tesch, 1994, S. 242).

An anderer Stelle wurde bereits darauf hingewiesen, dass es zur Leistungsfähigkeit der motorischen Schnelligkeit regionalisierte Unterschiede gibt. Diese können zum Teil mit der dominanten Faserstruktur erklärt werden. Demnach weist die Muskulatur der oberen Extremitäten einen höheren Anteil

an FT-Fasern auf und zum anderen nimmt die Entladungsfrequenz der Motoneurone von kranial nach kaudal ab. (vgl. Israel et al., 1986, S. 133; Küchler, 1983, S. 51). Ebenfalls muss in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden, dass Muskeln mit paralleler Faserordnung höhere Schnelligkeitsleistungen vollbringen als solche mit schräger Faserung (vgl. Thorstensson, 1989, S. 194).

Nach dem aktuellen Stand der Forschung kann ein schneller Muskel in einen langsamen Muskel umgewandelt werden, wenn er durch spezifische Reize dazu gebracht wird (umgekehrt ist das noch fraglich). Allerdings steht die Antwort auf die Frage „Wie genau?“ noch aus und ist bislang noch nicht eindeutig geklärt. Hierbei spielen jedoch nicht nur die neuromuskuläre Aktivität, sondern auch mechanische Zusatzbelastungen eine wichtige Rolle (Hering, 2000, S. 28).

Insgesamt scheinen schnelle Muskelfasern eine Notwendigkeit zu sein, um Bewegungen schnell ausführen zu können. Allerdings, so Bauersfeld & Voss (1992) können Qualitätsunterschiede zwischen schnellen und langsamen neuromuskulären Bewegungen durch ein optimiertes Zusammenspiel der neuromuskulären Steuer- und Regelprozesse beschrieben werden.

3.1.2.3 Die Bedeutung des äußeren Widerstands für die Schnelligkeit

Eine große Last kann äußerlich sichtbar nicht mit derselben Geschwindigkeit bewegt werden, wie eine leichte. Aus diesem Grund ist der Einfluss des äußeren Widerstandes auf schnelle Bewegungen durchaus gegeben. Das bedeutet, dass der Maximalkraft eine große Bedeutung bei schnellen Bewegungen gegen höhere Widerstände zukommt. Dies äußert sich außerdem in der trainingswissenschaftlichen Unterscheidung zwischen schnellen und schnellkräftigen Bewegungen.

Die Bedeutung des äußeren Widerstands hat für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit insofern Relevanz als dass die vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster in Relation zu den Krafftfähigkeiten gestellt werden.

Für den Krafteinsatz bei schnellen Bewegungen ist die Betrachtung des Aufbaus der Muskulatur und der molekularen Mechanik wichtig. Bedeutsam ist vor allem die Zeit, die den aktivierten Muskeln gegeben wird, um eine bestimmte Kraft zu entwickeln. Diese Zeit ist wiederum abhängig vom äußeren Widerstand.

Daraus kann nun gefolgert werden, dass für schnelle Bewegungen viel Muskelkraft gegen einen Widerstand aufgebracht werden sollte. Allerdings postuliert hierzu Lehnertz (1991, S. 137), dass ein Muskel nur so viel (Aktions-)Kraft aufbieten kann, wie ihm an Reaktionskraft entgegenwirkt. Das bedeutet, dass um so mehr Muskelkraft aufgebracht werden soll, desto größer der zu überwindende Widerstand sein sollte.

Lehnertz (1991, S. 138) liefert einen eher physiologisch orientierten Erklärungsansatz. Um diesen zu verstehen soll ein Exkurs vorgenommen werden, der die Einleitung des Kontraktionsvorganges skizziert.

Exkurs: Der Kontraktionsvorgang

Die nervöse Erregung von Muskelzellen erfolgt durch die Freisetzung von Acetylcholin (ACH) an der motorischen Endplatte. Diese reagiert mit einer Änderung der Permeabilität von Na^{\oplus} und K^{\oplus} .

Auf diese Weise kommt es zu einem Muskelaktionspotential (AP). Dieser elektrische Reiz gelangt rasch in die schlauchartig eingestülpte Zellmembran (T-System, transversale Tubuli).

Das T-System wird dadurch depolarisiert und es wird aus dem longitudinalen System (L-System) $\text{Ca}^{\oplus\oplus}$ freigesetzt.

Steigt nun die Konzentration von $\text{Ca}^{\oplus\oplus}$ von 10^{-8} Mol/l auf 10^{-5} Mol/l an, so wird der Troponin-Tropomyosin-Schalter aktiviert.

Die Gleitfilamenttheorie

Diese Theorie ist von E. Huxley und J. Hanson entwickelt worden. Sie beschreibt den molekularen Mechanismus der Muskelkontraktion.

Die Kontraktion kommt hiernach durch ein Ineinandergleiten der parallel zueinander angeordneten Akin- und Myosinfilamente zustande. Der Abstand zwischen den Z-Scheiben wird also verringert. Die Sarkomere verkürzen sich.

Dieses Ineinandergleiten wird durch den Aufbau von Querbrücken ermöglicht.

Dies geschieht durch das Anheften der Myosinköpfchen an das Aktin und dem anschließenden Abknicken der Myosinköpfchen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass auch im entspannten Muskel sich einige Myosinköpfe an die Aktinfilamente binden können. Es ist deshalb davon auszugehen, dass nicht alle Querbrücken am Zyklus teilnehmen (vgl. Hering, 2000, S. 13).

1. Ohne das Muskelaktionspotential und der damit verbundenen Freisetzung von $\text{Ca}^{\oplus\oplus}$ ist die Anheftung der Myosinköpfchen aufgrund der Lage der Tropomyosinfäden unmöglich.

2. Der Troponin-Tropomyosin-Schalter wird durch das Muskelaktionspotential und dem damit verbundenen Einstrom von $\text{Ca}^{\oplus\oplus}$ aktiviert. Es folgt die Freigabe der Myosinköpfchen-Bindungsstelle am Aktin (Das Tropomyosin wird vom Troponin in die Furchen „gequetscht“). Die Myosinköpfe werden an das Aktin gebunden (nicht kovalent; H-Bindung). Ihre Bindung erfolgt senkrecht zur Achse des Aktinfilaments.

Die Myosin-ATP-ase wird aktiviert und setzt Energie frei.

3. Diese Energie ermöglicht das Abknicken des Myosinköpfchens um ca. 45° . Dabei wird das ATP in ADP und P gespalten; der Aktin-Myosin-Komplex geht in eine stabile Lage über.

Es erfolgt eine Verkürzung des Sarkomers.

Das Ablösen des Myosinköpfchens vom Aktin ist nur durch ATP möglich. Es wird also diese stabile Lage beibehalten.

(Weichmacherfunktion des ATP; die Totenstarre wird durch das Fehlen des ATP (Myosin kann nicht mehr vom Aktin gelöst werden) bedingt. Die Auflösung der Totenstarre erfolgt durch autolytische Prozesse.)

Zur Auflösung der Querbrücken wirkt das Myosinköpfchen in Gegenwart von Mg^{2+} als ATP-ase und spaltet ATP.

4. Erst nach der Ablösung des Myosinköpfchens vom Aktin durch ATP ist eine Wiederholung des Vorgangs möglich.

Eine sichtbare Muskelkontraktion entsteht durch die Verkürzung vieler Sarkomere. Die Aktinfilamente werden durch eine Folge von ruderartigen Bewegungen der Myosinköpfe in die Myosinfilamente gezogen.

Das Ende des Kontraktionsvorgangs

Der Kontraktionsvorgang ist dann beendet, wenn die Calciumionen aus dem Sarkoplasma wieder in das longitudinale System (L-System) durch aktiven Transport (Ionenpumpentätigkeit) aufgenommen werden.

Dies geschieht, wenn keine Aktionspotentiale mehr eine weitere Ca^{2+} -Freisetzung bewirken. Der Troponin-Tropomyosin-Schalter verhindert dann die Bindung des Myosins an das Aktin.

Nachdem über die elektromechanische Kopplung die Calciumionen ausgeschüttet werden, vergeht einige Zeit, bis sie an ihren Wirkungsort innerhalb der Sarkomere gelangen und sie dort den Troponin-Tropomyosin-Schalter aktivieren können und die Querbrücken zur Einleitung der Kontraktion gebildet werden. Lehnertz (1991, S. 138) geht nun davon aus, dass bei einem geringen äußeren Widerstand der Muskel sich bereits verkürzt, wenn erst ein Teil der Kraftbrücken gebildet worden ist. Dadurch ist auch die Kraftsumme geringer, als wenn eine größere Last angehoben wird.

Begründet werden diese Überlegungen von Lehnertz (1991, S. 139) mit „quick-release“ Experimente an isolierten Muskelpräparaten. Hierbei wird unter isometrischen Bedingungen das Muskelpräparat durch Elektrostimulation maximal gespannt und nach vorgewählter Zeit plötzlich zur Verkürzung freigegeben. Unter diesen Umständen verkürzen sich die Muskeln schneller: Es ist zu erkennen wie sich diese Präparate zunächst blitzartig verkürzen (Lehnertz nennt dies die Hochgeschwindigkeitsverkürzung) und weiter mit wesentlich geringerer Geschwindigkeit kontrahieren.

Auch anhand eines „Fingerhebeexperiments“ wurde dies belegt. Hierbei musste der Proband mit seinem Zeigefinger einen etwa 100 g schweren Metallstab nach oben schieben. Wenn nun der Metallstab blockiert wurde, zeigte sich eine verzögerungsabhängige Steigerung der durchschnittlichen Geschwindigkeit, mit welcher der Metallstab nach oben schoss, gegenüber der bei nichtverzögerter Betätigung des Metallstabes ermittelten Geschwindigkeit. Messungen haben ergeben, dass die Strecke der Hochgeschwindigkeitsverkürzung bei rund 9 nm pro Halbsarkomer liegt (zit. nach Moss, 1986; Haugen, 1987). Dies ist der Bereich, innerhalb dessen sich

der unbelastete Muskel drei- bis viermal schneller verkürzt als auf dem folgenden Teil.

Daraus kann gefolgert werden, dass die Trägheit der Masse als notwendiger Widerstand zur Bildung der Muskelkraft eine erhebliche Rolle spielt. Eine sportliche Bewegung, bei der eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit gebildet werden soll, muss folglich so gestaltet werden, dass für die zuletzt einzusetzende Muskelgruppe noch ausreichend Trägheitswiderstand besteht. Lehnertz (1991, S. 143ff) verwendet hierzu den Begriff Trägheitstiming. Er besagt, dass bei einer zielgerichteten Bewegung das Energiepotential bestmöglich genutzt werden soll. Für die Gestaltung der Bewegung bedeutet dies, dass auch am Bewegungsende noch eine positive Beschleunigung erfolgt.

Laut Bührle (1985, S. 101) wirkt sich der zu überwindende Widerstand auch auf den Einfluss der Maximalkraft auf die Schellkraft aus:

„Bei Kontraktionen gegen leichte und mittlere Lasten kann die Maximalkraft nicht in voller Höhe eingesetzt werden, und zwar auch dann nicht, wenn versucht wird, die Last maximal zu beschleunigen.“

Dieser Umstand wird von Bührle (1985, S. 101) als relativ dynamisches Kraftmaximum bezeichnet und stellt den einer Last zuordbaren Krafthöchstwert dar. Aus biomechanischer Sicht hängt die Winkelgeschwindigkeit eines Gelenks von der Kontraktionsgeschwindigkeit der schnellen Muskelfasern ab und ist durch die mit dem Sehnenansatz festgelegte Hebellänge begrenzt. Sobald dieser Grenzwert erreicht ist, kann der Muskel keine weitere Kraft mehr entfalten. Aus diesem Grund werden, der Ansicht von Bührle (1985, S. 102) nach, bei maximal schnellen Bewegungen gerade die langsamen Muskelfasern relativ früh mechanisch insuffizient.

3.1.2.4 Physiologische Einflussfaktoren der Schnelligkeit

Weiter oben wurden die biochemischen Vorgänge, die eine Muskelkontraktion auslösen, skizziert. In einigen Untersuchungen wurden unterschiedliche Anpassungen an Schnelligkeitsanforderungen auch im mikroskopischen Bereich gefunden. Einige dieser Ergebnisse sollen an dieser Stelle in verkürzter Form vorgestellt werden.

Das sarkoplasmatische Retikulum (SR) scheint für die Kinetik der Kraftentwicklung eine grosse Bedeutung zu haben. Denn je größer das SR, desto mehr Calciumionen werden pro Zeiteinheit bei gleichem Reizniveau ausgeschüttet. Zudem verringern sich die Diffusionsstrecken innerhalb des Kontraktions- und des Relaxationsvorgangs gleichermaßen (Hoyle, 1983, S. 268).

Funktionelle Anpassungen, allerdings bei Ratten, wurden auch im Bereich der motorischen Endplatte entdeckt. Und zwar wurde festgestellt, dass die motorischen Endplatten bei schnell zuckenden Muskelfasern über eine

intensivere Faltung der prä- und postsynaptischen Membran verfügen, welche eine größere Austauschfläche für ACTH bietet (vgl. Cole, 1955).

Auch der molekulare Aufbau der die Calciumionen regulierenden Proteine, des Myosins sowie die Quantität und Reaktionsdynamik scheinen einen erheblichen Einfluss auf die Kraft-Zeit Eigenschaften der Muskulatur zu haben (vgl. Hering 2000, S. 17). Dabei scheint die Myosin-ATP-ase ein indirektes Maß für die Kinetik des Kraft-Zeit Verhalten von Muskelfasern zu sein (Brooke & Kaiser, 1970; Engel, 1962; Sreter et al., 1966 zit. in: Hering 2000, S. 17).

3.1.2.5 Anthropometrische Einflussfaktoren der azyklischen Schnelligkeit

Der Einfluss der anthropometrischen Merkmale ist eher bei der zyklischen Schnelligkeit zu beobachten. Ballreich (1969) zeigte in regressionsanalytischen Untersuchungen, dass die somatometrischen Dimensionen von Körpergewicht und Beckenbreite sowie Oberschenkellänge und Oberschenkelumfang die Sprintzeit beeinflussen. Es wird auch vermutet, dass die Schrittlänge unter manchen Umständen einen größeren Einfluss auf die Sprintzeit hat, als die Schrittfrequenz, wobei sich jedoch bei guten Sprintern die Schrittfrequenzsteigerung auf die Laufleistung besser auswirkt als eine Vergrößerung der Schrittlänge (vgl. Hollmann & Hettinger, 1991, S. 285).

Dahingegen finden sich bei der azyklischen Schnelligkeit kaum Untersuchungen zum Einfluss der anthropometrischen Merkmale. Ives et al. (1993, S. 279) fanden keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anthropometrischen Merkmalen und der Geschwindigkeit einer Armbewegung. Daraus lässt sich folgern, dass anthropometrische Merkmale nur einen geringen Einfluss auf die azyklischen Schnelligkeitsleistungen, wie sie in dieser Arbeit betrachtet werden, haben.

3.2 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die koordinativen und konditionellen Einflussgrößen der Schnelligkeit diskutiert.

Bei den koordinativen Einflussgrößen scheint die Nervenleitgeschwindigkeit einen gewissen Voraussetzungscharakter zu haben. So müssen die Nervenleitgeschwindigkeiten eine gewisse Ausprägung haben, damit schnellste Bewegungen möglich sind. Allerdings gibt es der aktuellen Forschungslage zufolge keine eindeutigen Hinweise auf eine Trainierbarkeit oder eine ausschließlich genetische Präformierung. Die Größe der Motoneuronen steht in direktem Verhältnis zur Reizleitungsgeschwindigkeit der motorischen Einheit.

Die Reihenfolge der Rekrutierung motorischer Einheiten wird durch die Größe der Motoneuronen determiniert. Dies gründet auf der Tatsache, dass die motorischen Einheiten mit den größten Motoneuronen die höchste Ansprechschwelle haben und daher zuletzt aktiviert werden. Unter verschiedenen Umständen kann dieses Größenordnungsprinzip durchbrochen werden. Es liegt die These nahe, dass schnelle motorische Einheiten auch vorzugsweise bei schnell ausgeführten Bewegungen eingesetzt werden und unter Umständen zum schnellen neuromuskulären Innervationsmuster gehören. Denn schnelle Bewegungsmuster sind durch eine bevorzugte Aktivierung der schnellen motorischen Einheiten charakterisiert.

Die Kontraktionsgeschwindigkeit eines Muskels hängt von mehreren Faktoren ab. Ein längerer Muskel verkürzt sich schneller. Durch eine vermehrte und schnellere Calciumeinströmung wird die Anzahl der Brückenbildung während der Kontraktion pro Zeit erhöht. Die Geschwindigkeit der Brückenbildung hängt auch von der Geschwindigkeit der ATP-Spaltung durch die Myosinköpfe ab.

Die Koaktivierung beschreibt das Phänomen, wonach der Antagonist den Agonisten während seiner Kontraktion etwa ab der Hälfte des Kontraktionsvorganges abbremst. Bei Bewegungen, die hochautomatisiert sind (in der Feinstform entwickelt), ist davon auszugehen, dass der bremsende Effekt keine Auswirkung auf die Geschwindigkeit der Bewegung hat und lediglich der präzisen Abstimmung dient.

Der Dehnungs-Verkürzungszyklus scheint primär eine Rolle bei zyklischen Bewegungen zu haben.

Bei der Betrachtung der konditionellen Einflussgrößen scheint der Energiestoffwechsel aufgrund der nur geringen Bewegungszeiten eine untergeordnete Bedeutung zu haben. Demnach ist eine Reduzierung der Schnelligkeitsleistung zu erwarten, wenn a) eine ausreichend hohe Beanspruchung vorliegt, b) eine hohe Übereinstimmung von Belastungscharakteristik und Kriteriumsbeziehung vorliegt (in Anlehnung an das Belastungs-Beanspruchungskonzept führen nur spezifische Belastungen zu leistungsnegativen Effekten) und c) wenn die Erholungsphasen zu kurz sind, da das neuromuskuläre System relativ schnell wieder die maximale Leistungsfähigkeit erlangt.

Die schnellen Muskelfasern stellen eine wichtige invariante Voraussetzung für schnelle Bewegungen dar. Nach dem aktuellen Stand der Forschung kann ein schneller Muskel in einen langsamen Muskel umgewandelt werden, wenn er durch spezifische Reize dazu gebracht wird.

Die Trägheit der zu bewegenden Masse als notwendiger Widerstand zur Bildung der Muskelkraft spielt eine nicht unerhebliche Rolle. Eine schnelle sportliche Bewegung muss folglich so gestaltet werden, dass für die zuletzt einzusetzende Muskelgruppe noch ausreichend Trägheitswiderstand besteht. Hierzu wird der Begriff Trägheitstiming verwendet.

Physiologische Einflussgrößen limitieren die Schnelligkeit einer sportlichen Bewegung ebenso wie, allerdings in weitaus geringerem Maße, unterschiedliche anthropometrische Merkmale.

In diesem Kapitel wurde dargestellt, warum die Schnelligkeit eine koordinativ-konditionell determinierte Leistungsvoraussetzung ist. Sowohl muskulär-energetische, als auch neural-informativische Aspekte bestimmen ihren Ausprägungsgrad. Auf das Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster hin bezogen, kann konstatiert werden, dass bei sehr schnellen Bewegungen (mit einer Bewegungszeit unter 200 ms) gerade den koordinativen Aspekte Priorität eingeräumt werden muss. Nach Bauersfeld & Voss (1992) weisen Zeitprogramme eine Kraftunabhängigkeit auf und unterliegen auch bei konditionellen Belastungen einer hohen Stabilität, dass heißt, sie verlassen ihr zeitliches Grundmuster nicht.

Die Schnelligkeit wird an mehreren Stellen (siehe Kap. 3.2) unter neuromuskulären Aspekten in der Trainingswissenschaft als Erklärungsansatz verwendet. Im folgenden Teil werden die Beiträge zur Erklärung der Schnelligkeit aus der trainingswissenschaftlichen Literatur aufgezeigt.

4 Die Schnelligkeit in der trainingswissenschaftlichen Literatur

In der trainingswissenschaftlichen Literatur der letzten Jahre wird die motorische Schnelligkeit vorwiegend durch schnelle motorische Programme beschrieben. Im folgenden Teil wird aufgezeigt, wie die Schnelligkeit in den einzelnen Beiträgen zur Schnelligkeit beschrieben und charakterisiert wird. Anhand dieser Synopse soll gezeigt werden, dass nach derzeitiger Forschungslage schnelle Bewegungen als gesteuert gelten, da während der Bewegung Feedback-Prozesse nicht möglich sind.

An verschiedenen Stellen wird das bereits im ersten Kapitel angesprochene Problem deutlich, dass es gerade in der Literatur zur Schnelligkeit viele uneinheitliche Definitionen gibt.

Hohmann et al. (2002, S. 88) kritisieren das Konzept von Bauersfeld & Voss, indem sie die von den Autoren propagierten azyklischen Zeitprogramme anhand der Nieder-Hoch-Sprung Bewegungen als klassische Form der Reaktivkraft beschreiben. Damit beruht diese Sprungbewegung auf einem kurzen Dehnungs-Verkürzungszyklus mit seinen charakteristischen anatomisch-physiologischen Mechanismen und kann den Autoren zur Folge nicht zur Erklärung eines Programmcharakters heran gezogen werden.

An anderer Stelle weisen Hohmann et al. (2002, S. 89) darauf hin, dass die Qualität schneller und vor allem präziser Bewegungen von der Qualität der im Zentralnervensystem erstellten Motorikprogramme abhängt. Die Schnelligkeit stellt damit besondere Anforderungen an die Qualität der Informationsorganisation bei der Koordination der notwendigen Muskelaktivitäten. Sie basiert damit in besonderem Maße auf der Koordination.

Bei Hohmann et al. (2002, S. 91ff) werden zudem verschiedene Kriterien festgelegt, die für die elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten wesentlich sind. Die azyklischen schnellen neuromuskulären Innervationsmuster firmieren dabei unter dem Begriff der Sequenzschnelligkeit. In Anlehnung an Hohmann et al. (2001) sind dies folgende Kriterien:

- a) Basale Bewegungsform und kleinräumige Bewegungsamplitude.
- b) Bewegungszeit unter 200 ms.
- c) Stabilität gegenüber Entwicklungs- und Trainingseinflüssen (v. a. nach der Pubertät).
- d) Unabhängigkeit von Maximalkraft, Geschlecht und Ermüdung.
- e) Signifikanter Leistungsbezug und kritischer sportartspezifischer Schwellenwert.

Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 225) beschreiben innerhalb des Schnellkraftverhaltens den Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) als relativ eigenständige Dimension, welcher innerhalb der trainingswissenschaftlichen Literatur mehrheitlich als Reaktivkraft beschrieben wird. Die Autoren gehen

davon aus, dass rund 90 Prozent aller sportlichen Bewegungen einen Dehnungs-Verkürzungszyklus enthalten. Weiter unterscheiden sie zwischen Schnellkraftleistungen im kurzen DVZ (< ca. 200 ms) und im langen DVZ (> ca. 200 ms).

Schnabel et al. (1997, S. 141) definieren die Schnelligkeit als koordinativ-konditionell beeinflusste Fähigkeit. Dabei betonen die Autoren, dass gerade schnell und präzise ausgeführte Bewegungen programmgesteuert sind. Sie beschreiben in Anlehnung an Bauersfeld & Voss (1992) die Dauer für den Übergang von der exzentrischen zur konzentrischen Kontraktion als Zeitprogramm. Dieses Zeitprogramm charakterisiert das Niveau der Schnelligkeit im Dehnungs-Verkürzungszyklus und ist über die Bodenstützzeit messbar (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 144).

Diese Form der Schnelligkeit wird von den Autoren im Zusammenhang mit der elementaren Koordinationsschnelligkeit, die gemeinsam mit der Reaktionsschnelligkeit als Grundschnelligkeit definiert wird, beschrieben. Sie stellt für Schnabel et al. (1997, S. 145) die Basis der Komplexschnelligkeit dar, die sich wiederum nur in Verbindung mit anderen Leistungsvoraussetzungen äußert. Die Koordinationsschnelligkeit zeigt sich vor allem bei Bewegungen, die folgende Kriterien erfüllen:

- a) Widerstand außerordentlich gering
- b) Bewegungszeit ist sehr kurz
- c) Unmöglichkeit der Korrektur bei der Ausführung
- d) (und/oder) sehr wenig Gelenke sind einbezogen

Explizit wird von den Autoren der Platzwechsel mit den Beinen im Judo genannt, auf den im Verlauf der Arbeit weiter eingegangen wird. Bei Schnabel et al. (1997, S. 144ff) wird nicht erläutert, dass schnellkräftige Bewegungen programmgesteuert sind. Bezüglich der Schnellkraft folgen die Autoren den Ausführungen von Harre (1986) wonach die Schnellkraft die konditionelle Basis der Schnelligkeit darstellt.

Geese & Hillebrecht (1995, S. 11) beschreiben, dass die Fähigkeit, schnellstmögliche Bewegungen ausführen zu können von zahlreichen endogenen und exogenen Faktoren abhängt. Sie gehen davon aus, dass jede Willkürbewegung in der „Software“, also dem neuronalen Netzwerk des ZNS als Programm abgerufen bzw. produziert wird. Schnelle Bewegungen sind auf kürzestmögliche Zugriffszeiten auf die entsprechenden neuronalen Programme angewiesen. Diese Fähigkeit kann gelernt werden. Schnelligkeit ist nach ihrer Auffassung nicht nur genetisch determiniert, sondern kann durch neuromuskuläre Anpassungseffekte gelernt und gesteigert werden. Es wird beschrieben, dass bei schnellen Bewegungen keine Informationen, bedingt durch den Zeitmangel, zurück gekoppelt werden können. Hinsichtlich

schnellkräftiger Bewegungen wird darauf verwiesen, dass es hierbei nicht nur auf das Kraftpotential, sondern auch auf die Art der Kraftentfaltung ankomme (Geese & Hillebrecht, 1995, S. 29). Das bedeutet, dass neben der Maximalkraft ein rascher und steiler Anstieg der Kraft zu einem hohen Kraftstoß führt. Durch eine gute intramuskuläre Koordinationsfähigkeit kann dieses Kraftverhalten erreicht werden. Als weiteren limitierenden Faktor bei schnellen Bewegungen geben Geese & Hillebrecht (1995, S. 31ff) die intermuskuläre Koordination an. Eine gute intermuskuläre Koordinationsfähigkeit bei schnellen Bewegungen führt zu einem optimalen „Einschleifen“ von Erregungs- und Hemmungs-Mechanismen, sowie entsprechender Reflexe, welche von den Autoren als dynamisch-motorische Stereotypen bezeichnet werden.

Verchoschanskij (1995, S. 29ff) postuliert, dass die Schnelligkeit zweigeteilt werden kann. Zum einen als eine spezifische funktionelle Fähigkeit der Psychomotorik des Sportlers und zum andern als Geschwindigkeit der Bewegung als einem integralen Bestandteil seines speziellen Vorbereitungszustandes, welcher wiederum von Muskelkraft, Technik und Ausdauer limitiert wird.

Zu der ersten Komponente gehört die Schnelligkeit, die hiernach als spezifische funktionelle Fähigkeit der Psychomotorik gilt. Diese ist charakterisiert durch die

„Bildung eines Bewegungsprogramms in der motorischen Zone des Zentralen Nervensystems und seiner Realisierung, wenn keine großen Kraft- und Energieaufwendungen notwendig sind“

(Verchoschanskij, 1995, S. 29-30).

Der Autor erläutert zudem, dass die Schnelligkeit als spezifische und multifunktionelle Eigenschaft des Zentralen Nervensystem betrachtet werden muss. Dabei dürfen bei dieser elementaren Erscheinung der Schnelligkeit in der Bewegung keine bedeutenden muskulären Krafteinsätze, keine schwierigen koordinativen Anforderungen, sowie nur ein geringer Energieverbrauch auftreten.

Verchoschanskij (1995, S. 35) beschreibt weiter, dass die Geschwindigkeit azyklischer Bewegungen durch die Größe der Krafteinsätze, die durch Zeit und Raum rationell organisiert sind, bestimmt wird. Hier werden Parallelen zu den Zeitprogrammen nach Bauersfeld & Voss (1992) offensichtlich, die als zeitlich abgestimmte neuromuskuläre Impulsfolge des Muskeleinsatzes definiert werden:

„zentrale Impulsaktivität (des Muskeleinsatzes; d. Verf.) im allgemeinen (mehr oder weniger) von einem Bewegungsprogramm“ vorgeschrieben wird

(Verchoschanskij, 1995, S. 43).

Bei Frey & Hildenbrandt (1994, S. 96ff) ist die (elementare) Schnelligkeit eine Fähigkeit, die von der Qualität neuromuskulärer Bewegungsprogramme abhängt, welche im Zentralnervensystem abgespeichert sind. Diese Elementarschnelligkeit tritt jedoch häufig mit einer Kraftkomponente auf, die dann als Schnelligkeit im weiteren Sinne bezeichnet wird. Diese Form hängt des weiteren von der Kraft und der Elastizität der Muskulatur, sowie der intra- und intermuskulären Koordinationsfähigkeit ab.

Die Autoren beschreiben die Schnelligkeit als eine Fähigkeit, die durch die Qualität neuromuskulärer Speicherprogramme im Zentralnervensystem bestimmt wird.

Weineck (1994, S. 238) erläutert, dass auch schnellkräftige Bewegungen aufgrund der z. T. extrem kurzen Realisierungszeiten programmgesteuert sind. Sie laufen nach einem im Zentralen Nervensystem gespeicherten Programm ab. Es werden für schnellkräftige Bewegungen sowohl kurze, als auch lange Zeitprogramme (in Anlehnung an Bauersfeld & Voss, 1992, S. 18) beschrieben.

Programmgesteuert bedeutet auch hier, dass während der Bewegung, aufgrund der schnellen Durchführung, eine bewusste Korrektur auf der Grundlage von Rückmeldungsprozessen nicht möglich ist. Dieser Zusammenhang wird bei Kuchler (1983) aus informationstheoretischer Sicht ausführlich erläutert. Demnach sind insbesondere motorische Programme, die eine Laufzeit von unter 200 ms haben bewusst nicht kontrollierbar und können demzufolge auch während ihres Ablaufs nicht korrigiert werden. Denn es wird davon ausgegangen, dass erst nach 200 ms auf exterozeptive Reize reagiert werden kann.

Nach Wineck (1994, S. 240f) bestehen Zeitprogramme aus zeitlich abgestimmten Impulsfolgen des Muskeleinsatzes der für die entsprechende Bewegung notwendigen Muskeln. Sie kommen vor allem bei ballistischen Bewegungen zum Einsatz und sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- a) Explosive Krafteinsätze
- b) Kurze Startzeit
- c) Maximales Tempo
- d) Unmöglichkeit der Korrektur bei der Ausführung

Grosser & Zintl (1994, S. 90) weisen ausdrücklich darauf hin, dass die Schnelligkeit in elementare und komplexe Schnelligkeitsfähigkeiten eingeteilt wird.

Die elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten sind hiernach durch die elementaren Zeitprogramme in ihrer azyklischen oder zyklischen Natur determiniert. Sie unterliegen also dem Qualitätsvermögen der neuromuskulären Steuer- und Regelprozesse.

Weiter gehen die Autoren darauf ein, dass die elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten in Bewegungen limitierend wirken, bei denen nur geringe Widerstände wirken.

Nach Grosser & Zintl (1994, S. 95ff) sind die Steuermechanismen des Nervensystems, die sich in den Zeitprogrammen ausdrücken, noch wenig erforscht. Die Zeitprogramme werden vermutlich als Bewegungsprogramme gespeichert und laufen bei einer Zeitdauer unter 200 ms aufgrund informationstheoretischer Annahmen (vgl. Kuchler, 1983; Martin et al., 1991) bewusst nicht steuerbar ab. Weiterführend skizzieren sie den Forschungsansatz von Bauersfeld & Voss (1992) und erklären die Eigenheiten der Zeitprogramme:

- a) Die Zeitprogramme bleiben über längere Zeit hinweg stabil. Sie weisen außerdem eine hohe Stabilität gegen Ermüdung auf.
- b) Sie sind unabhängig von anderen Leistungsvoraussetzungen des neuromuskulären Systems, wie der Nervenleitgeschwindigkeit, den Reflexzeiten (des Muskeleigenreflexes) und der Muskelfaserstruktur. Kurze Zeitprogramme sind aber als genetische Voraussetzung an ein mittleres Ausprägungsniveau dieser Parameter gebunden.
- c) Zeitprogramme werden nicht durch den Ausprägungsgrad der Kraft bestimmt.
- d) Zeitprogramme sind geschlechtsunspezifisch.

In seinem umfassenden Werk zur Schnelligkeit differenziert Grosser (1991) zwischen reinen und komplexen Schnelligkeitsformen. Zu den reinen Formen gehören die Reaktions-, Aktions-, und Frequenzschnelligkeit. Dahingegen sind die komplexen Erscheinungsformen der Schnelligkeit durch erhöhte Kraft- und Ausdaueranteile charakterisiert.

Die reinen Schnelligkeitsformen werden nach Grosser (1991, S. 16) durch zentralnervöse und genetische Faktoren (hoher Anteil an Typ-II-Fasern) limitiert. Sie sind nur kurzzeitig bei geringen äußeren Widerständen realisierbar. Hinsichtlich der zentralnervösen Faktoren beschreibt der Autor, dass eine hohe Qualität der neuronalen Verbindungen des retikulär-spinalen Systems vorhanden sein muss. Grosser beruft sich mit der Feststellung „Zum Sprinten braucht man das Gehirn“ auf Dietz & Noth (1979). Denn schnelle Bewegungen sind vom optimierten Zusammenspiel der Agonisten und Antagonisten abhängig, die zeitlich geplant mit feinsten Kraftdosierung zum Einsatz kommen. Er betont, dass die Steuerung schneller Bewegungen durch die motorischen Zentren des ZNS durch „programmierte Aktivitäten“ geschieht (Grosser, 1991, S. 33). Solche schnellstmögliche dynamische Stereotype sind durch eine gute intramuskuläre Koordination (optimale Rekrutierung der motorischen Einheiten), eine hohe Frequenzierung (Entladungsfrequenz der motorischen Einheiten) und einen rascher Wechsel zwischen Erregungs- und Hemmungszuständen charakterisiert. Grosser fordert damit ein Einschleifen von bedingten Reflexen (dynamisch-motorische Stereotypen) im Sinne der intermuskulären Koordination. In diesem Zusammenhang wird vom Autor die

Aussage formuliert, dass die Schnelligkeit untrennbar an die sportliche Technik gebunden ist (Grosser, 1991, S. 29).

Martin et al. (1991, S. 152ff) definieren Schnelligkeitsleistungen im engeren Sinne als die vom Nerv-Muskel-System realisierten Kontraktions- und Bewegungsgeschwindigkeiten gegen geringe Widerstände.

In bezug auf die Reaktionsleistungen erläutern die Autoren, dass Verbesserungen nur durch ein dauerndes Üben und Lernen komplizierter motorischer Programme möglich sei.

Martin et al. (1991, S. 160) fordern, dass ein Schnelligkeitstraining vor allem auf eine Verbesserung der intramuskulären und der intermuskulären Koordination abzielen soll. Die spinale Sensomotorik bzw. spinalmotorische Reflexe im Sinne von Regelkreisen spielen hierbei eine wichtige Rolle. Es sollen elementare Programme der spinalen Sensomotorik aufgebaut werden. Unter der sensumotorischen Koordination wird laut Clauss et al. (1976, S. 80) das zeitliche und räumliche Zusammenwirken von Bewegungsvorgängen unter der Kontrolle der jeweils bewegungsführenden Analysatoren im Sinne der Einordnung in zielgerichtete übergeordnete Programme (Handlungsprogramme) verstanden.

Hollmann & Hettinger (1990, S. 272f) geben an, dass als Voraussetzung für hohe muskuläre Schnelligkeit das Zusammenspiel zwischen Zentralnervensystem und Skelettmuskulatur durch eine hohe koordinative Qualität gekennzeichnet sein muss. Diese Koordination wird durch die Einschleifung sogenannter bedingter Reflexe oder dynamisch-motorischer Stereotype erreicht.

Ausführlich gehen Hollmann & Hettinger (1990, S. 291f) dazu auf den von Orsolin (1949) geprägten Begriff der Geschwindigkeitsbarriere ein. Er wird beschrieben als ein vornehmlich im Sprintbereich beobachtetes Phänomen, bei dem das Erregungsmuster im Zentralnervensystem bezüglich Schrittfrequenz, Schrittlänge und Raumeinteilung so eingeschliffen ist, dass eine weitere Leistungssteigerung nicht möglich sei. Sie weist also eine hohe Stabilität auf.

Harre & Hauptmann (1987, S. 199) führen an, dass die Fähigkeit des Sportlers, sein Schnelligkeitspotential leistungswirksam einsetzen zu können davon abhängt, dass die Geschwindigkeit und die Kraft im Bewegungsvollzug möglichst steil ansteigen sollen und der Kraftimpuls möglichst kurz sein soll.

Verchoschanskij (1987, S. 56) beschreibt, dass die Schnelligkeit durch eine effektive Steuerung der Lokomotionen bestimmt wird. Grundlage hierfür ist eine hochgradige Verbindung zwischen den Neuronen des retikular-spinalen Systems und einer Frequenzgrenze ihrer Impulsation. Verchoschanskij artikuliert einen weiteren interessanten Aspekt, indem er beschreibt, dass ein

bestimmter Typ des Nervensystems ebenfalls limitierend wirkt. So sollen sich leicht erregbare, impulsive Menschen durch eine größere Schnelligkeit bei Bewegungen auszeichnen (vgl. Verchoschanskij, 1987, S. 57).

Laut Matwejew (1981, S. 163) ist die Schnelligkeit einzelner Bewegungen neben der Dynamik des Zentralnervensystems und der Nerven-Muskel-Beziehungen durch die kontraktile Eigenschaften des Muskelapparates bedingt. Er beschreibt weiter, dass die Bewegungsschnelligkeit in reiner Form praktisch nicht vor kommt, ohne weiter zu präzisieren, was darunter verstanden wird. Der äußere Ausdruck der Schnelligkeit, die Geschwindigkeit sportlicher Bewegungen ist auch durch andere Faktoren, wie Kraft, Koordination und Ausdauer bedingt (Matwejew 1981, S. 168).

Harre (1979, S. 173) beschreibt die Schnelligkeit als konditionelle Fähigkeit, die den Sportler dazu befähigt, motorische Aktionen unter den gegebenen Bedingungen in kürzester Zeit durchzuführen. Als konditionelle Basis der Schnelligkeit einzelner Bewegungen (azyklische Schnelligkeit) gilt die Schnellkraftfähigkeit. Limitiert wird die Schnelligkeit nach Harre (1979, S. 174) durch die Beweglichkeit der Nervenprozesse, die Schnellkraftleistung, die Dehnbarkeit, die Elastizität der Muskulatur und der Entspannungsfähigkeit der Muskeln, die Qualität der sportlichen Technik sowie die Willensstoßkraft und biochemische Mechanismen. Der Autor beschreibt, dass hohe Bewegungsgeschwindigkeiten nur bei schnellstem Wechsel zwischen Erregung und Hemmung und den entsprechenden Regelmechanismen im Nerv-Muskel-System in Verbindung mit einem optimierten Krafteinsatz erreicht werden können.

4.1 Zusammenfassung

Anhand einer Synopse der trainingswissenschaftlichen relevanten Literatur wurde gezeigt, dass nach derzeitiger Forschungslage davon ausgegangen wird, dass schnelle Bewegungen im besonderen Maße von guten Leistungen des Nerv-Muskel-Systems abhängen. Insbesondere die neueren Arbeiten beschreiben insbesondere die neuromuskulären Aspekte, die für hohe Schnelligkeitsleistungen erforderlich sind.

Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Analyse der Schnelligkeit disziplinspezifisch am Beispiel der Zweikampfsportart Judo vorgenommen werden soll, wird im nächsten Kapitel die Stellung dieser motorischen Hauptbeanspruchungsform im Judo vorgestellt.

5 Zur Stellung der Schnelligkeit innerhalb der Leistungsstruktur des Judo

Die Zweikampfsportart Judo ist durch sich verändernde Wettkampfbedingungen charakterisiert. Typisch für Disziplinen aus dem Gefüge der Zweikampfsportarten, zu denen Judo zu zählen ist, ist das Vorhandensein eines großen Komplexes komplizierter motorischer Handlungen, die an ein hohes Niveau der Schnelligkeitsfähigkeiten gebunden sind und gleichzeitig an eine bestimmte Anpassungsvariabilität an die sich verändernden Wettkampfbedingungen geknüpft sind. Dabei sollen selbst unter Ermüdungsbedingungen stets effektive technische und taktische Handlungen und Aktionen durchgeführt werden können (vgl. Verchoschanskij, 1987, S. 80). Schubert, Kirchgässner & Barth (1976, S. 419) beschreiben die Struktur der Zweikampfsportart Judo wie folgt:

„Das Ziel der sportlichen Auseinandersetzung der Judokas besteht darin, den Gegner im Rahmen vorgegebener Wettkampfregeln zu besiegen. Zur Realisierung dieses Zieles können verschiedene komplexe, zeitlich und räumlich strukturierte Handlungen angewendet werden, die in sich sehr schnell ändernden Kampfsituationen und unter hohen physischen und psychischen Belastungen ausgeführt werden müssen. Dabei ist der ständig wechselnde Widerstand des Gegners zu beachten, zu kontrollieren und für die eigenen Handlungen, die stets eine bestimmte Zielgerichtetheit aufweisen, zu nutzen. Jeder Judoka wird in relativ kurzer zeitlicher Aufeinanderfolge mit Gegnern konfrontiert, die sich in ihrer Kampfweise, ihrem technischen Repertoire und ihrer psycho-physischen Zustände grundlegend voneinander unterscheiden können.“

Mechling (1988) legte ein Klassifizierungsmodell der Sportarten vor, nach welchem vier Fertigungs- bzw. Aufgabentypen von Sportarten kategorisiert werden. Strukturiert werden diese nach der Bewegungsstruktur (zyklisch oder azyklisch), nach externen Ausführungsbedingungen (konstant oder variabel) sowie nach Anpassung und Verbindung (standardisierte Einzelbewegungen oder Kombinationen, Bewegungsvariationen oder Bewegungsauswahl). Judo gehört mit den anderen Kampfsportarten und den Sportspielen zum sogenannten Aufgabentyp vier. Dieser ist durch äußerst variable Umweltbedingungen gekennzeichnet und verlangt demnach die zielgerichtete Auswahl und Variation bereits beherrschter Einzelbewegungen oder Aufgabenkombinationen.

Unter dem Aspekt der Stabilität und Variabilität stellte schon 1975 Donskoi Überlegungen an, sportliche Bewegungen in drei Gruppen einzuteilen. Er unterschied Bewegungen mit stabiler kinematischer Struktur, welche durch eine vorgegebene Form mit vorgegebenem Charakter unter verhältnismäßig konstanten Bedingungen gekennzeichnet sind (z. B. Geräteturnen). Zur zweiten Gruppe gehören die Bewegungen mit einer stabilen dynamischen Struktur, die der Erreichung eines maximalen, quantitativ gemessenen Ergebnisses dienen (z. B. Leichtathletik). Die dritte Gruppe, zu welcher auch Judo zu zählen ist, ist durch Bewegungen mit einer hohen Variabilität charakterisiert, die einen hohen qualitativen Endeffekt unter wechselnden Bedingungen garantieren sollen.

Für Neumaier (1997, S. 183) steht aufgrund der hohen Komplexität von Zweikampfsportarten das Erkennen von Invarianten im Informationsfluss und das Zuweisen von Schlüsselsignalen für schnelle und richtige Entscheidungen im Vordergrund des Trainingsprozesses. Das bedeutet, dass der Sportler Alternativen zwischen verschiedenen prinzipiell richtigen und einsetzbaren konkurrierenden Techniken auswählen muss und zwar unter der Berücksichtigung der gegebenen Umweltbedingungen. Zu diesem Zweck müssen entsprechende Situationen geschaffen werden bzw. verschiedene Lösungswege für wiederkehrende Situationen beherrscht werden. Eine gute Antizipationsfähigkeit sowie das Beherrschen von Finten wirken sich positiv auf das Leistungsvermögen aus. Hirtz (1995) zweifelt die Existenz von Techniken an sich in den Kampfsportarten an. Er fordert, dass bereits von Anfang an Technikvariationen in Verbindung mit situationsadäquatem Lösen von Bewegungsaufgaben zu lernen sind.

Die Schnelligkeit kann in den Zweikampfsportarten nicht nur an Maximal- oder Idealwerten gemessen werden. Denn sie wird in höchstem Maße durch eine situations- und gegnerbezogene Optimierung bedingt. Es ist wichtig, zum richtigen Zeitpunkt schnell zu sein und gleichzeitig die korrekte Bewegung präzise und effizient anzusetzen. Auch Farfel (1977, S. 227) beschreibt diesen Zusammenhang:

„Je nach der Wettkampfsituation muss der Sportler in kurzer Zeit vielfältige Bewegungsaufgaben lösen. Von der Schnelligkeit und der Richtigkeit der Lösung dieser oder jener Aufgaben hängt der sportliche Erfolg ab.“

Neben der motorischen Schnelligkeit, als Gegenstand der vorliegenden Arbeit, beeinflussen weitere physische und psychische Leistungsanforderungen die Leistungsfähigkeiten eines Judoka wechselseitig. Diese Anforderungen sollen im folgenden Teil kurz vorgestellt werden, da im weiteren Verlauf der Arbeit des öfteren Bezug auf sie genommen wird.

5.1 Zum Anforderungsprofil der Zweikampfsportart Judo

Die Notwendigkeit der Erstellung eines Anforderungsprofils hat seinen Ursprung in der Ingenieur- und Arbeitswissenschaft. Denn um Leistungen zu optimieren, müssen die zur Handlungs- und Tätigkeitsbewältigung relevanten Anforderungen bekannt sein (vgl. Lange, 1997, S. 35). In einem Anforderungsprofil im Sport werden alle für eine bestimmte Sportart notwendigen und somit leistungslimitierenden Fähigkeiten und Fertigkeiten eingeordnet (vgl. Hahn, 1992, S. 33). Hohmann (1994, S. 84) spezifiziert dies noch weiter, indem er zwischen sportart-, geschlechts-, leistungs- und altersspezifischen Anforderungsprofilen unterscheidet. Ein Anforderungsprofil ist laut Hohmann eine

„normorientierte Zusammenstellung der zur Bewältigung der wettspielspezifischen Belastungen notwendigen physischen und psychischen Merkmale“.

Grenzt er sein Anforderungsprofil noch auf die Sportspiele ein, indem er von „wettspielspezifischen Belastungen“ schreibt, so kann man diesen Ausdruck ersetzend auch von einer sportartübergreifenden Definition sprechen.

Durch eine Analyse der Sportart im Hinblick auf die Wettkampfbestimmungen, der Handlungsziele und den sich verändernden Handlungsstrukturen wird das Anforderungsprofil erstellt (vgl. Kirchner, 1991, S. 98). Das Maß an Übereinstimmung der Leistung eines Athleten mit dem Anforderungsprofil der jeweiligen Sportart determiniert dessen Leistung. In diesem Zusammenhang stellt das Anforderungsprofil die Grundlage der Trainingssteuerung dar (vgl. Lange, 1997, S. 35). Gerade im Leistungsbereich der Sportarten ist es mangels Zeit und aus Gründen der Effizienz nicht möglich, Fähigkeiten und Fertigkeiten zu trainieren, welche auf die Leistung in der Sportart nicht limitierend wirken. Durch detaillierte Kenntnisse über das Anforderungsprofil und damit einer Analyse der tatsächlichen Anforderung der Wettkampftechnik an den Sportler wird der langfristige Trainingsprozess gesteuert, wodurch sich sinnvolle Trainingsinhalte ableiten lassen.

Das Anforderungsprofil einzelner Sportarten stellt in diesem Zusammenhang keine feste Größe dar, es ist vielmehr dynamisch, indem es sich an den Profilen von Weltspitzenathleten orientiert und gleichzeitig durch die Regeländerungen, welche die Attraktivität der Sportart, vor allem für die Medien, steigern soll, maßgeblich beeinflusst wird.

Wurden beispielsweise in den 30er Jahren im Judo die Kämpfe noch über drei mal fünf Minuten ausgetragen, so beträgt die Kampfzeit heute bei Männern fünf und bei den Frauen vier Minuten (vgl. Wolf, 1989). Derzeit wird über eine einheitliche Kampfzeit für Frauen und Männer von vier Minuten diskutiert. Diese Verkürzungen der Kampfzeit gründen auf der Überlegung, dass je kürzer die für den Kampf zur Verfügung stehende Zeit ist, desto rascher und eindeutiger muss gehandelt werden, um den Gegner zu besiegen. Wenn die Kampfzeit länger ist, nimmt die Handlungsdichte ab, der Athlet geht schonender mit seinen konditionellen Reserven um, die Folge davon sind weniger spektakuläre und schnelle Ansätze und damit eine sinkende Attraktivität für die Medien (vgl. Lehmann, 2000, S. 11).

Der Leistungsstruktur im Judo folgend, können verschiedene Anforderungen an das Leistungsniveau eines Judoka abgeleitet werden. Es handelt sich hierbei um Anforderungen aus vier größeren Bereichen, aus denen wiederum weitere Unterbereiche abgeleitet werden (mod. nach Lange, 1997, S. 35 ff):

1. Sportartspezifische physische Leistungsvoraussetzungen
2. Technik
3. Taktik
4. Psychische, mentale und soziale Voraussetzungen.

In Tabelle 1 werden die einzelnen Bereiche mitsamt ihrer Unterbereiche dargestellt. Auf eine detailliertere Darstellung wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, da primär die Schnelligkeit in ihrem Komplex angegangen werden soll.

Tabelle 1: Das Anforderungsprofil der Zweikampfsportart Judo (mod. nach Lehmann & Müller-Deck, 1989; Gold, 1998)

Sportartspezifische physische Leistungsvoraussetzungen		Technik/Koordination		Strategie/Taktik		Psychische mentale und soziale Leistungsvoraussetzungen	
Allgemeine konditionelle Leistungsvoraussetzungen	- Maximalkraft (MK) - Kraftausdauer - Grundlagenausdauer	Koordinative Fähigkeiten	- Differenzierungsfähigkeit - Anpassungs- und Umstellungsfähigkeit - Gleichgewichtsfähigkeit - Reaktionsfähigkeit	Informationsaufnahme	- Empfinden - Auswählen - Unterscheiden - Wahrnehmen - Erkennen	Situationsangemessenes Verhalten	
Spezielle technikgebundene Leistungsvoraussetzungen	- azyklische Schnellkraft - azyklische Schnelligkeit	Standtechniken	- Variationen - Automatisierung - Handlungskomplex	Informationsverarbeitung	- Vorstellen - Vergleichen - Antizipieren - Planen und Entscheiden	Zielstrebiges bedingungsloses Verhalten, Vorbehaltlosigkeit	
Komplexe wettkampfadäquate Leistungsvoraussetzungen	- Schnellkraftausdauer - Schnelligkeitsausdauer - Maximalkraftausdauer - Ausdauernde Schnelligkeit/Schnellkraft - Wettkampfausdauer - Turnierausdauer	Bodentechniken	- Variationen - Automatisierung - Handlungskomplex	Informationsspeicherung	- Einprägen - Behalten - Wissen - Erfahrung	Stabiles Verhalten	
				Agierendes Verhalten	- Ausforschung - Tarnung - Manöver	Originelles Verhalten	
				Situative Entscheidungen	- Ausforschung - Tarnung - Manöver	Kommunikations- und Kooperationsbereitschaft	
				Resultative Entscheidungen		Fähigkeit zur Antizipation	

5.2 Die Schnelligkeit im Judo

Die Schnelligkeit wird, wie dem Anforderungsprofil zu entnehmen ist, den sportartspezifischen physischen Leistungsvoraussetzungen zugeordnet. Wenn man die Schnelligkeit jedoch unter dem Aspekt der Koordination und damit die informationsverarbeitenden Prozesse hinzu zählt, so wird deutlich, dass die Schnelligkeit, insbesondere unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster auch durch die Bereiche Technik/Koordination sowie Strategie/Taktik bestimmt wird. Diese Zusammenhänge sollen im Folgenden beschrieben werden.

Im Judo ist das Tempo der Kampfactionen, sowie das schnelle Erfassen und Reagieren auf die Angriffs- und Verteidigungsaktionen des Gegners bei Zunahme der Handlungsdichte ein immer bedeutsamer werdender Faktor für den sportlichen Erfolg. In diesem Kapitel wird die Kampfhandlung als spezifisches Situationslösungsverfahren vorgestellt, da sich in dieser motorischen Funktionseinheit die Schnelligkeit in besonderem Maße äußert. Im weiteren Verlauf der Arbeit soll geklärt werden, wo und wie sich die Schnelligkeit innerhalb einer Kampfhandlung darstellt und limitierend auf die Gesamtleistung wirkt.

5.2.1 Die Kampfhandlung im Judo und ihre Zuordnung zur Schnelligkeit

Das Ziel der sportlichen Auseinandersetzung besteht im Judo darin, den Gegner durch das Anwenden von wirksamen Kampfhandlungen zu besiegen (vgl. Schubert et al., 1976, S. 419). Somit kommt den Kampfhandlungen eine Schlüsselstellung im Judo zu, welche es gesondert zu betrachten gilt.

Von Interesse sind im Rahmen dieser Arbeit die Kampfhandlungen im Stand, da die Kampfhandlungen am Boden in ihrer Wirkung nicht in erster Linie von der Schnelligkeit als vielmehr von der Beharrlichkeit, der Präzision und der Kontrolle beeinflusst werden.

In diesem Kapitel wird auf die Struktur von Kampfhandlungen im Judo eingegangen und dieser Struktur folgend werden die limitierenden Schnelligkeitsfähigkeiten den einzelnen Phasen zugeordnet.

5.2.1.1 Die Struktur einer Kampfhandlung im Judo

In der einschlägigen Literatur wird unter einer Kampfhandlung eine Funktionseinheit verstanden, welche Verbindungen von psychischen, technisch-koordinativen und energetisch-konditionellen Prozessen beinhaltet (vgl. Lehmann, 1997, S. 12). Lehmann (2000, S. 113) spezifiziert dies weiter, indem er Kampfhandlungen im Judo als Situationslösungsverfahren beschreibt, die in der Auseinandersetzung mit dem Gegner unter hoher und höchster Belastung eingesetzt werden können.

Wesentlich hierfür sind die sensomotorischen Verarbeitungssysteme. Diese implizieren sowohl die Aufnahme von Reizen aus der Umwelt, die bewusste oder unbewusste Verarbeitung von Informationen und Erfahrungen, sowie die Bewegungsausführung und deren bewusste Widerspiegelung (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 16). Dabei wird der Ablauf einer Kampfhandlung durch informationelle Prozesse (antriebs-, handlungs-, bewegungssteuernde Impulse) in Gang gesetzt (vgl. Lehmann, 2000, S. 113).

Eine Kampfhandlung wird zeitlich aufgegliedert. Bei dieser Aufgliederung kommt es zu einer Einteilung in vier Phasen (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1987, S. 115):

1. Phase: Herbeiführung bzw. Nutzung einer durch den Gegner geschaffenen handlungsrelevanten Situation.
2. Phase: Wahrnehmung und Analyse der Situation.
3. Phase: Entscheidungsfindung.
4. Phase: motorische Realisierung von Angriffs- oder Verteidigungsaktionen im Stand (oder Boden).

Entscheidend für die Wirksamkeit einer Kampfhandlung ist, wie bereits oben beschrieben, das situationsadäquate Handeln. Dies bedeutet, dass der Sportler befähigt sein soll, die Kampfsituationen wahrzunehmen, zu analysieren und zum richtigen Zeitpunkt über den Einsatz der der Situation entsprechenden passenden Handlung, die Autoren verwenden den Begriff Handlungsprogramm, zu entscheiden (vgl. Lehmann & Härtig, 1985, S. 193).

In der Abbildung 3 werden diese Zusammenhänge durch drei übergeordnete Schemata dargestellt. Im Gedächtnis, nach dem bisherigen Stand der Forschung in den Assoziationsfeldern des motorischen Cortex, werden die Handlungsprogramme gespeichert. Über die Auswahl und Entscheidung, welches Programm zum Einsatz kommt, ist bedingt durch die Wahrnehmung und Analyse der Kampfsituation, entscheiden die sensorischen, kognitiven und volitiven Leistungsvoraussetzungen. Die direkte Wirksamkeit der Aktion wird schließlich durch die motorische Lösung der Kampfsituation bestimmt, in welche die taktischen, technisch-koordinativen, konditionellen sowie volitiven und konstitutionellen Leistungsvoraussetzungen einfließen.

Unter einem Handlungsprogramm wird dabei die motorische Realisierung der kompletten Angriffs- oder Verteidigungsaktion verstanden, in erster Linie also die Anwendung einer wurftechnischen Bewegung im Sinne einer Angriffshandlung.

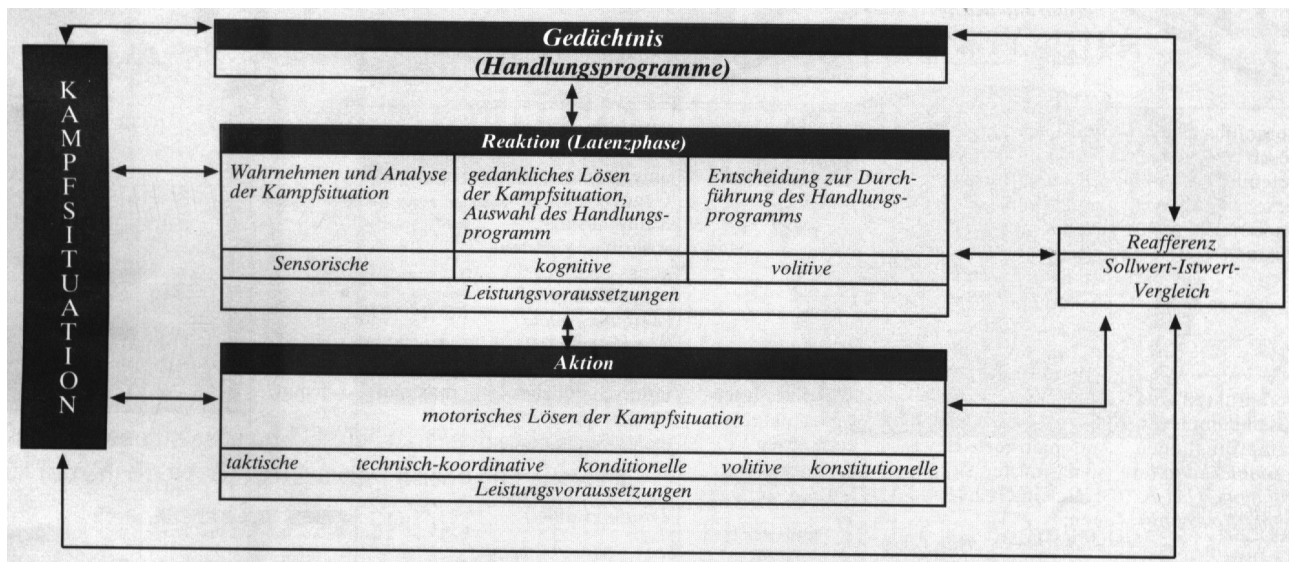


Abbildung 3: Der Ablauf einer Kampfhandlung (aus: Lehmann, 1997, S. 13)

Diesen Phasen werden nun die Schnelligkeitsfähigkeiten, die für das Judo relevant sind, einem pragmatischen Ansatz folgend, zugeordnet. Folgende reine Schnelligkeitsfähigkeiten wirken sich limitierend auf die sportliche Leistung im Judo aus:

- a) die Reaktionsschnelligkeit,
- b) die azyklische Aktionsschnelligkeit,
- c) die Schnellkraft

Diese werden im folgenden Teil den einzelnen Phasen einer Kampfhandlung zugeordnet.

5.2.1.2 Die Reaktionsschnelligkeit innerhalb einer Kampfhandlung

Die Reaktionsschnelligkeit ist bei der Informationsaufnahme durch den optischen, akustischen und kinästhetischen bzw. taktilen Analysator wichtig (vgl. Lehmann & Härtig, 1985, S. 193). Denn ein Judoka kann einerseits die Bewegung seines Gegners über das Empfinden von Druck oder Zug spüren oder er kann Bewegungen sehen, beispielsweise dann, wenn der Gegner seine Beine oder die Hüfte bewegt. Der akustische Analysator hat im Judo eine untergeordnete Bedeutung. Er spielt allenfalls im Judo mit Blinden oder beim Coaching durch den Trainer während des Kampfes eine Rolle.

Die Reaktionsschnelligkeit wird den Phasen eins bis drei einer Kampfhandlung zugeordnet. Sie ist insofern von Bedeutung, als dass die bestehende Situation frühzeitig erkannt werden muss und daraufhin das schnelle situationsadäquate Reagieren notwendig ist, noch bevor die Situation nicht mehr nutzbar ist (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 296).

Im Judo wird unter situativen oder taktischen Gesichtspunkten zwischen zwei Bedingungen unterschieden (vgl. Barth, Kirchgässner & Schubert, 1978, S. 759). Dabei handelt es sich um das „Situation schaffen“ und das „Situation nutzen“.

Beim „Situation schaffen“ (Agieren durch), kombiniert der Athlet taktische und technische Handlungen, um den Gegner in eine für ihn günstige Situation zu bringen. Für die Reaktionsschnelligkeit ist das „Situation nutzen“ (Reagieren auf) von Bedeutung. Der Judoka lernt, bestehende Situationen unmittelbar zu nutzen und mit adäquaten Lösungen möglichst schnell zu reagieren (vgl. Held, 1996, S. 13).

Ein Aspekt der Reaktionsschnelligkeit ist die Latenzzeit. Physiologisch gesehen wird die Latenzzeit durch die Zeitspanne definiert, die vom Auftreffen des Nervenreizes auf den Muskel bis zur Muskelkontraktion vergeht und wird durch die Verzögerung erklärt, die durch die Übertragung von Acetylcholin auf die Muskelfaser entsteht. Die Reaktionszeit impliziert daher die Latenzzeit und wird durch die Dauer vom Setzen eines Signalreizes bis zur adäquaten Muskelkontraktion definiert. Die Reaktionsschnelligkeit schließlich setzt sich zusammen aus der Wahrnehmungsphase, der afferenten Leitungsphase, der Informationsverarbeitungsphase, der efferenten Leitungsphase und der Latenzphase (vgl. Grosser & Zimmermann, 1992, S. 376).

Die Reaktionsschnelligkeit setzt sich aus der Phase des Wahrnehmens und der Analyse der Kampfsituation, des gedanklichen Lösens der Kampfsituation und der Entscheidung zur Durchführung des Handlungsprogramms zusammen.

Kirchgässner (1981, S. 587) weist ausdrücklich darauf hin, dass das Leistungsniveau im Judo maßgeblich durch die Fähigkeit der Sportler, gegnerische Aktionen frühzeitig zu erkennen und mit eigenen Aktionen schnell zu reagieren, determiniert wird.

In diesem Zusammenhang kommt der komplexen Antizipation nach Strautzenberg, Gürtler, Hannemann & Tittel (1990, S. 550) eine nicht unerhebliche Rolle zu. Der Sportler analysiert hiernach aufgrund von Erfahrungen kontinuierlich die jeweilige Kampfsituation und nimmt die nächste Handlung des Gegners vorweg. Auf diese Weise kann die Reaktionszeit wesentlich verbessert werden, da die zweite Phase der Kampfhandlung sich verkürzt. Indem der Judoka zudem über die sogenannte Programmantizipation verfügt, d. h. aus vorangehenden Erfahrungen ahnt, welches motorische Programm er auszuwählen hat, kann er die Phase drei, die Entscheidungsfindung, verkürzen oder im besten Falle ausschalten. Denn in diesem Falle hat sich der Sportler auf gewisse Bewegungen des Gegners bereits eine passende Antwort in Form eines Handlungsprogrammes zurecht gelegt, welches im weiteren Verlauf dann reflexartig angewandt wird. Es kommt zu einem gewissen „Lösungsautomatismus“ (vgl. Müller-Deck, 1987, S. 106).

Die vierte Phase einer Kampfhandlung birgt schließlich die motorische Komponente und soll im Folgenden aufgezeigt werden.

5.3 Die motorische Komponente der Kampfhandlung: die Phasen eines Judowurfes

Im Judo gibt es bereits durch die Überlieferung des Sports aus Japan eine traditionelle Einteilung der wurftechnischen Handlungen in drei Phasen (vgl. Abb. 4). Demnach ist ein Judowurf eine motorische Funktionseinheit, die durch eine typische zeitliche und dynamische Aufeinanderfolge von einzelnen Phasen charakterisiert ist (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 46).

Kuzushi (Gleichgewichtbrechen) ® Tsukuri (Wurfansatz) ® Kake (Niederwurf)

Abbildung 4: Die drei Phasen eines Judowurfes nach vorn

Diese traditionell überlieferten Phasen eines Judowurfes existieren unabhängig von einer bestimmten Wurftechnik. Sie verweisen auf Prinzipien bzw. auf bestimmte Funktionen, die im weiteren Verlauf der Arbeit noch erklärt werden. In diesem Sinne handelt es sich um Funktionsphasen. Diese gliedern eine Bewegung dahingehend, dass das, was in der Gliederung herausgehoben wird, eine bestimmte Funktion in bezug auf das Bewegungsziel hat und zudem zeitlich abgrenzbaren Abschnitten zugeordnet werden kann (vgl. Göhner, 1992, S. 126). Damit verfolgt jede Phase ein bestimmtes Ziel. Sie sind sozusagen das „Mittel zum Zweck“. Die Funktionsphasen im Judo können zunächst wie folgt beschrieben werden.

Das Kuzushi, häufig durch Zug- und Druckbewegungen mit den Armen eingeleitet, dient dem Brechen des Gleichgewichts des Gegners, im Tsukuri erfolgt ein Platzwechsel, meistens eingeleitet durch Körperachsendrehungen und Positionswechsel der Beine, mit dem Ziel, sich in die richtige Position für einen Wurfansatz zu bringen. Im Kake schließlich, dem letzten Teil eines Wurfes, wird der eigentliche Niederwurf ausgeführt.

Im modernen Wettkampfbudo zeigt sich eine zunehmende Verschmelzung dieser drei Phasen einer wurftechnischen Bewegung. Bei den sogenannten Techniken nach vorne (Uchi-Mata, Seoi-Nage), bei denen der Gegner in Richtung der eigenen Zehenspitzen geworfen wird, wird diese „traditionelle“ Einteilung im räumlich-zeitlichen Verlauf weitestgehend eingehalten.

Wurftechniken, bei denen der Gegner nach hinten geworfen wird, weisen eine andere Struktur auf (O-Uchi-Gari, O-Soto-Gari). Hier kommt es zu einer Austausch der Phasen Gleichgewichtbrechen (Kuzushi) und Platzwechsel, oder Wurfansatz (Tsukuri). Wird der Gegner vor dem Platzwechsel nach hinten gedrückt, so entfernt sich sein Körperschwerpunkt vom Gegner, dieser hat nun einen weiteren Weg für den Platzwechsel zurück zu legen, welches sich ungünstig auf die Geschwindigkeit der Bewegung und damit auf die Erfolgsaussichten des Angriffs auswirkt. Es wird folglich eine andere Strategie verfolgt.

Der Beginn einer Wurftechnik erfolgt entweder zuerst durch den Platzwechsel, bei welchem der Angreifer seinen eigenen Körperschwerpunkt und seine unteren Extremitäten weit unter den Gegner bewegt. Häufig werden hierbei die Beine hinter den Gegner gestellt, erst danach folgt die Armdruckbewegung, durch welche der Verteidiger zu Fall gebracht wird. In Abbildung 5 wird diese unterschiedliche Phasenstruktur anschaulich gemacht.

Tsukuri (Wurfansatz) ® Kuzushi (Gleichgewichtbrechen) ® Kake (Niederwurf)

Abbildung 5: Die drei Phasen einer Wurftechnik nach hinten

Recherchen haben ergeben, dass in der Literatur bislang wenig zur Schnelligkeit im Judo veröffentlicht wurde. Trotzdem soll im nächsten Abschnitt ein kurzer Überblick über den Stand der Forschung zur Schnelligkeit im Judo gegeben werden.

5.4 Beiträge zur Schnelligkeit aus der judospezifischen Literatur

Zur Schnelligkeit im Judo gibt es nur sehr wenig wissenschaftlich relevante Beiträge. Sie wird zwar stets als sehr wichtig in der Leistungsstruktur eines Judoka erachtet, was auch durch eigene Interviews mit Spitzentrainern belegt wurde (vgl. Gold, 1997). Exakte Hinweise zum Training oder zu den Erscheinungsformen der Schnelligkeit im Judo existieren aber nur vereinzelt. Viele der Untersuchungen zur Schnelligkeit im Judo, die in den Datenbanken von SPOLIT und SPOWIS archiviert sind, beziehen sich auf die Reaktionsschnelligkeit und weniger auf die motorischen Komponenten der Schnelligkeit.

Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit von Zukovski (1978), der die Abhängigkeit der sportlichen Leistung eines Judoka von der Reaktionszeit maß. Er kommt zum Ergebnis, dass leistungsstärkere Athleten kürzere Reaktionszeiten aufweisen als Schwächere. Weiter sei die Reaktionszeit entscheidend für das Erreichen guter Ergebnisse.

Einzelne wissenschaftliche Untersuchungen zur Leistungsstruktur im Judo weisen auf die große Bedeutung der Schnelligkeit im Judo hin.

Nikiforov (1988) untersuchte die Faktorenstruktur des körperlichen Trainingszustandes junger Judoka. Er stellte dabei fest, dass der spezielle körperliche Trainingszustand durch vier Faktoren bestimmt wird. Diese sind die spezielle Ausdauer, die Stabilität des Nerven-Muskel-Apparates sowie der Kraft- und Schnellkraftzustand und die Schnelligkeit.

In einem Großteil der judospezifischen Literatur gehen die Hinweise zur Schnelligkeit im Judo nicht über Zitate aus der trainingswissenschaftlichen Standardliteratur hinaus. Trainingshinweise bestehen häufig undifferenziert aus der

Forderung nach explosive Wurfserien (vgl. Beissner & Birod, 1978). Zudem werden vielfach allgemeine Trainingsmittel wie Sprints empfohlen.

Lehmann & Ulbricht (1994, S. 186) beschreiben, dass in den entscheidenden Phasen einer judosportlichen Technik das explosive Anreißen des Gegners im Kuzushi (erste Phase eines Wurfes mit dem Ziel des Gleichgewichtbrechens), sowie ein explosives Strecken der Beine beim Niederwurf wichtige Voraussetzungen für eine hohe Wirksamkeit der Technik darstellen. Des Weiteren verweisen die Autoren auf den Zusammenhang von Genauigkeit und Schnelligkeit. Sie fordern, dass ein Schnelligkeitstraining nur auf der Grundlage von Genauigkeitsanforderungen effektiv ist, weil

„schnelle, aber ungenaue Bewegungen im Wettkampf nicht zum Erfolg führen.“

(Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 186).

Als ein Standardwerk in der deutschsprachigen Literatur zum Judo gilt das Werk von Lehmann & Müller-Deck (1989). Lehmann & Müller-Deck (1989, S. 297ff) ordnen die Schnelligkeit gemeinsam mit der Schnellkraft den speziellen technikgebundenen konditionellen Leistungsvoraussetzungen zu. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie stets zielgerichtet in Verbindung mit spezifischen Trainingsmitteln trainiert werden.

Die Autoren erläutern, dass es durch ein wurftechnikgebundenes schnelligkeitsorientiertes Training zu einer Aktivierung derjenigen motorischen Einheiten in den beteiligten Muskelgruppen kommt, die bei der jeweiligen Bewegungsausführung limitierend wirken. Hierbei soll es zu der Herausbildung eines Erregungsschemas kommen, welches eine Automatisierung der betreffenden Bewegung, einschließlich der dabei erforderlichen Kräfteinsätze, bewirkt.

Es können hieraus Hinweise für die Existenz von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern interpretiert werden. Dies betrifft nach Lehmann & Müller-Deck (1989, S. 307) offensichtlich vor allem das schnellkräftige Anreißen des Partners zu Beginn einer wurftechnischen Bewegung.

In einem neueren Werk verfolgt Lehmann (2000) einen stark energetisch-konditionell determinierten Zugang zur Schnelligkeit und geht dabei streng von den Leistungsanforderungen im Wettkampf aus. Denn gerade im Judo, als einer Sportart mit direktem Griffkontakt zum Gegner werden intensivste Beanspruchungen des Muskelstoffwechsels beobachtet (13,4 – 14,2 mmol/l Laktat). Durch die Verbesserung der verschiedenen konditionellen Anforderungen arbeiten alle Systeme ökonomischer, d. h. für die gleiche Leistung sinkt auch der energetische Aufwand.

Dabei betont der Autor, dass, aus konditioneller Sicht betrachtet, ein Training vorwiegend der anaerob-laktaziden Voraussetzungen den Leistungsanforderungen in der Wettkampfsituation nicht entspreche. Deshalb werde in der Trainingspraxis der Verbesserung der alaktaziden Voraussetzungen nur ungenügend Beachtung

geschenkt. In diesem Zusammenhang wird der Begriff der ausdauernden Schnelligkeit/Schnellkraft geprägt. Dieser wird definiert als die

„Widerstandsfähigkeit gegenüber Ermüdung innerhalb einer begrenzten Wettkampfzeit bei kurzzeitigen, wiederholt bzw. in intervallartiger Folge durchgeführten schnellen und schnellkräftigen Aktionen“ verstanden.“

(Lehmann, 2000, S. 36f)

Aus physiologischer Sicht ist diese Fähigkeit von der Rekrutierungsrate der FT-Fasern und auf der anderen Seite von der Qualität neuromuskulärer Steuer- und Regelprozesse abhängig.

Bezüglich der Trainingsplanung müsse zwischen einem Training der Schnelligkeit/Schnellkraft, der Entwicklung der ausdauernden Schnelligkeit/Schnellkraft und der Verbesserung der Schnellkraftausdauer unterschieden werden. Hier schlägt Lehmann (2000, S. 36) ein hierarchisches System vor, wonach die Schnelligkeit/Schnellkraft die Basis für die ausdauernde Schnelligkeit/Schnellkraft sei und diese wiederum die Voraussetzung für die Schnellkraftausdauer wäre.

Ein Training der ausdauernden Schnelligkeit/Schnellkraft soll zu einer Verbesserung von koordinativen und technisch-taktischen Leistungsvoraussetzungen in Verbindung mit einer Verbesserung der anaerob-alkalotoleranten Kapazität führen (vgl. Lehmann, 2000, S. 37).

Allerdings gab es, vor allem in der ehemaligen DDR, Forschergruppen, die sich mit schnellen Zugbewegungen im Judo beschäftigten. Die nur zum Teil veröffentlichten Ergebnisse sollen im folgenden Abschnitt vorgestellt werden.

5.5 Untersuchungen mit dem Armkraftzugerät (AKZ)

Neben dem Armkraftzugerät wurden in der Vergangenheit weitere sowohl dynamometrische als auch kinemetrische Messverfahren verwendet, um die Struktur der Technikübungen durch objektive Kennwerte weiter aufzuhellen. Wesentliche Ziele dieser Untersuchungen waren die Erfassung biomechanischer Kenngrößen wie Anrissgeschwindigkeit, Anrisskraft, die dazugehörigen Werte der KSP-Weg-Zeit-Verläufe, Winkelverläufe sowie Ortsparameter der Füße, Schulter, Hand, Knie und Ellbogen. Zunächst werden im Überblick die kinemetrischen Messverfahren vorgestellt. Es folgt eine Vorstellung der dynamometrischen Messverfahren bevor etwas ausführlicher auf das Armkraftzugerät eingegangen wird.

5.5.1 Kinemetrische Messverfahren

Als wesentliche Reserve, um eine zunehmende wissenschaftstheoretische Fundierung der Messmethoden zu erreichen gelten für Nowoisky (o. J., S. 12) die

videotechnischen Messsysteme. In erster Linie muss hier das 1- oder 2-Kamera-Verfahren genannt werden. Hiermit können indirekt Geschwindigkeiten sowie KSP-Verläufe ermittelt werden. Durch objektivierte Rechenvorschriften ist auch die Ermittlung weiterer biomechanischer Kenngrößen möglich (z. B. Beschleunigung, Teilgeschwindigkeiten, Kräfte).

Ein weiteres Element stellt die Speedometrie dar. Um den Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf ermitteln zu können wird ein Tachogenerator eingesetzt, welcher die proportionalen Spannungssignale abgibt. Gekoppelt mit einem Rückholssystem und den im Kraftraum häufig anzutreffenden Seilzugeräten werden Anrissbewegungen simuliert. Ausgestattet mit einer entsprechenden Software ist es möglich, die folgenden Parameter zu ermitteln:

- maximale Anrissbeschleunigung.
- Anrisskraft und Anrissleistung.
- Mittlere Anrisskraft.
- Anrissleistung.
- Zeitintervall bis zum Erreichen der maximalen Anrisskraft.

Um die reaktive Widerstandswirkung eines Gegners zu simulieren, wurde ein weiteres Seilzugerät entwickelt, welches über einen Rotationsmechanismus verfügt, der eine geschwindigkeitsabhängige Widerstandsregulierung ermöglicht (vgl. Nowoisky, o. J., S. 9ff).

Als drittes Gerät in diesem Bereich gilt das Armkraftzugerät, welches jedoch in einem eigenen Kapitel vorgestellt wird.

5.5.2 Dynamometrische Messverfahren

Eine dreidimensionale Kraftplattform, versehen mit Piezokristallen ermöglicht die Erfassung von horizontal und vertikal wirkenden Bodenreaktionskräften. Dies kann der Objektivierung der einwirkenden Kräfte sowohl bei der Gleichgewichtsbrechung als auch beim Platzwechsel dienen. Aus diesem Grund werden solche Messsysteme vorrangig in Verbindung mit weiteren z. B. kinematischen Verfahren verbunden.

Ein Hubkraftmessgerät dient der Erfassung von isometrischen und dynamometrischen Kräften. Als Kraftsensoren dienen Halbleiter-Dehnmessstreifen auf Formmetall (vgl. Nowoisky, o. J., S. 11). Auf handelsüblichen Kraftmaschinen werden hier Judotechniken imitiert.

Die meisten Tests in diesem Bereich wurden mit dem am Institut für angewandte Trainingswissenschaft (IAT) entwickelten Armkraftzugerät durchgeführt. Aus diesem Grund wird auf dieses Messsystem etwas näher eingegangen.

5.5.3 Das Armkraftzuggerät (AKZ)

Einzelne wissenschaftliche Untersuchungen von Nowoisky (1991) befassten sich mit der Anrisskraft in der Kuzushiphasse, also der Phase in welcher zu Beginn des Wurfes das Gleichgewicht des Gegners gebrochen werden soll. Hierzu wurde ein spezielles Armkraftzuggerät (AKZ) entwickelt, welches der Objektivierung der Anrisskräfte bei Technik- und Technikteilbewegungen von Würfeln dient. Das AKZ ist dadurch charakterisiert, dass eine Masse in Rotation versetzt wird, welche einen Trägheitswiderstand erzeugt. Dieses Trägheitsmoment J wird als Masse des Gegners ohne dessen reaktiven Widerstand interpretiert und kann der Gewichtsklasse entsprechend eingestellt werden. Um die biomechanischen Kenngrößen zu ermitteln wird ein Tachogenerator eingesetzt, der die zum Geschwindigkeitsverlauf proportionalen Spannungssignale abgibt.

Der Armkraftzug-Messplatz ist ein spezieller Schnellkrafttest welcher der Ermittlung der Geschwindigkeiten und Kräften bei der Ausführung von Anrissübungen und Würfeln dient. Dabei wird die Anrisskraft über Zugseile direkt auf das Gerätesystem übertragen. Auf dieser Basis werden die judospezifischen Kraftfähigkeiten eingeschätzt.

Bislang wurden bei der Verwendung des AKZ modifizierte Anrissbewegungen untersucht, die an der Realisierung der wurftechnischen Gesamtbewegung beteiligt sind. Ebenfalls wurde die Ausführung ausgewählter Spezialwurftechniken betrachtet. Erwartet wurden Aussagen über die Fähigkeitskomplexe Kraft, Schnelligkeit und Bewegungsharmonie beim Anriss und Hinweise, welche Bedeutung diese analysierten Fähigkeiten im Zusammenhang mit der Struktur wurftechnischer Gesamtbewegungen und mit der Kampfauslage der Athleten haben.

Die Zielstellung der im Folgenden darzustellenden Untersuchung an 28 Judoka unterschiedlichen Leistungsniveaus bestand darin, auf der Grundlage von F_{max} (Maximalkraft), v_{max} (maximale Geschwindigkeit), $t_{F_{max}}$ (Zeitraum bis zum Erreichen von F_{max}), $t_{v_{max}}$ (Zeitraum bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit) und F_{mitt} (mittlere Kraft) die speziellen Kraftfähigkeiten, v.a. die Schnellkraftfähigkeiten in Abhängigkeit von verschiedenen Teil- und Gesamtbewegungsabläufen zu objektivieren (vgl. Nowoisky, 1991). Gleichzeitig sollte unter der Berücksichtigung der bevorzugten Kampfauslage geklärt werden, ob und welche Abhängigkeiten zwischen den absolvierten Technikübungen zur linken und zur rechten Ausführungsform bestehen.

Hinsichtlich der Vergleiche des einarmigen und beidarmigen Armzuges rechts und links in der Rechts- und Linksauslage wurden kaum signifikante Unterschiede in der Kraftübertragung gefunden. Dies scheint ein Indiz für einen grossen Übertragungsgrad zu sein, der auch für die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster postuliert wird. Bei den Männern sind die Kraftwerte in der Rechtsauslage etwas größer. Als Ursache hierfür wird ein erhöhter Spezialisierungsgrad vermutet.

Die meisten Athleten waren ausserdem nicht in der Lage, die bei den Teilübungen „Beidarmiger Anriss (rechts und links)“ erzielten Kraftwerte in der Technikübung „Tai-Otoshi“ (ein Handwurf, bei welchem der Gegner über das Bein des Angreifers nach vorne geworfen wird) zu wiederholen bzw. zu übertreffen. Für diesen mangelnden Utilisierungsgrad wurden folgende Ursachen diskutiert:

- a) Koordinationsprobleme (Platzwechselschwierigkeiten, Wurfansatzprobleme)
- b) Mangelnde Kraftübertragung in der ersten Kuzushiphase.
- c) Die schlechte kontinuierliche Kraftübertragung in der Eindrehphase gilt auch als Ausdruck einer mangelhaft entwickelten Fähigkeit der Kraftübertragung über die Arm- und Rumpfmuskulatur. Die Wurfausführung erfolgt nicht mit der notwendigen Nachhaltigkeit.

Nowoisky (1991, S. 18) beschreibt als Anforderung für die erste Anrissphase (1. AP), dass die biomechanischen Kennwerte F_{max} als maximal momentan wirkende Beschleunigungskraft und t_{Fmax} als Dauer bis zur maximalen Kraftentfaltung F_{max} groß bzw. klein sein sollen. Der Autor beschreibt ausserdem eine 2. und 3. Anrissphase (2. AP und 3. AP), die der Phase des Platzwechsels, also dem Beginn der Eindrehbewegung und dem Beginn der Niederwurfphase, wenn Uke abgehoben wird, entsprechen. Nowoisky (1991) bezieht sich jedoch ausschließlich auf die Kontinuität der Anrissbewegung.

Die folgende Abbildung zeigt einen Graphen, der die Dynamik der Anrissbewegung darstellt.

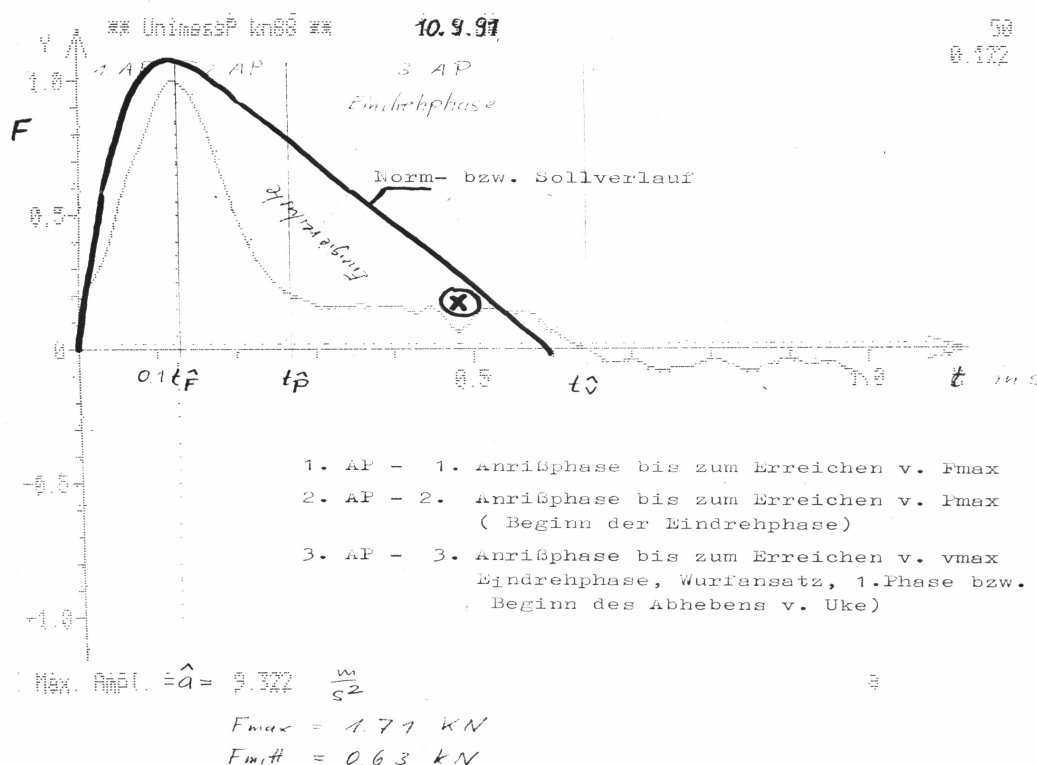


Abbildung 6: Exemplarische Darstellung einer Anrissbewegung bei Verwendung des Armkraftzugerätes (aus: Nowoisky & Wolf, 1991)

Nowoisky & Wolf (1991) beschreiben die 1. Anrissphase des getesteten Athleten als explosiv und kraftvoll, es wurden keine Rhythmusstörungen im Bewegungsablauf gefunden. Allerdings wurde die Zeit bis zum Erreichen von F_{max} als zu lang bewertet. In der 2. Anrissphase zeigt die schraffierte Linie die Abweichung vom Sollverlauf, was als Energieverlust bezeichnet wurde. Die Kraftwirkung war in dieser Phase zu gering. Bei \otimes wurde in der dritten Anrissphase eine leichte Rhythmusstörung im Platzwechsel und Wurfansatz gefunden. Die Kraftwirkung erfolgte nicht nachhaltig genug.

Nowoisky (1991, S. 18) fordert für die zweite und dritte Anrissphase, dass der biomechanische Parameter v_{max} , als maximale Anrissgeschwindigkeit sehr groß ist. Die Dauer der Kraftwirkung bis v_{max} (t_{vmax}) soll klein sein. Die mittlere Anrisskraft (F_{mitt}), welche die Nachhaltigkeit des Krafteinsatzes im gesamten Bewegungsablauf beschreibt, und damit indirekt die Fähigkeit der Energieübertragung auf den Gegner bzw. auf das AKZ kennzeichnet, soll ebenfalls gross sein. Nowoisky (1991, S. 19) formuliert in diesem Zusammenhang folgende Regel:

„Je größer die Anrisskraft ist, um so größer ist die Geschwindigkeit, und je größer die Geschwindigkeit ist, um so größer ist die kinetische Energie (Bewegungsenergie), die auf den Uke übertragen wird.“

(Nowoisky, 1991, S. 19)

Nowoisky (1997, S. 154) berichtet von wissenschaftlichen Projekten, die der Erforschung und Analyse von dreidimensionalen Bewegungen im Judo dienen. Hierbei bedienen sich die Bewegungsanalytiker immer häufiger der Methode der Modellierung und Simulation. Eine Beschreibung dieser Methode würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, weshalb lediglich erste experimentelle Ergebnisse vorgestellt werden sollen.

Es wurden die Bewegungssequenzen eines Schulterwurfes mehrfach wiederholt, wobei in Echtzeit dreidimensionale Bewegungsspuren anthropometrischer Punkte, Bodenreaktionskräfte und elektromyographische Ableitungen interessierender Muskelgruppen gemessen wurden.

Die folgende Abbildung zeigt in diesem Zusammenhang den Anrisskraftverlauf und das Elektromyogramm des rechten und linken M. Biceps Brachii bei einem Seoi-Nage (Schulterwurf). Überraschenderweise findet sich im EMG des rechten Armbeugers ein steilerer Aktivitätsverlauf. Allerdings ist hierzu eine entsprechende Interpretation nicht möglich, da der Autor die genaue Methode nicht beschreibt.

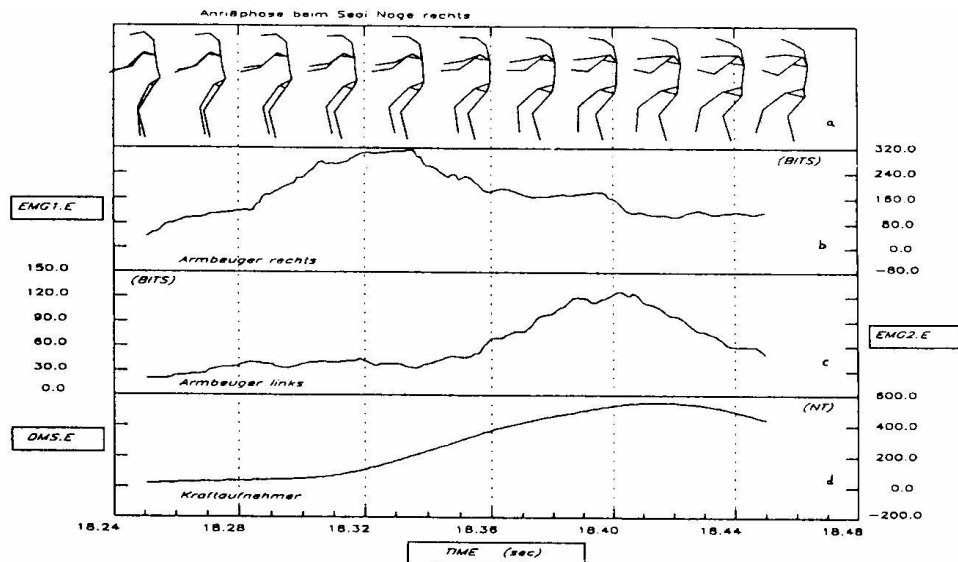


Abbildung 7: Der Anrisskraftverlauf und das Elektromyogramm bei einem Seoi-Nage (aus: Nowoisky, 1997, S. 157)

Am AKZ wurden ebenfalls Untersuchungen durchgeführt, bei welchen der Gegner sich mit einer KSP-Geschwindigkeit von 3 m/s nach hinten bewegt. In den folgenden Tabellen werden die Werte eines ausgewählten Probanden vorgestellt.

Tabelle 2: Ausgewählte Parameterwerte bei t_0 in Abhängigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit des KSP v_{KSP} der Modellmasse (Modellmasse $m_g = 136$ kg, Ausgangskippwinkel $\beta_{KSP} = -33^\circ$)

Ausgangsgeschwindigkeit des KSP der Modellmasse v_{KSP} in m/s	Beginn der instabilen Körperlage bei t_0 in ms	Kraftmoment bei t_0 $M_A(t_0)$ in Nm	KSP-Geschwindigkeit bei t_0 : $v_{KSP}(t_0)$ in m/s
-3,5	660	0	2,1
-3,0	470	1200	3,5
-2,0	320	1480	5,1
-1,0	250	2600	6,5
0,0	220	5400	7,2
+1,0	180	8300	7,2
+1,5	170	8800	7,3

Es wird davon ausgegangen, dass ein Spitzenjudoka ca. 400 bis 600 ms benötigt, um auf die Anrisskraft des Gegners zu reagieren und Verteidigungskräfte aufzubauen (Nowoisky, o. J., S. 8). Folglich muss die Anrissbewegung zeitlich möglichst weit davor liegen. Es müssen, wie schon mehrfach betont wurde, grosse Anrisskräfte in möglichst kurzer Zeit realisiert werden. Die Werte aus Tabelle 2

zeigen, dass dies bei diesem Probanden noch selbst dann noch möglich ist, wenn der Gegner sich mit 3,0 ms nach hinten bewegt. Denn der Kippzeitpunkt, also der Moment, an welchem die instabile Gleichgewichtslage erreicht ist, tritt nach 470 ms ein. Je schneller sich der Gegner jedoch in die Zugrichtung des Angreifers bewegt, umso höher sind die Kraftmomente und desto schneller ist die instabile KSP-Lage erreicht. Das untermauert die Bedeutung der technisch-taktischen Fähigkeiten eines Judoka im Wettkampf. Bei einer Geschwindigkeit von 1,5 m/s des Verteidigers in die Zugrichtung des Angreifers wird die instabile Körperlage schon nach 170 ms erreicht.

Bei den Untersuchungen von Nowoisky (o. J.) bewegten sich die Zeiten bei der Anrissbewegung bis zum Beginn der instabilen Körperlage in einem Intervall zwischen 340 und 360 ms. Bei diesen Zeiten handelt es sich nicht um absolute Werte, sondern ausschließlich um die Werte bis der Kippwinkel überwunden ist.

Ein biomechanisch orientierter Ansatz scheint folglich lohnend zu sein, um zu eruieren, wo schnelle Aktionen für den Erfolg einer Wurftechnik im Judo maßgeblich sind. Aus diesem Grund sollen zunächst die biomechanischen Einflussgrößen einer wurftechnischen Bewegung im Judo betrachtet werden.

5.6 Biomechanische Betrachtung von Wurfbewegungen im Judo

Die Wurftechniken im Judo dienen der Lösung der Bewegungsaufgabe, den Gegner mit Kraft und/oder Schwung auf den Rücken zu werfen (Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 43). Unter der sportlichen Technik wird hier das sportartspezifische Idealmodell einer Bewegung verstanden (Grosser & Neumaier, 1982, S. 8), welches eine spezifische Abfolge von Bewegungen und Teilbewegungen aufweist, die der Lösung einer Bewegungsaufgabe in einer konkreten Sportsituation dient (vgl. Mechling & Carl, 1992, S. 504).

Aufgrund der unterschiedlichen Leistungsdispositionen und wegen der Anforderungen an ein situationsadäquates Anwenden der Techniken im Wettkampf finden sich zahlreiche Varianten und individuell geprägte Modifizierungen von Wurftechniken im Judo.

Aus biomechanischer Sicht ist es wünschenswert, solche Bewegungen in ihrer Gesamtheit zu beschreiben, messtechnisch zu erfassen und aus diesen qualitativen und quantitativen Erkenntnissen heraus die Bewegung zu optimieren.

Da dieses Vorgehen nur schwer realisierbar ist, ist es notwendig, die Komplexität einzelner Techniken zu reduzieren. Diese Reduktion besteht darin, den menschlichen Körper als einen starren Körper zu betrachten, der aus einzelnen, gelenkig miteinander verbundenen Segmenten besteht, deren Rotation in den Gelenken nur auf einer Ebene möglich ist und deren kinetische und kinematische Parameter für alle Segmente berechenbar sind.

In einem zweiten Schritt wird nun der ursprünglich komplexe Körper durch einen Parameter, den Gesamtkörperschwerpunkt abgebildet (Basner, Brach, Henke &

Scharfenberg, 1997, S. 79). Aus diesen Erkenntnissen heraus soll nun die Lösung der Bewegungsaufgabe als Anforderung an den Athleten in raum-zeitlicher und dynamisch-eigenmotorischer Perspektive beschrieben werden.

Zu diesem Zweck werden Modelle angefertigt, die mit den Originalen in Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogien in Beziehung gesetzt werden können. Für die Beschreibung von Wurftechniken im Judo soll ein ikonisches Modell zum Einsatz kommen. Mit Hilfe dieses Modells können die biomechanischen Einflussfaktoren hinreichend dargestellt werden. Verwendet wird ein starrer Körper mit einem konzentrierten Massenpunkt, dem angenommenen Körperschwerpunkt.

5.6.1 Mechanische Einflussgrößen bei Wurfbewegungen

Unter Hinzunahme der Physik kann die Wurfausführung im Judo zunächst in zwei Gruppen eingeteilt werden. Zur ersten Gruppe gehören die Würfe, die durch das Wirken eines Drehmoments am Gegner zustande gebracht werden. Nowoisky (1997, S. 147) erläutert dazu folgende Punkte:

- a) Der Gegner wird im Verlauf des Wurfes von seinen Stützflächen weggedreht, die Drehachse (Kippunkt) liegt in der Stützfläche.
- b) Durch ein weiteres Drehmoment wird der Gegner seiner Stützfläche beraubt, indem sein Bein oder seine Beine weggedreht werden. Die Drehachse geht durch den Körper des Gegners.
- c) Der Gegner wird über ein Hindernis geworfen. Dazu dient beispielsweise das Bein oder die Beine und/oder die Hüfte des Werfenden.

Die zweite Gruppe ist durch ein Anheben des Gegners charakterisiert (Nowoisky, 1997, S. 147). Das Anheben des Gegners geschieht durch den Einsatz der Arme, Beine, Hüfte, Rücken oder Schulter. Das Weiterführen dieser Bewegung geschieht entweder mit einem Drehmoment oder mit einem Drehmoment über ein Hindernis, wozu der Werfende die eigenen Extremitäten mitbenutzen kann.

Während der drei Phasen eines Wurfes wird die Kraft F über die Arme auf den Gegner übertragen. Durch zusätzlichen Kontakt mit dem Rumpf und den Beinen oder indirekt durch Masseverlagerung wird ein zusätzlicher Effekt für die günstige Impulsübertragung erzielt.

Der Krafteinsatz, gerade in der Kuzushi-Phase erfolgt explosiv und ist durch einen stetig anwachsenden und nachhaltigen Krafteinsatz charakterisiert. Nowoisky (1997, S. 148) beschreibt diese Impulsänderung DI (Impuls = $m \cdot v$) wie folgt:

$$DI = d F(t) dt.$$

Für die gesamte Wurfbewegung ist folglich die Summe aller Kraftwerte des Wurfablaufes im Zeitabschnitt dt maßgebend.

Entscheidend für die Wurfbewegung sind auch die anthropometrischen Parameter. Diese werden bei Nowoisky's Modell der Gleichgewichtsbrechung nach vorn (1997,

S. 149) durch den Trägheitsmoment J beschrieben. Die zeitliche Bewegung des Systems „Geworfener“ in der Phase des Gleichgewichtbrechens ist durch folgende Parameter determiniert:

- Den Kraftzeit-Funktionen der Anrißkraft.
- Der Winkelstellung der angreifenden Anrißkraft.
- Der momentanen Winkelgeschwindigkeit des KSP des zu Werfenden.
- Der Höhe der angreifenden Kraft.
- Der Körperschwerpunktlage des Gegners.
- Der Masse des Gegners.
- Der Winkelstellung des KSP des Gegners zum Kippunkt.

Die nun folgende Abbildung zeigt das angesprochene Modell der Gleichgewichtsbrechung nach vorn.

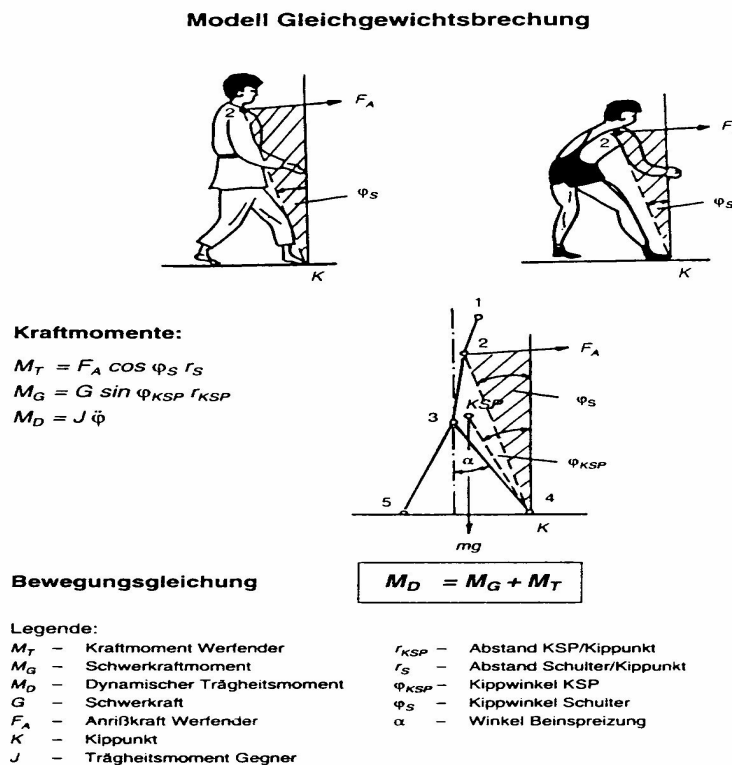


Abbildung 8: Biomechanisches Modell der Gleichgewichtsbrechung nach vorn (aus: Nowoisky, 1997, S. 150)

Anhand dieses Modells ist es nun möglich, die einzelnen Kraftmomente zu berechnen. Allerdings muss beachtet werden, dass die Eindrehbewegung des Werfenden unberücksichtigt bleibt, auch werden die wirkenden Reaktionskräfte (Verteidigungskräfte, innere Kräfte) nicht in die Betrachtung miteinbezogen.

Da die erste Phase eines Judowurfes zum Ziel hat, das Gleichgewicht des Gegners zu brechen, soll nun aufgezeigt werden, wie sich die Gleichgewichtsverhältnisse im Judo darstellen und wie diese gestört werden können. Dazu muss das mechanische Maß der Standfestigkeit zur Erklärung herangezogen werden.

5.6.2 Das Maß der Standfestigkeit im Judo

Um eine Wurftechnik im Judo erfolgreich anwenden zu können, muss das Gleichgewicht des Gegners gebrochen werden. Zu diesem Zweck nutzt der Angreifer die äußeren Kräfte (Schwerkraft, Reibungskraft, Muskelkraft des Gegners) und die inneren Kräfte (eigene Muskelkraft) (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 172). In diesem Zusammenhang beschreibt Nieke (1962), dass für eine effektive Technik aus biomechanischer Sicht die Nutzung der Einheit von äußeren und inneren Kräften eine grosse Rolle spielt.

Das Gleichgewicht eines Körpers ist an das Wirken der Schwerkraft und der Bodenreaktionskräfte gebunden. Nach dem Gesetz der Massenanziehung ergibt sich, dass die Gravitationskraft immer am Schwerpunkt eines Körpers angreift. Diese Wirkungslinie ist durch das Lot des Körperschwerpunktes (KSP) senkrecht zum Erdmittelpunkt gerichtet. Wenn ein Körper mit seiner Gewichtskraft auf eine Unterlage wirkt, wirkt gleichzeitig eine entgegengesetzte Kraft auf ihn ein, die sogenannte Bodenreaktionskraft, die auf derselben Wirkungslinie liegt. Beide Kräfte heben sich gegenseitig auf. Damit kann zusammenfassend festgestellt werden, dass ein Körper sich im Gleichgewicht befindet, wenn,

- a) sowohl die Summe der an ihm angreifenden Kräfte als auch die Summe, der auf ihn einwirkenden Kräfte oder Drehmomente gleich „Null“ ist.
- b) sich der KSP im Lot über der Unterstütsungsfläche befindet, die durch die Fläche beschrieben wird, welche durch die Unterstütsungspunkte eines Körpers eingegrenzt wird (im Stand z. B. die Beine eines Menschen). Wird der Körper leicht über die Aussenkante seiner Unterstütsungsfläche gekippt, so kehrt der Körper dank seiner Gewichtskraft wieder in seine ursprüngliche Lage zurück (stabile Gleichgewichtslage) (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 172f).

Lehmann & Ulbricht (1994, S. 174) benutzen als Aussage über die Stabilität des Gleichgewichtes das Maß der Standfestigkeit aus der Mechanik. Das geometrische Maß der Standfestigkeit (vgl. Abb. 9) wird über den Kippwinkel definiert. Dieser beschreibt das Ausmaß über welches der Körper gekippt werden muss, bis sich sein KSP genau lotrecht über der Kippkante befindet (Lehmann & Müller-Deck, 1989, 21). Das energetische Maß der Standfestigkeit (vgl. Abb. 10) beschreibt die Höhe als vertikalen Weg h des Körperschwerpunktes über der Unterstütsungsfläche.

Je geringer die Höhe des KSP über der Unterstütsungsfläche liegt, desto höher ist die Standfestigkeit des Judoka.

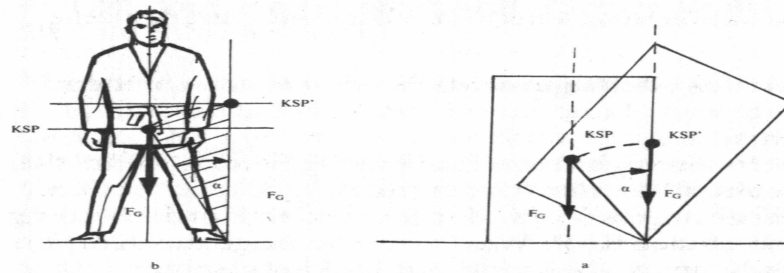


Abbildung 9: Das geometrische Maß der Standfestigkeit: der Kippwinkel (aus: Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 174)

Aus diesem Grund nehmen Judoka stets eine Körperhaltung ein, bei welcher zum einen die Unterstützungsfläche relativ gross ist, um das geometrische Maß der Standfestigkeit auszunutzen.

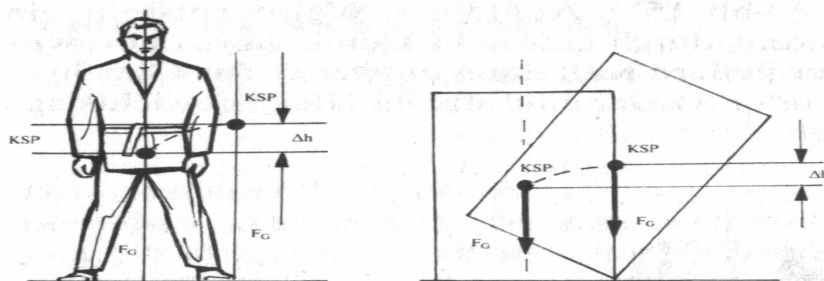


Abbildung 10: Das energetische Maß der Standfestigkeit: der Hubweg (aus Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 175)

Zum anderen darf der KSP sich nicht zu hoch über der Unterstützungsfläche befinden, um das energetische Maß der Standfestigkeit auszunutzen. Realisiert wird dies vom Judoka, indem er die FüÙe in etwa schulterbreit aufstellt und ein Fuß leicht nach vorne versetzt ist, gleichzeitig werden die Knie leicht gebeugt.

Als dritte Komponente zur Standfestigkeit gilt das dynamische Maß der Standfestigkeit. Darunter versteht man die Wirkungslinie wie sie aus der Gewichtskraft des Körpers einer seitlich am Körper angreifenden Kraft resultiert. Die Gleichgewichtslage bleibt so lange stabil, wie diese Wirkungslinie innerhalb der Unterstützungsfläche verläuft (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 175).

Resümierend lässt sich feststellen, dass sich ein Judoka in einer stabilen Gleichgewichtslage befindet, wenn

- Die Unterstützungsfläche und die Gewichtskraft des Körpers gross sind.
- Der Kippwinkel des Körpers gross ist.
- Die Höhe des KSP über der Unterstützungsfläche gering ist.
- Die Kraft sowie die koordinativen Fähigkeiten des Judoka ihn dazu befähigen, einer auf ihn seitlich einwirkenden Kraft zu widerstehen.

Ein labiles Gleichgewicht besteht, wenn sich das Lot des Körpers außerhalb der Unterstü­tzungsfläche des KSP befindet. Das hierdurch entstandene Kippmoment führt dazu, dass bereits kleinste horizontal wirkende innere und äußere Kräfte das Gleichgewicht brechen können. Das dynamische Gleichgewicht ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Lot des KSP unter der Einwirkung horizontaler und vertikaler Kräfte permanent innerhalb der Unterstü­tzungsfläche befindet.

Aus der Statik ist bekannt, dass auf einen ruhenden Körper vertikale (Schwerkraft, Eigengewicht des Körpers) und horizontale (Reibungskräfte) äußere Kräfte wirken. Damit das Gleichgewicht des Körpers aufrechterhalten werden kann, müssen sich die vertikalen und horizontalen Kräfte gegenseitig aufheben.

Die Reibungskraft im Judo ist abhängig von der Oberflächenrauigkeit der waag­rechten Unterlage, also der Matte und von der Kontaktstelle des darauf ruhenden Körpers. Das Gleichgewicht des Judoka ist stabiler, wenn sein Körpergewicht und weitere, die Reibungskraft vergrößernde Kräfte, z. B. Druckbewegungen des Gegners, auf ihn einwirken (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 178).

Ein Kraftmoment entsteht dann, wenn die Druckkraft und die Reibungskraft nicht senkrecht zueinander einwirken oder weitere äußere Kräfte (Druck-, Zug-, Schub-, oder Hubbewegungen, eingeleitet durch den Gegner) wirken.

5.6.3 Der Einfluss der von außen und innen einwirkenden Kräfte auf das Gleichgewicht

Die Judoka befinden sich während eines Zweikampfes in systemhafter Beziehungen zueinander. Diese sind durch eine stabile Gleichgewichtslage beider Kontrahenten zueinander charakterisiert. Die einwirkenden Kräfte heben sich gegenseitig auf. Dies wird als dynamisch-stabiles Gleichgewicht bezeichnet. Die permanent waltenden Zug- und Druckkräfte der Gegner neutralisieren sich. Dies ist dann der Fall, wenn die Kräfte gleich gross sind und in der gleichen Ebene wirken. (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 179).

Durch das Einwirken von zusätzlichen inneren oder äußeren Kräften kann diese dynamisch-stabile Gleichgewichtslage gestört werden. Das geschieht dann, wenn die herrschenden Zug- und Druckkräfte unterschiedlicher Größe sind und nicht in der gleichen Ebene wirken. Man spricht dann von einer dynamisch-labilen Gleichgewichtslage.

Der Körper ist somit nur dann in einer Gleichgewichtslage, wenn sich die inneren und äußeren Kräfte vektoriell und betragsmäßig gegenseitig aufheben. Um also das Gleichgewicht eines Gegners im Judo zu brechen, muss dieses Kräftegleichgewicht gestört werden.

Nach der Beschreibung von unterschiedlichen Wurfprinzipien im Judo werden die Ausführungen zu den Wurfphasen nun weiter anhand der exemplarischen Darstellung einer ausgesuchten Wurf­bewegung differenziert dargestellt. Dabei wird

hervorgehoben, bei welcher dieser Phasen während einer wurftechnischen Bewegungen schnelle Aktionen vorliegen und dem Erfolg dienlich sind.

5.6.4 Zu den Prinzipien des Werfens

In der vorliegenden Arbeit werden Zugaktionen bei Wurfbewegungen näher betrachtet. Diese dienen in erster Linie dem Ziel, das Gleichgewicht des Gegners zu stören und kommen bei Techniken unterschiedlicher Wurfgruppen zum Einsatz. Dabei lassen sich im interdisziplinären Vergleich gewisse Gemeinsamkeiten feststellen. Diese werden in Form von Wurfprinzipien formuliert. Im folgenden Teil werden die Prinzipien skizziert, bei welchen den Zugbewegungen wichtige Funktionen im Hinblick auf das Ziel des Gleichgewichtbrechens zugeordnet werden können.

5.6.4.1 Das Prinzip des Blockens bei den Fuß- und Beinwürfen (Ashi-Waza)

Zu den Ashi-Waza-Techniken werden die Wurfbewegungen gezählt, bei welchen die Kraftübertragung mittels des Kontaktes vom Bein/Fuß des Angreifers auf das Bein/den Fuß des Verteidigers geschieht (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 43).

Beim Prinzip des Blockens wird die Vorwärtsbewegung Ukes (des Verteidigenden) an einem bestimmten Körperteil unterhalb des KSP blockiert. Dadurch gerät das Lot außerhalb der Unterstützungsfläche. Durch die Zugkraft Toris (des Angreifenden) und die eigene Massenträgheit erhält Uke nun ein Drehmoment. Das blockierende Bein von Tori stellt die Drehachse dar (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 191). Über diese Achse soll Uke geworfen werden.

Bei diesen Techniken ist es wesentlich, dass die Zug- oder Druckaktionen des Angreifers mit hoher Explosivität ausgeführt werden, da die durch das Blocken entstandene labile Gleichgewichtslage unmittelbar genutzt werden muss. Diese Zug- oder Druckbewegung müssen fortgeführt werden, damit der Gegner über die Drehachse (hier: das Bein) geworfen werden kann.

5.6.4.2 Das Prinzip des Wegreißens bei den Fuß- und Beinwürfen (Ashi-Waza)

Bei Techniken, welche diesem Prinzip folgen, wird dem Verteidiger ein fester Stützpunkt, häufig dessen belastetes Bein, genommen. Belastet wird dieses Bein durch ein nach hinten wirkendes Kuzushi durch eine Druckbewegung des Angreifers. Entfernt wird die feste Stützstelle durch eine Krafteinwirkung in Richtung der Zehen des Angreifers, meist durch Einsatz eines Beines des Angreifers (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 191).

Auch bei diesen Techniken ist es erforderlich, die Druckaktion mit einer möglichst grossen Geschwindigkeit durchzuführen. Zugaktionen sind bei diesen Techniken relativ selten.

5.6.4.3 Das Prinzip des Anhebens bei den Hüft- (Koshi-Waza) und Schulterwürfen (Kata-Waza)

Zu den Hüftwürfen werden die Techniken gezählt, bei welchen die Kraftübertragung während der Wurfausführung über die Hüfte als Kontaktpunkt realisiert wird. Bei diesen Techniken ist es entscheidend, dass Tori seinen KSP unter den von Uke bringt, um ein für die Technikrealisierung notwendiges Drehmoment zu erzeugen, es müssen also in jedem Fall während des Platzwechsels die Beine gebeugt werden (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 44f). Die Schulterwürfe sind dadurch charakterisiert, dass die Schulter des Angreifers als Kontaktstelle für die Kraftübertragung bei der Wurfausführung fungiert (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 45).

Hierbei hat Tori mit seiner Hüfte und seinem Rumpf engen Kontakt zum Rumpf des Verteidigers. Gleichzeitig befindet sich sein KSP unter dem von Uke, indem die Knie gebeugt sind. Der für die Wurfausführung notwendige Kraftimpuls wird durch die Streckung der Beine ausgelöst. Durch die gleichzeitige Rumpfdrehung Toris erhält der Verteidiger einen Drehimpuls, der ihn schließlich zu Fall bringt (Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 192f).

Zug- und Druckbewegungen dienen bei diesem Prinzip der optimalen Vorbereitung des Platzwechsels und des Gleichgewichtbrechens. Durch den kräftigen und explosiv auszuführenden Zug wird der Verteidiger dazu gebracht, sich nach vorne (und evtl. nach oben) zu bewegen. Dies stellt eine günstige Situation für Hüfttechniken dar, denn der Angreifer kann im Platzwechsel besser unter den KSP des Verteidigers kommen. Auch Druckbewegungen zwingen den Partner in entsprechende Situation, welche vom Angreifer ohne zeitliche Verzögerungen genutzt werden müssen.

5.6.4.4 Das Prinzip des Kippens bei den Handwürfen (Te-Waza)

Zu den Te-Waza-Techniken gehören die Würfe, bei welchen die Übertragung der Kraft des Angreifers auf den Verteidiger über die Hände oder Unterarme als Kontaktstelle erfolgt. Dabei dienen die Beine von Tori als Drehpunkte, über welche der Verteidiger geworfen wird.

Das Prinzip des Kippens beschreibt, dass Uke, sobald er sich am Rand der Unterstützungsfläche befindet, über einen Block geworfen wird. Gebrochen wird das Gleichgewicht durch den gezielten Einsatz von Zug-, Druck- oder Hubbewegungen (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 195). Häufig wird dabei ein Bein Toris als Blockierungspunkt eingesetzt.

Aus den Ausführungen wird deutlich, dass bei allen Würfen, die durch Zug- oder Druckbewegungen eingeleitet werden, diese stets explosiv ausgeführt werden müssen. Zum einen wegen des Überraschungseffektes und zum anderen, damit günstige Situationen ohne zeitliche Verzögerungen ausgenutzt werden können und dem Gegner damit nur eingeschränkt Verteidigungshandlungen möglich sind.

Im nun folgenden Teil werden die einzelnen Phasen einer wurftechnischen Bewegung in ihrer Funktion im Hinblick auf biomechanische Beziehungen dargestellt.

5.7 Die Funktionsanalyse einer wurftechnischen Bewegung im Judo

Sportliche Bewegungen weisen eine zielgerichtete, unter Beachtung bestimmter Rahmenbedingungen ablaufende Geschehensfolge auf. Eine Funktionsanalyse verfolgt das Ziel, die einzelnen Bewegungen, aus welchen sich der gesamte Ablauf ergibt, mit bestimmten Funktionen im Hinblick auf das übergeordnete Ziel zu belegen (vgl. Göhner, 1992, S. 124ff). In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Phasen eines Wurfes funktional belegt. Indem diese Funktionen herausgestellt werden, soll gleichzeitig beschrieben werden, warum an bestimmten Stellen für die erfolgreiche Realisierung im Hinblick auf das jeweilige Ziel, schnelle Bewegungen notwendig sind.

Im Judo liegen azyklische Bewegungen vor. Diese sind dadurch charakterisiert, dass die Wiederholung einer azyklischen Bewegung keine Fortsetzung der vorhergehenden darstellt. Sie haben einen klar definierten Beginn und ein Bewegungsende (vgl. Farfel, 1977, S. 219). Im nun folgenden Teil erfolgt eine Belegung der bereits oben beschriebenen Phasen Kuzushi, Tsukuri und Kake eines Judowurfes mit den sie bestimmenden Funktionen. Krön (1981, S. 23) geht davon aus, dass es das übergeordnete Ziel bei Wurftechniken ist, einen Gegner möglichst ökonomisch und mit viel Schwung auf den Rücken oder die Seite zu werfen.

Einen interessanten Ansatz zu der Phasenstruktur im Judo vertritt Krön (1981, S. 27), der die den drei anderen Phasen vorgeschaltete Phase „Fassen“ zusätzlich fordert. Denn tatsächlich ist der Kampf um den günstigen Griff zur Durchführung einer wurftechnischen Bewegung ein kampfentscheidendes Kriterium im modernen Wettkampfsjudo geworden. Aus diesem Grund wird auch diese „vierte Phase“ mit betrachtet.

5.7.1 Biomechanische Grundlagen der Fassart (Kumi-Kata)

Der Fassart (Kumi-Kata) muss eine grosse Bedeutung bezüglich der erfolgreichen Vorbereitung von Wurftechniken zugeschrieben werden. Das Fassen ermöglicht erst die Kraftübertragung über die Arme auf den Rumpf des Gegners. Zusätzlich unterstützt das Fassen die kinästhetische Wahrnehmung, indem die Bewegungen des Gegners gespürt werden und so die Absichten erkannt werden können (vgl. Beissner & Birod, 1977, S. 47; Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 26). Erst nach dem Fassen können die übrigen Phasen eingeleitet werden.

Zur Kumi-Kata gehören die Grifferöffnung, Grifferarbeitung und Grifferhaltung unter der Beachtung der Wettkampfregeln (vgl. Wieneke, 1999). Hierzu gibt es unterschiedliche Varianten.

Der Griff muss fest, darf aber nicht verkrampft sein. Jarmoluk (1989, S. 48) beschreibt hierzu Athleten, die eine sehr starre Fassart bevorzugen, mit welcher sie den Gegner kontrollieren und fixieren - „festnageln“ - wollen. Diese Kumi-Kata birgt jedoch Nachteile. Aus metabolischer Sicht stellt eine solche Belastung eine hohe statische Beanspruchung dar, die Folge davon ist, dass es im Muskel zu einer Laktatazidose kommt. Diese Übersäuerung in Verbindung mit der starren Fixierung bewirkt, dass sich diese Athleten erst spät auf veränderte Situationen einstellen können. Jarmoluk (1989, S. 48) beschreibt weiter, dass eine starre Fixierung dazu führt, dass die Propriozeptoren keine Veränderungen an das ZNS rückmelden können und damit aus dem Informationskreis herausgenommen sind. Dies bewirkt, dass die Arme als erstes Glied in der Verteidigungskette ausfallen. Statt dessen muss der Rumpf dieses Defizit kompensieren, was insgesamt eine höhere metabolische Belastung darstellt und gleichzeitig bedeutet, dass dieser gebunden ist und damit nicht für eigene Aktivitäten zur Verfügung steht.

Andere Kämpfertypen bevorzugen eine lockere Fassart. Sie sind nicht auf eine spezielle Fassart spezialisiert, greifen öfter auch mal nur mit einer Hand. Diese Kumi-Kata zeichnet sich durch einen permanenten Wechsel von Anspannung und Entspannung aus. Erst wenn diese Kämpfer eine Angriffs- oder Verteidigungshandlung ausführen, arbeiten sie im maximalen Intensitätsbereich. Diese relativ unangespannte Muskulatur und das häufige Umfassen bewirken nach Jarmoluk (1989, S. 49), dass es zu einer ständigen Rezeptorenrückmeldung kommt und die Kämpfer dadurch auf veränderte Positionen des Gegners schnell reagieren können. Gleichzeitig ist auch das eigene Starten von Angriffshandlungen leichter und damit schneller möglich.

Die Kumi-Kata spielt auch unter technisch-taktischen Gesichtspunkten eine wichtige Rolle. In den letzten Jahren gab es ausführliche Videoanalysen von erfolgreichen Wettkämpfern. Hierbei wurde festgestellt, dass erfolgreiche Angriffshandlungen häufig durch überlegene Griffsituationen herbeigeführt wurden. Diese sind dadurch charakterisiert, dass der Angreifer an mindestens einer Stelle mehr greift als der Gegner. Unterschieden werden hier die 1:0, 2:1 und 2:0 Griffsituation (vgl. Wieneke, 1999). Sobald eine dieser Situationen hergestellt ist,

sollte ohne zeitliche Verzögerung ein Angriff erfolgen, da die Gegner stets bestrebt sind, den für sie gefährlichen Griff wieder zu lösen.

In Bezug zur Thematik der vorliegenden Arbeit scheinen die Grifferöffnung und die Grifferarbeitung einen Ansatzpunkt darzustellen. Schnelle Bewegungen gibt es beim Vorschnellen der Arme und dem möglichst schnellen Schliessen der Hände/Finger um die Judojacke. Die schnelle Bewegung beim Fassen besteht also aus dem Strecken des Angriffsarms und dem Umfassen der Judojacke. Dies stellt eine hohe koordinative Anforderung dar. Denn das Fassen muss unmittelbar nach dem Erreichen der günstigen bzw. erwünschten Stelle an der Judojacke einsetzen. Ansonsten hat der Gegner die Möglichkeit diesen Griff abzuwehren.

Bei der Betrachtung der Fassart müssen auch die unterschiedlichen Funktionen der beiden Arme beachtet werden. Sie haben in Anlehnung an Ohgo (1974, S. 30) im Judo unterschiedliche Funktionen. Die Zughand (Hikite) greift meist am Ärmel oder Revers des Gegners und dient später zur Einleitung des Kuzushi, sowie zur Bestimmung der Wurfrichtung. Die Hebezughand (Tsurite) greift zumeist das Revers oder den Nacken des Gegners. Sie hat eine unmittelbar unterstützende und kontrollierende Funktion bei der Wurfausführung und spielt eine wichtige Rolle bei Armdruckbewegungen zur Einleitung von Techniken nach hinten.

5.7.2 Biomechanische Grundlagen des Kuzushi

Das Kuzushi dient dem Gleichgewichtbrechen des Gegners in die Richtung, in die der Partner geworfen werden soll und schafft in diesem Sinne die Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung der anderen Wurfphasen (vgl. Nowoisky, 1991, S. 2).

Das Kuzushi geschieht zum einen häufig durch Zugbewegungen bei Techniken nach vorne (Partner auf die Zehenspitzen stellen), Hubbewegungen bei Konter- und Aushebertechniken (Partner ausheben), oder durch Schubbewegungen bei Techniken, die zum Ziel haben, den Partner nach hinten zu werfen (Partner auf die Ferse stellen) (vgl. Abb. 11).

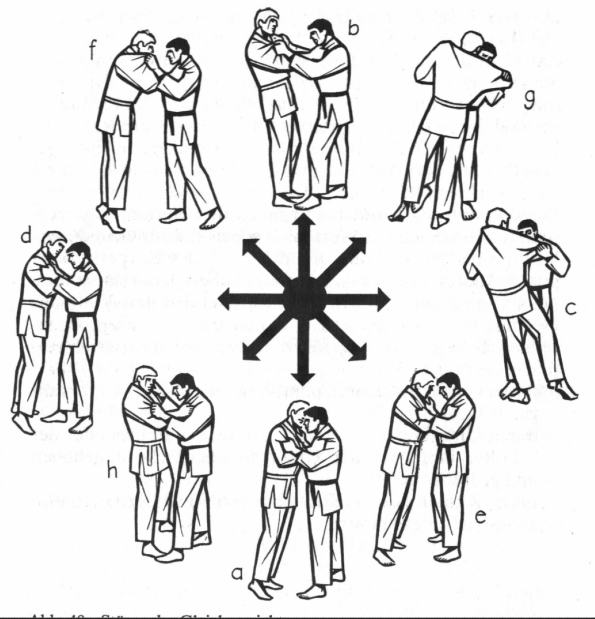


Abbildung 11: Die Wurfrichtungen im Judo: nach vorn (a), nach hinten (b), nach rechts (c), nach links (d), nach rechts vorn (e), nach links vorn (f), nach rechts hinten (g), nach links hinten (h). (mod. nach Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 42)

Das Stören bzw. Brechen des Gleichgewichts stellt eines der Grundprobleme des Standkampfes im Judo dar. Dabei ist es erforderlich, wie bereits weiter oben dargestellt wurde, das Lot des Körperschwerpunktes außerhalb der Unterstü­tzungsfläche des Körpers zu bringen (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 41; Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 176). Die Folge davon ist, dass der Gegner mit seinem Körper aus dieser Situation nicht mehr ohne Weiteres in der Lage ist, sein Gleichgewicht zu halten und demzufolge in die entsprechende Richtung kippt.

Wenn das Gleichgewichtbrechen vom Angreifer durch die oben beschriebenen Aktionen ausgelöst wird, werden die Bewegungen als direkte Form des Gleichgewichtbrechens bezeichnet. Dahingegen werden Aktionen, bei welchen Bewegungen des Verteidigers genutzt werden, als indirektes Gleichgewichtbrechen bezeichnet. Beispielhaft zu nennen sind hierbei Kombinationen oder Finten (vgl. Hofmann, 1969, S. 31; Klocke, 1997, S. 15).

Nowoisky (1991, S. 2) beschreibt als allgemeine Grundlage der Bewegungsänderung das Reaktionsprinzip. Hiernach steht der Bewegungsimpuls des Angreifers in direktem Zusammenhang mit dem Bewegungsimpuls der auf Uke übertragen wird. Für das Kuzushi bedeutet dies, dass die Wirkungs­dauer und Größe des Impulses und die damit erzielte Endgeschwindigkeit als abhängige Variable für den Erfolg des Gleichgewichtbrechens bezeichnet werden kann (vgl. Nowoisky, 1991, S. 2).

„Je größer die Kraft ist, um so größer ist die Geschwindigkeit, und je größer die Geschwindigkeit ist, um so größer ist die kinetische Energie, die auf den Uke übertragen wird.“

(Nowoisky, 1991, S. 3)

Einschränkend muss bei Techniken nach hinten, bei welchen Uke über die eigene Ferse geworfen wird, erwähnt werden, dass nur sehr wenige von ihnen direkt durch Druckbewegungen eingeleitet werden. Vielfach profitieren Würfe nach hinten von dem actio-reactio-Prinzip im Sinne des indirekten Gleichgewichtbrechens, wonach Würfe nach hinten eher bei Kombination eingesetzt werden oder in Verbindung mit Finten zu Techniken nach vorne angewandt werden. Das bedeutet, dass diese Techniken als Kombinationen eingesetzt werden, sobald der Gegner eine Wurftechnik nach vorne abblockt, indem er sich beispielsweise nach hinten lehnt. Bei Finten wird eine Bewegung zum Beispiel durch einen schnellkräftigen Zug nach vorn angetäuscht, Uke reagiert mit einer entsprechenden Verteidigungsstellung, meist durch Verlagerung des KSP nach hinten und unten. Diese Stellung wird nun für eine Technik nach hinten unmittelbar genutzt.

Hieraus ist zu ersehen, dass Techniken nach hinten häufig durch eine Armzugbewegung eingeleitet werden.

5.7.3 Biomechanische Grundlagen des Tsukuri

Die zweite Phase einer wurftechnischen Bewegung (Tsukuri) ist durch eine schnelle Bewegung der unteren Extremitäten und durch eine entsprechende Körperdrehung (Tai Sabaki) gekennzeichnet. Denn die im Kuzushi hergestellte instabile Lage des Gegners muss unmittelbar genutzt werden. Ein Mensch, dessen Gleichgewicht gebrochen wurde, stürzt nicht sofort in diese Richtung, da er dies durch Ausgleichsbewegungen zu verhindern versucht (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 46; Krön, 1981, S. 24). Hierbei werden große Anforderungen an die azyklische Schnelligkeit der Beine gestellt.

Der Platzwechsel muss schnell und präzise durchgeführt werden. Zum einen, um die hergestellte labile Gleichgewichtslage unmittelbar nutzen zu können und zum anderen, damit die einzelnen Körperteile in der korrekten Konstellation in Relation zum Gegner gebracht werden. Es wird das Ziel verfolgt, die Position herzustellen, die es dem Ausführenden ermöglicht, die Wurfbewegung bis zum Ende durchführen zu können (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 185). Des Weiteren muss im Tsukuri der Körper optimal beschleunigt werden, um einen möglichst großen Kraftimpuls auf den Gegner übertragen zu können (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 46).

Bei einem herkömmlichen Platzwechsel im Judo (nach links, die rechte Körperseite des Gegners wird angegriffen) wird zunächst das rechte Bein angehoben, nach innen rotiert, wieder abgesetzt und als Standbein genutzt. Anschließend folgt das zweite Bein, indem eine Streckung in der Hüfte eingeleitet wird. Dieses Bein wird dann neben das erste Bein gesetzt (vgl. Jarmoluk, 1986, S. 27ff).

Es kommt damit (unter Einsatz der Rumpfmuskulatur, wobei für den M. pectoralis eine technikbedingte Umkehr vom punctum fixum zum punctum mobile gilt) zu einer Drehung des Oberkörpers um die Körperlängsachse (~ 180°) nach links hinten (vgl. Jarmoluk, 1986, S. 30).

Außerdem versucht der Angreifer beim Platzwechsel so dicht wie möglich an den Verteidiger heranzukommen und gleichzeitig durch das Beugen der Beine unter den Körperschwerpunkt des Gegners zu gelangen. Das Erstere, um die Kraft optimal auf den Körper des Partners übertragen zu können, das Zweite um ein Drehmoment erzeugen zu können, das nur entstehen kann, wenn die einwirkende Kraft nicht am Körperschwerpunkt des Gegners ansetzt und somit als exzentrischer Stoß wirkt (vgl. Lehmann & Ulbricht, 1994, S. 182; Göhner, 1992).

Im Judo gibt es hinsichtlich des Platzwechsels zahlreiche Varianten zu den einzelnen Körperdrehungen in verschiedene Richtungen und um unterschiedliche Fixpunkte.

Beispielhaft sollen in Rechtsausführung (die Techniken werden durch Körperlängsachsendrehungen nach links eingeleitet) einige davon kurz erläutert werden (vgl. Klocke, 1997, S. 14):

- a) Der Kodokan-Eingang bei einem stehenden Partner: der rechte Fuß wird über Kreuz vor den rechten des Partners gesetzt, der linke wird parallel nachgezogen.
- b) Das Pulling Out: Der Verteidiger kommt nach vorne und wird weiter gezogen.
- c) Das Stepping In: Wenn sich der Verteidiger vom Angreifer aus gesehen nach links oder rückwärts bewegt.
- d) Der Kawaishi-Eingang: Der Verteidiger bewegt sich hierbei nach links im Kreis um den Angreifer.
- e) Nach „innen durchstechen“: Wenn der Verteidiger sich nach links seitwärts bewegt.
- f) Nach „außen überholen“: Hierbei bewegt sich der Verteidiger nach rechts seitwärts.

5.7.4 Biomechanische Grundlagen des Kake

Der Niederwurf, die dritte Phase, wird als Kake bezeichnet (vgl. Beissner & Birod, 1977, S. 50). Das Gleichgewicht des Verteidigers wird im Übergang von Tsukuri zu Kake vollständig gebrochen (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 46). Der Verteidiger kann geworfen werden. Durch den Niederwurf wird das Ziel verfolgt, den Gegner kraft- und schwungvoll auf den Rücken oder auf die Seite zu werfen, um möglichst hohe Wertungen zu erzielen.

Beim Niederwurf wirkt ausschließlich die Schnellkraft der für die Wurftechnik benötigten Körperpartien limitierend. Der Anteil des Kake am Gelingen der Technik wurde von Draeger (in: Beissner & Birod, 1977, S. 50) allerdings nur mit 5 Prozent bewertet. Wenn also das Kuzushi und das Tsukuri optimal ausgeführt wurden, so ist der Niederwurf (Kake) eher eine logische Folge.

Konträr hierzu vertreten Hartmann & Graf (1979, S. 21) die Ansicht, dass Kake die Wurfphase ist, in welcher die eigentliche zum Fall führende Aktion durchgeführt

wird. Sie ergänzen die Wurfphasen noch durch eine vierte Phase (Nage), die dann den kontrollierten Niederwurf beschreibt. Allerdings hat sich diese Ansicht nicht durchgesetzt und scheint aus pragmatischen Gründen auch nicht sinnvoll.

Bereits beim Platzwechsel wird durch ein Beugen der Beine erreicht, dass der Angreifer unter den Körperschwerpunkt des Verteidigers kommt. Im Kake wird nun das dadurch entstandene Drehmoment genutzt und weitergeführt, indem der Angreifer gleichzeitig mit einer schräg nach oben gerichteten Kraft (Armhub, Knie- und Hüftstreckung) und einer horizontal gerichteten Kraft (Armzug) auf den Verteidiger einwirkt, so, dass dessen Körperschwerpunkt außerhalb der Unterstützungsfläche des Systems Angreifer-Verteidiger gelangt. Wichtig ist hierbei die schnellkräftige Beinstreckbewegung bzw. Körperlängsachsendrehung.

Die folgende Tabelle 3 zeigt noch einmal die verschiedenen Phasen eines Judowurfes mit den einzelnen Aktionen auf. Gleichzeitig werden die wesentlichen Funktionen nochmals aufgezeigt. Ergänzend muss angemerkt werden, dass dieses Schema nicht für alle Judowürfe gelten kann, da es eine Vielzahl von Techniken gibt, welche mit unterschiedlichen Körperteilen ausgeführt werden. Die in dieser Arbeit vorgenommene funktionelle Belegung der Aktionen bezieht sich in erster Linie auf Hüft- und Armtechniken (Koshi-waza und Te-waza) und ist für diese Technikgruppen gültig.

Tabelle 3: Funktionsbeschreibung der einzelnen Wurfphasen

Bezeichnung	Aktion	Funktion
Fassen	1. Streckbewegung des Angriffsarms	Erreichen der günstigen Stelle an der Judojacke des Gegners
	2. Greifbewegung der Hand	Fixierung des Griffs
Kuzushi	1. Zugbewegung mit den Armen	Das Brechen des Gleichgewichts nach vorne.
	2. Druckbewegung mit den Armen	Das Brechen des Gleichgewichts nach hinten.
	3. Kombination von Zug- und Druckbewegungen	Das Brechen des Gleichgewichts in einer Seitwärts- oder einer Kreisbewegung.
	4. Hubbewegung mit den Armen und dem Rumpf	Das Ausheben des Partners bei Aushebe- und Kontertechniken.

Tsukuri	1. Platzwechsel mit den unteren Extremitäten mit gleichzeitiger Körperdrehung in Wurfrichtung nach vorne.	Unmittelbares Nutzen der labilen Gleichgewichtes des Partners. Herstellen einer günstigen Situation, um die Wurfbewegung abschließen zu können.
	2. Platzwechsel mit den unteren Extremitäten mit gleichzeitiger Körperdrehung in Wurfrichtung nach hinten.	Unmittelbares Nutzen der labilen Gleichgewichtes des Partners. Herstellen einer günstigen Situation, um die Wurfbewegung abschließen zu können.
	3. Platzwechsel mit den unteren Extremitäten mit gleichzeitiger Körperdrehung in Wurfrichtung zur Seite.	Unmittelbares Nutzen der labilen Gleichgewichtes des Partners. Herstellen einer günstigen Situation, um die Wurfbewegung abschließen zu können.
Kake	1. Schnellkräftiges Strecken der Beine in Wurfrichtung. 2. Schnellkräftiges Drehen des Rumpfes um die Körperlängsachse.	Den Gegner über den eigenen Körper auf den Rücken oder die Seite werfen.

5.8 Die Funktionsanalyse eines Innenschenkelwurfes (Uchi-Mata)

Im folgenden Teil wird eine Funktionsanalyse am Beispiel eines Innenschenkelwurfes durchgeführt. Der Uchi-Mata ist eine relativ häufige und sehr erfolgreiche Wurftechnik im Judo. In diesem Teil wird, bezugnehmend auf die Thematik der vorliegenden Arbeit, gesondert auf die schnellen Bewegungen eingegangen.

5.8.1 Verlaufsanalyse des Uchi-Mata

In der Verlaufsanalyse des Uchi-Mata nach Sato & Okano (1979) werden die bereits weiter oben dargestellten Phasen detailliert wiedergegeben. Damit soll der oben gelieferte theoretische Unterbau mit einem praktischen Beispiel gefüllt werden.

Der Wurf Uchi-Mata wurde ausgewählt, da es zu dieser Technik bereits Untersuchungen gibt (Krön, 1981; Jarmoluk, 1986) und es sich hierbei um eine der erfolgreichsten Wettkampftechniken im Judo handelt.

Bei der bewegungstheoretischen Betrachtung des Uchi-Mata werden zunächst folgende Aktionen unterschieden (vgl. Krön, 1981, S. 43):

- a) Kumi-Kata
- b) Das Schaffen einer günstigen Ausgangssituation
- c) Das Gleichgewichtbrechen
- d) Der Platzwechsel
- e) Das Durchschwingen des Beines
- f) Das Abbeugen im Hüftgelenk
- g) Das Tief-Hoch-Bewegen (Beinstreckung)
- h) Das Drehen des Oberkörpers um die Körperlängsachse während des Abbeugens

Im nächsten Teil werden diese Aktionen im Hinblick auf ihre Funktion betrachtet und es wird aufgezeigt, an welchen Stellen schnelle Bewegungen die Erfolgswahrscheinlichkeit erhöhen.

5.8.1.1 Kumi-Kata

In erster Linie ermöglicht das Fassen, dass der Angreifer überhaupt erst seine Kraft auf den Verteidiger übertragen kann. Für die weiteren Phasen stellt das Fassen die Voraussetzung und eine Unterstützung dar (vgl. Krön, 1981, S. 71). Beim Uchi-Mata bietet es sich an, dass die Zughand am Ärmel und die Hebezughand am Revers oder im Nacken greift.

Das Fassen muss schnell erfolgen, damit der Verteidiger den Griff nicht abwehren und verhindern kann.

5.8.1.2 Das Schaffen einer günstigen Ausgangssituation

Für die optimale Ausführung des Uchi-Mata müssen bestimmte Bedingungen vorhanden sein. Ohne diese kann der Wurf nicht durchgeführt werden, eine andere Technik müsste der Situation entsprechend angewandt werden. Man spricht davon, eine günstige Ausgangssituation zu schaffen.

Zum einen muss das Gleichgewicht des Gegners nach vorne gestört werden, was eng mit der nächsten, noch zu erläuternden Phase in Verbindung steht, da der Uchi-Mata eine Technik nach vorne ist, bei welcher das Gleichgewichtbrechen in Richtung der Zehenspitzen des Verteidigers erfolgt. Zu diesem Zweck können beispielsweise Finten verwendet werden (indirektes Gleichgewichtbrechen).

Als nächstes müssen die Beine des Gegners geöffnet sein, damit das Hindurchschwingen des Angriffsbeines möglich ist. Je breiter der Gegner steht, umso besser ist dies für den Angreifer (Krön, 1981, S. 59).

Auch die Stellung des Partners muss optimal sein. Als besonders geeignet wird die Situation rechts gegen links (oder umgekehrt) angesehen. Bei der Situation rechts gegen links, welche auch als geöffnete Situation oder gegengleiche Auslage beschrieben wird, steht der Angreifer mit dem rechten Bein vorn, der Verteidiger mit dem linken Bein vorn. Diese Konstellation hat den Vorteil, dass der Angreifer nur um etwa 90° eindrehen muss, um in die gewünschte Parallelstellung zu kommen und nur eine geringe Seitverschiebung nötig ist.

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, wie diese Phase im Hinblick auf die Wurfausführung limitierend wirkt. Entweder bewegt der Gegner sich von allein in diese Situation, was vom Angreifer entsprechend schnell genutzt werden muss, oder der Angreifer provoziert durch eigene Aktionen, beispielsweise vorbereitenden Techniken oder Finten, diese Ausgangssituation.

5.8.1.3 Das Gleichgewichtbrechen

Das Kuzushi stellt eine äußerst wichtige Phase dar. Diese besteht beim Uchi-Mata aus einer schnellkräftigen Zugbewegung durch den Zugarm in Wurfrichtung (von Uke aus gesehen nach schräg rechts vorne). Dadurch wird der Partner aus dem Gleichgewicht gebracht und so die Voraussetzungen für die weiteren Phasen geschaffen.

5.8.1.4 Der Platzwechsel

Diese Phase hat die Funktion, den Angreifer in die Lage zu versetzen, sein Bein zwischen die Beine von Tori durchschwingen zu können. Hierzu werden für den Uchi-Mata folgende Positionsveränderungen vorgenommen (vgl. Krön, 1981, S. 54):

1. Tori (Angreifer) dreht seinen Körper bezüglich Uke (Verteidiger) um einen gewissen Winkel nach links.
2. Tori muss die Distanz zu Uke verringern.

Auch diese Phase wird durch schnelle Bewegungen vor allem der unteren Extremitäten bestimmt. Denn dadurch hat der Verteidiger keine Möglichkeit, mit Abwehrhandlungen auf den Angriff zu reagieren.

5.8.1.5 Das Durchschwingen des Beines

Diese Phase wird von Krön (1981, S. 44) auch als Kake beschrieben und stellt für ihn die Hauptfunktion dar. Hier wird verhindert, dass Uke sein Gleichgewicht wieder findet und gleichzeitig soll Uke den Kontakt zum Boden verlieren.

Beim Durchschwingen des rechten Beines von Tori zwischen Ukes Beine wird eine Kraftkomponente erzeugt. Diese entsteht zum einen durch die Schlagwirkung und die damit verbundene Erhöhung der Hüfte des Verteidigers. Gleichzeitig werden

durch den exzentrischen Stoss Rotationen um die Körperbreitenachse und die Körpertiefenachse herbeigeführt.

Dadurch wird Uke ausgehoben und auf eine Flugbahn nach schräg vorne gebracht. Allein schon um eine hohe kinetische Energie zu erzeugen, muss diese Bewegung hoch beschleunigt und mit größtmöglicher Geschwindigkeit durchgeführt werden.

5.8.1.6 Das Abbeugen im Hüftgelenk

Das Abbeugen des Oberkörpers hat im Hinblick auf das Durchschwingen des Beines eine wichtige Funktion. Denn aufgrund besonderer anatomischer Bedingungen im Hüftgelenk kann das Abspreizen des Beines nach hinten nur gelingen, wenn gleichzeitig eine Beugung im Hüftgelenk nach vorne eingeleitet wird.

5.8.1.7 Die Tief-Hoch-Bewegung

Die Tief-Hoch-Bewegung soll die Schlagwirkung beim Durchschlagen des Beines und das Einleiten der Rotation durch den exzentrischen Kraftstoß unterstützen. Sie besteht darin, dass der Angreifer während des Durchschwingens des Beins gleichzeitig sein leicht gebeugtes Standbein streckt.

5.8.1.8 Das Drehen des Oberkörpers um die Körperlängsachse während des Abbeugens

Die Funktion dieser Phase besteht darin, den Körper Ukes abzuwerfen. Denn durch das Drehen des Oberkörpers um die KLA nach links wird Uke vom Oberschenkel des Angreifers heruntergedreht und er landet mit dem Rücken auf dem Boden.

5.9 Zusammenfassung

Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Phasen einer Wurfbewegung scheinen besonders vier davon durch schnelle Bewegungen beeinflusst zu sein. Es ist dies zunächst einmal das Fassen. Denn der Angreifer muss unter großem Zeitdruck seinen Griff durchsetzen. Hierbei wirken die Armstrecker sowie die Muskulatur der Unterarme leistungsbestimmend.

Auch im Kuzushi, entweder durch eine Zugbewegung wie bei dem vorgestellten Innenschenkelwurf, oder durch eine Druckbewegung beispielsweise bei Würfeln nach hinten, wirken schnelle Bewegungen leistungslimitierend. Diese sind durch schnellkräftige Bewegungen der oberen Extremitäten charakterisiert.

Im Platzwechsel schließlich, müssen die unteren Extremitäten schnelle Bewegungen ausführen, damit der Positionswechsel zügig durchgeführt werden, und die labile Gleichgewichtslage unmittelbar genutzt werden kann.

Die Wurfbewegung wird in ihrer Wirkung ebenfalls durch die Schnellkräftfähigkeit der streckenden Muskulatur bestimmt. Diese ist bei den meisten Würfen durch ein Strecken der Beine und eine schnellkräftige der Rumpfmuskulatur um die Körperlängsachse charakterisiert.

Diese Phasen werden im nächsten Kapitel unter dem Aspekt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster gesondert betrachtet und in ihrer Erscheinungsweise und ihren anatomischen Besonderheiten strukturiert.

5.10 Die schnelle Armzugbewegung und die schnelle Armdruckbewegung

In den einzelnen Funktionsphasen einer wurftechnischen Bewegung können nun Parameter unterschieden werden, die aufgrund der hohen Geschwindigkeit ihrer Ausführung im Sinne von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern betrachtet werden können. Im folgenden Teil werden diese Innervationsmuster mit ihren biomechanischen und funktionell-anatomischen Besonderheiten vorgestellt.

Die funktionell-anatomischen Überlegungen sind unter anderem von besonderer Bedeutung, um die elektromyographischen Messungen durchführen zu können, die im empirischen Teil der Arbeit eine bedeutende Rolle spielen (vgl. Senner & Schaff, 1999).

In diesem Abschnitt werden die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster vorgestellt, die im Kuzushi, der ersten Phase eines Judowurfes, wirken. Da Judotechniken in unterschiedliche Richtungen angewandt werden können, werden in diesem Zusammenhang zwei schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster vermutet, das Armzugmuster, bei Techniken nach vorne, sowie das Armdruckmuster, welches bei Techniken nach hinten limitierend wirkt.

Das Kuzushi wird somit zum einen durch ein vermutetes schnellkräftiges neuromuskuläres Armzugmuster (Innervationsmuster) bestimmt. Dieses wird durch das schnellkräftige Anreißen (Zugbewegung) des Partners in der ersten Phase einer wurftechnischen Bewegung bestimmt (vgl. Gold, 1998, S. 36).

Als ein weiteres schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster kann die schnellkräftige Druckbewegung bei Techniken nach hinten (in Richtung Ferse des Gegners) differenziert werden. Denn bei Techniken mit Wurfrichtung nach hinten geschieht das Brechen des Gleichgewichts durch eine schnellkräftige Druckbewegung der Arme, um den Partner auf die Ferse zu stellen und ihn damit in eine dynamisch-labile Gleichgewichtslage zu bringen. Diese Bewegung entspricht dem vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster (Armdruckmuster).

5.10.1 Anatomische Grundlagen

Wie bereits erläutert wurde, wird die Armzugbewegung durch das schnellkräftige Anreißen des Partners mit Hilfe der Arme zum Zweck des Gleichgewichtbrechens nach vorne charakterisiert.

Bei dieser Zugbewegung kommen zum einen die Muskeln zum Einsatz, die anatomisch gesehen bei der Retroversion (Rückführung) des Armes in Bezug auf den Rumpf beteiligt sind. Dabei handelt es sich vorrangig um folgende Muskeln (vgl. Schäffler & Schmidt, 1996, S. 126; Weineck, 1994, S. 186; Tittel, 1994, S. 132):

- Der Deltamuskel, M. Deltoideus (Pars Acromialis et Spinalis).
- Der breite Rückenmuskel, M. Latissimus Dorsi.
- Der große Rundmuskel, M. Teres Major.
- Der Unterschulterblattmuskel, M. Subscapularis.

Daneben findet bei dieser Zugbewegung allerdings auch eine Beugebewegung im Oberarm statt. In erster Linie beteiligte Muskeln sind dabei (vgl. Schäffler & Schmidt, 1996, S. 129; Weineck, 1994, S. 188; Tittel, 1994, S. 134ff):

- Der zweiköpfige Armmuskel, M. Biceps Brachii.
- Der Armbeuger, M. Brachialis.
- Der Oberarmspeichenmuskel, M. Brachioradialis.

Zu der Retroversion und Flexion findet bei der Zugbewegung im Kuzushi zusätzlich eine Innenrotation (Pronation) des Armes statt. Die wichtigsten Muskeln bei dieser Bewegung sind (vgl. Schäffler & Schmidt, 1996, S. 129; Weineck, 1994, S. 188; Tittel, 1994, S. 132, S. 140):

- Der Unterschulterblattmuskel, M. Subscapularis.
- Der Deltamuskel, M. Deltoideus (Pars Clavicularis).
- Der Hakenarmmuskel, M. Coracobrachialis.
- Der große Brustmuskel, M. Pectoralis major.
- Der breite Rückenmuskel, M. Latissimus Dorsi.
- Der große Rückenmuskel, M. Teres Major.

Nach Weineck (1994, S. 188) ist bei der Pronation des Armes (aus der Normalstellung) der M. Subscapularis der kräftigste Innenkreiser des Oberarmes.

Die Armdruckbewegung ist durch das Vorbringen des Armes (Anteversion) und eine gleichzeitige Streckbewegung (Extension) des Ellbogengelenks charakterisiert. Diese Bewegung scheint damit weniger komplex gestaltet. Beteiligte Muskeln sind (vgl. Schäffler & Schmidt, 1996, S. 129; Weineck, 1994, S. 186; Tittel, 1994, S. 132):

- Der große Brustmuskel, M. Pectoralis Major.
- Der Deltamuskel, M. Deltoideus (Pars Clavicularis et Acromialis).
- Der Armstrecker, M. Triceps Brachii.

5.11 Die schnelle Platzwechselbewegung

Das Tsukuri, der Wurfansatz oder Platzwechsel, ist durch einen Positionswechsel des Angreifers charakterisiert. Dieser dient dem Angreifer dazu, sich in eine Lage zu bringen, um die wurftechnische Bewegung ausführen zu können. Dies geschieht in erster Linie durch einen Platzwechsel, welcher mit den Beinen eingeleitet wird. Das dazugehörige vermutete schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster wird mit dem Arbeitsbegriff Platzwechsellmuster belegt.

5.11.1 Anatomische Grundlagen

Der Platzwechsel wird durch das Abheben des Fußes eingeleitet. Diese Plantarflexion beschleunigt damit den Körper, der eine entsprechende Lageveränderung erfährt. Der Platzwechsel erfolgt mit dem Abdruck des Fußes. Limitierend bei dieser Bewegung wirkt primär der M. Triceps surae, der aus dem M. Gastrocnemius (Zwillingsmuskel) und dem M. Soleus (Schollenmuskel) besteht. Die restlichen Muskeln, die bei dieser Bewegung mitarbeiten, dienen aufgrund ihres geringen Querschnitts weniger der Kraftentwicklung als vielmehr der Sicherung der optimalen Fußstellung, damit eine maximale Kraftentfaltung ermöglicht werden kann (vgl. Weineck, 1994, S. 195). Bei der Plantarflexion sind für die Ausführung des Platzwechsellmusters folgenden Muskeln vordergründig beteiligt (vgl. Weineck, 1994, S. 195; Tittel, 1994, S. 181ff):

- Der Zwillingsmuskel, M. Gastrocnemius.
- Der Schollenmuskel, M. Soleus.

Des Weiteren wirken steuernd mit:

- Der lange Großzehenbeuger, M. Hallucis Longus.
- Der lange Zehenbeuger, M. Digitorum Longus.
- Der hintere Schienbeinmuskel, M. Tibialis Posterior.
- Der lange Wadenbeinmuskel, M. Peroneus Longus.
- Der kurze Wadenbeinmuskel, M. Peroneus Brevis.

Das Anheben des Beines durch die Beugung (Anteversion) der Hüfte geschieht durch folgende Muskelgruppen (vgl. Schäffler & Schmidt, 1996, S. 136; Weineck, 1994, S. 190; Tittel, 1994, S. 164):

- Der gerade Schenkelmuskel, M. Rectus Femoris.
- Der Lenden-Darmbeinmuskel, M. Iliopsoas.
- Der Schenkelbindenspanner, M. Tensor Fasciae Latae.
- Der Schneidermuskel, M. Sartorius.

Die Innenrotation des Beines geschieht in Anlehnung an Schäffler & Schmidt (1996, S. 136), Weineck (1994, S. 190) und Tittel (1994, S. 164) durch folgende Strukturen des aktiven Bewegungsapparates:

- Der mittlere Gesäßmuskel, M. Glutaeus Medius.
- Der kleine Gesäßmuskel, M. Glutaeus Minimus.

- Der untere Anteil des großen Schenkelanziehers, M. Adductor Magnus.

Das Nachstellen des anderen Beines erfolgt durch eine Streckung der Hüfte (Retroversion). Eine dominante Rolle hierbei spielen hierbei zwei Muskeln (vgl. Schäffler & Schmidt, 1996, S. 140; Weineck, 1994, S. 191; Tittel, 1994, S. 164):

- Der große Gesäßmuskel, M. Glutaeus Maximus.
- Der große Schenkelanzieher, M. Adductor Magnus.

5.12 Die schnelle Beinstreckbewegung und die schnelle Körperlängsachsendrehung

Die Ausführung der letzten Phase einer wurftechnische Bewegung, des Niederwurfs oder Kake, geschieht in den meisten Fällen durch ein „groß“ oder „lang“ werden des Angreifers, um den benötigten exzentrischen Stoß am Körperschwerpunkt des Verteidigers vorbei einzuleiten und zu unterstützen. Dies geschieht oft durch eine schnellkräftige Extension im Knie- und Hüftgelenk, also in den unteren Extremitäten, bzw. eine schnelle Körperlängsachsendrehung im Rumpf. Das dazugehörige vermutete schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster wird als Wurfmuster bezeichnet.

5.12.1 Anatomische Grundlagen

Das Wurfmuster wird maßgeblich durch die Muskeln der unteren Extremitäten bestimmt, die streckend im Knie- und Hüftgelenk wirken. Streckend im Kniegelenk wirken nach Schäffler & Schmidt (1996, S. 142), Weineck (1994, S. 193f) und Tittel (1994, S. 176):

- Der vierköpfige Schenkelstrecker, M. Quadriceps Femoris.
- Der Schenkelbindenspanner, M. Tensor Fasciae Latae.

Die Streckung des Hüftgelenks geschieht nach (vgl. Schäffler & Schmidt, 1996, 140; Weineck, 1994, S. 191; Tittel, 1994, S. 164) durch folgende zwei Muskeln:

- Der große Gesäßmuskel, M. Glutaeus Maximus.
- Der große Schenkelanzieher, M. Adductor Magnus.

Die Körperlängsachsendrehung wird vorrangig durch folgende Muskeln eingeleitet (vgl. Weineck, 1994, S. 183ff):

- M. Rectus Abdominis.
- M. Obliquus externus abdominis.
- M. Obliquus internus abdominis.
- M. Iliopsoas.
- M. Pectoralis Major.
- M. Erector Spinae.
- M. Quadratus Lumborum.
- M. Latissimus Dorsi.
- M. Trapezius.

- M. Serratus Anterior.
- M. Sternocleidomastoideus.

5.13 Schnell sein allein genügt nicht – die Handlungsschnelligkeit

Eine schnelle wurftechnische Bewegung führt nur dann zum gewünschten Erfolg, wenn sie im geeigneten Moment eingesetzt wird. In diesem Zusammenhang werden die taktischen Fähigkeiten des Athleten zum limitierenden Faktor. Sie beschreiben das Vermögen, den geeigneten Moment abzupassen und umfassen außerdem die planvollen Einzelschritte im Rahmen eines Gesamtkonzeptes, welches wiederum als Strategie bezeichnet wird (vgl. Tschiene & Barth, 1997, S. 88; Kern, 1989, S. 13). Gutes taktisches Verhalten ist durch die Fähigkeit gekennzeichnet, die für einen bestimmten Moment am geeignetsten Handlungsweisen zu erkennen und auszuwählen (vgl. Martin et al., 1991, S. 229). Aus diesem Grund wurde in den Zweikampfsportarten der Begriff Handlungsschnelligkeit geprägt. Denn der situative, taktische Aspekt, also das Angreifen im richtigen Moment spielt hierbei eine übergeordnete Rolle (vgl. Hartmann, Kühn & Lehmann, 1987, S. 51). In die Handlungsschnelligkeit fließt demnach sowohl der Zeitbedarf für die kognitiven (informationellen) Prozesse als auch der Zeitbedarf für die motorischen Prozesse ein. Schnabel et al. (1997, S. 146) betonen, dass die Handlungsschnelligkeit somit eine komplexe psychophysische bestimmte Leistungsvoraussetzung darstellt, die vom Niveau der koordinativen, der konditionellen und der technisch-taktischen Fähigkeiten abhängt.

5.14 Zusammenfassung

Innerhalb der motorischen Komponente einer Kampfhandlung im Judo können vier Phasen detektiert werden, die mit einer möglichst hohen Geschwindigkeit ausgeführt werden sollten. Um das Gleichgewicht zu brechen, werden von den Judoka schnelle Armzug- und Armdruckbewegungen angewandt. Innerhalb dieser Arbeit gilt es zu zeigen, dass diesen schnellen Bewegungen mögliche schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster zu Grunde liegen, sie werden daher mit dem Arbeitsbegriff Armzug- und Armdruckmuster versehen. Die Bewegung, die der Einleitung der eigentlichen Wurfbewegung dient, wird als Platzwechsel bzw. Platzwechselmuster bezeichnet.

Bei der Wurfbewegung selbst muss ein exzentrischer Stoss durch den koordinierten Einsatz des Körpers des Angreifers eingeleitet werden, der den Gegner zu Fall bringt. Häufig ist dies eine Beinstreckbewegung und eine Körperlängsachsendrehung, das dazugehörige vermutete schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster wird als Wurfmuster bezeichnet.

Diese drei Bewegungen müssen koordiniert eingesetzt werden, damit die Wurfbewegung effektiv ist. Berücksichtigt werden muss hierzu ausserdem der situative oder taktische Aspekt. In den Zweikampfsportarten wird zur Darstellung dieses Sachverhalts der Begriff der Handlungsschnelligkeit gewählt. Er beinhaltet sowohl den Zeitbedarf für die kognitiven Prozesse, als auch den Zeitbedarf für die motorischen Prozesse einer Kampfhandlung.

Zur Schnelligkeit im Judo gibt es nur sehr wenig wissenschaftlich relevante Beiträge. Es gilt, dass es durch ein wurftechnikgebundenes schnelligkeitsorientiertes Training zu einer Aktivierung derjenigen motorischen Einheiten in den beteiligten Muskelgruppen kommt, die bei der jeweiligen Bewegungsausführung limitierend wirken. Hierbei soll es zu der Herausbildung eines Erregungsschemas kommen, welches eine Automatisierung der betreffenden Bewegung, einschließlich der dabei erforderlichen Kräfteinsätze, bewirkt. Es wird ein schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster gebildet.

Einzelne wissenschaftliche Untersuchungen von Nowoisky (1991) befassten sich mit der Anrisskraft in der Kuzushiphase, also der Phase in welcher zu Beginn des Wurfes das Gleichgewicht des Gegners gebrochen werden soll. Hierzu wurde ein spezielles Armkraftzugerät (AKZ) entwickelt, welches der Objektivierung der Anrisskräfte bei Technik- und Technikteilbewegungen von Würfen dient.

Nowoisky (1991, S. 18) beschreibt aufgrund seiner Ergebnisse als Anforderung für die erste Anrissphase (1. AP), dass die biomechanischen Kennwerte F_{max} als maximal momentan wirkende Beschleunigungskraft und tF_{max} als Dauer bis zur maximalen Kraftentfaltung F_{max} groß bzw. klein sein sollen. Nowoisky (1991, S. 19) formuliert in diesem Zusammenhang folgende Regel:

„Je größer die Anrisskraft ist, um so größer ist die Geschwindigkeit, und je größer die Geschwindigkeit ist, um so größer ist die kinetische Energie (Bewegungsenergie), die auf den Uke übertragen wird.“

(Nowoisky, 1991, S. 19)

Nachdem im bisherigen Verlauf der Arbeit schon mehrfach der Begriff der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster benutzt wurde, soll im folgenden Kapitel auf die theoretischen Grundlagen eingegangen werden. Indem diese Theorien in das Konzept der Arbeit eingearbeitet werden, sollen die Annahmen zur Existenz dieser schnellen neuromuskulären Innervationsmuster weiter beleuchtet werden.

6 Theoretische Grundlagen zum Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster

In diesem Kapitel wird näher auf den theoretischen Unterbau und die Charakteristika der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster eingegangen. Während die Funktionsanalyse im letzten Kapitel erklären sollte, welche Bewegungen welche Funktion im Hinblick auf das sportliche Ziel haben, geht es bei den hier vorzustellenden Informationsverarbeitungsansätzen darum, wie dies gelingt (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 176).

Schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster im Sinne schneller Bewegungen gelten als elementare Leistungsvoraussetzungen, die dominant an die Funktionalität des Nerv-Muskel-Systems gebunden sind.

In diesem Kapitel werden im Anschluss an die theoretische Erläuterung der Informationsverarbeitungsansätze verschiedene Theorien beschrieben, die Bewegungsentwürfe als parametrische Ausformung von Programmen bzw. neuromuskuläre Innervationsmuster erklären. Schnelle Bewegungen gelten als gesteuert, da sie aufgrund der kurzen Realisierungszeiten, einmal ausgelöst, während der Bewegung nicht korrigiert werden können. Die Feedback-Prozesse über die ausgeführten Bewegungen benötigen eine längere Zeit als die Bewegungen selbst, und können deshalb nicht korrigierend eingreifen. Solche Bewegungen gelten als gesteuert.

Im letzten Teil des Kapitels wird aufgezeigt, wie schnelle Bewegungen strukturiert sind, bzw. gesteuert und gespeichert werden.

In diesem Kapitel wird, damit die Quellen und Zitate der Autoren sinngemäß und im Original wiedergegeben werden, der Begriff „motorisches Programm“ des Öfteren verwendet. Trotzdem gilt, dass in der vorliegenden Arbeit dieser Begriff durch neuromuskuläre Innervationsmuster ersetzt werden soll, um die Abkehr von Metaphern hin zu Mechanismen zu verdeutlichen.

6.1 Die Stufen der Informationsverarbeitung

Die Informationsverarbeitungsansätze beschreiben eine Abkehr vom Behaviorismus, der menschliches Verhalten stets als Reiz-Reaktionsmuster beschrieben hat. Die Behavioristen lehnten Spekulationen über interne Steuerungs- und Regulationsmechanismen aufgrund forschungsmethodologischer Probleme als unwissenschaftlich ab (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 176). Definitorisch gesehen wird der Mensch in den Informationsverarbeitungsansätzen nach dem technischen Vorbild des Computers als Prozessor von Informationen aufgefasst. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen Aspekte der Speicherung, Kodierung, Transformation und des Abrufs verhaltensrelevanter Informationen (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 177).

Es werden drei Stufen der Informationsverarbeitung unterschieden, die in serieller Abfolge durchschritten werden (vgl. Schmidt, 1988, S. 76ff). Es sind dies die Stufen der Reizidentifikation, der Reaktionsauswahl und der Bewegungsprogrammierung.

6.1.1 Die Stufe der Reizidentifikation

Hier geht es darum, den aus der Umwelt über spezifische Rezeptoren eingehenden Reiz als bewegungsrelevant zu erkennen und zu identifizieren. Diese Identifikation benötigt Zeit und je komplexer die Information ist, desto größer ist der Zeitbedarf für die Identifikation.

Bei Wahlreaktionen wissen die Probanden erst nach dem Startsignal, welche Bewegung sie ausführen müssen. Das bedeutet, dass bei sogenannten Wahlreaktionsexperimenten die Reaktionszeit länger ausfiel als bei einfachen Reaktionen, bei welchen die Versuchsperson bereits vorher wusste, welche Bewegung sie ausführen muss. Die verlängerte Reaktionszeit bei Wahlreaktionen wird mit der Ladungszeit des Bewegungsprogramms erklärt. Bei einfachen Reaktionen wird das Programm schon vorab geladen. Diese Befunde werden häufig als Argumentation für die Idee der zentral gespeicherten Programme verwendet.

Hier wird bereits der fließende Übergang zur zweiten Stufe, der Reaktionsauswahl, offensichtlich.

6.1.2 Die Stufe der Reaktionsauswahl

Wie bereits dargestellt wurde, dauert der Auswahlprozess Zeit. Die Ergebnismuster aus Wahlreaktionszeitstudien lassen es zu, eine gewisse Gesetzmäßigkeit herauszuarbeiten. Das Hick'sche Gesetz besagt, dass die Reaktionszeit mit Verdoppelung der Alternativenzahl um einen relativ konstanten Betrag zunimmt (vgl. Hick, 1952). Roth & Willimczik (1999, S. 180) werten das Hick'sche Gesetz als Hinweis für die Angemessenheit der dem Informationsverarbeitungsansatz zugrunde liegenden Metapher des binärkodierte Computers.

6.1.3 Die Stufe der Bewegungsprogrammierung

In der dritten Stufe wird die Bewegungsantwort realisiert. Diese Stufe birgt gleichzeitig die größten Gefahren, denn selbst bei angemessener Reizidentifikation und Reaktionsauswahl ist nicht auszuschließen, dass es auf dieser Ebene zu einer falschen Bewegungsantwort kommt.

Neben der Komplexität der Bewegung wirken sich auch Geschwindigkeits- und Präzisionsanforderungen auf die Dauer des für die Bewegungsprogrammierung benötigten Zeitintervalls aus. Dieses Phänomen wird mit dem speed-accuracy trade-off erklärt, der an anderer Stelle noch erläutert wird.

Im Fitts'schen Gesetz findet man zusätzlich einen Hinweis, denn es besagt, dass die Bewegungszeiten mit zunehmender Schwierigkeit der Aufgabe zunehmen. Das vorgestellte Informationsverarbeitungsmodell legt die Sichtweise nahe, dass Bewegungen stets nach dem Muster der Reizidentifikation, Reaktionsauswahl und Bewegungsprogrammierung ablaufen. Dieses sequentielle Durchlaufen ist aber nicht immer der Fall.

6.1.4 Zur Bewegungssteuerung

In den Informationsverarbeitungsansätzen wird angenommen, dass alle bewegungsrelevanten Informationen schon vor Bewegungsbeginn vorliegen. Allerdings müssen nach dem Beginn der Bewegung auch Korrekturen möglich sein, wenn der Bewegter auf neue oder veränderte Reizkonstellationen trifft. Aus kybernetischer Sicht sind Systeme auf zwei mögliche Arten zu steuern. Einmal durch eine Befehlskette, die unbeeinflusst durch veränderte Reizkonstellationen abläuft und zum anderen im Sinne eines Regelkreises, der so lange arbeitet, bis der Vergleich vom IST zum SOLL-Wert eine Nulldifferenz anzeigt (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 185). Diese werden häufig auch als „open loop“ und „closed loop“ Theorien beschrieben.

6.2 Die „open loop“ und „closed loop“-Theorien

Den Fragen zur Speicherung von Bewegungen und deren Kontrolle stehen sich in der Motorikforschung zwei Theoriepositionen gegenüber. Lange Zeit wurden diese kontrovers diskutiert und immer wieder Positionen zur gegenseitigen Ausschließlichkeit verteidigt. Mittlerweile stehen beide Theorien nebeneinander und haben einen spezifischen Gültigkeitsbereich. Es gilt der Konsens, dass langsame Bewegungen ohne Zeitdruck durch das „closed loop“ Modell erklärt werden können und schnelle Bewegungen unter Zeitdruck über das „open loop“ Modell verifiziert werden (vgl. Rockmann-Rüger, 1991, S. 22ff).

Die Vertreter des „open loop“ Modells gehen von der Existenz motorischer Programme aus, welche motorische Fertigkeiten initiieren und steuern. Die einzelnen motorischen Aktionen werden durch die Programme kontrolliert. Menschliche Bewegungen sind demnach ohne Rückmeldeprozesse möglich. Die Rückmeldeprozesse haben eine initiierende Funktion, indem sie die richtige Programmauswahl ermöglichen. Durch die Überwachung der Ausführung über SOLL-IST Vergleiche wirkt das Feedback ausserdem als kontrollierende Instanz. Demgegenüber steht das „closed loop“ Modell. Es impliziert, dass gezielte Bewegungen mit der Einwirkung von Rückmeldeprozessen ablaufen. Informationen zum Ablauf und dem Resultat werden als notwendig erachtet. Nach dieser Theorie ist der permanente IST-SOLL-Wert Vergleich eine notwendige und nicht weg zu denkende Instanz.

Adams (1971) stellte in seiner „closed loop“ Theorie eine Gedächtnisspur (memory trace) vor, mit der eine Bewegung initiiert wird. Eine zweite Instanz, die Wahrnehmungsspur (perceptual trace) übernimmt die Kontrolle der gestarteten Bewegung. Im Verlauf des Lernprozesses sollen die mit dem korrekten Endziel der Bewegung verbundenen Wahrnehmungsqualitäten gespeichert werden.

Wäre dies tatsächlich der Fall, so wäre schon bei einfachen Bewegungen ein grosser zeitlicher und kognitiver Aufwand nötig. Eine Lösung hierzu sind die koordinativen Strukturen. Nach der Auffassung einiger Vertreter von ökologisch orientierten Aktionstheorien, wie Turvey (1977), Kugler et al. (1980) und Reed (1982) kontrollieren höhere Zentren des ZNS nicht einzelne Muskeln, sondern heterarchische, selbstorganisierte, aufgabenspezifische, invariante Kopplungen synergistisch arbeitender Muskeln. Diese Aktionssysteme werden vielfach auch als koordinative Strukturen beschrieben und realisieren bei ihrer Aktivierung die motorischen Handlungen.

Andere Argumente von Vertretern des „closed loop“ Modells zweifeln die Evidenzen zur Existenz von motorischen Programmen an. So wird in Frage gestellt, ob bei Deafferentierungsstudien auch tatsächlich alle kinästhetischen Reize ausgeschaltet sind. Trotzdem scheinen die kurzen Realisierungszeiten bei schnellen Bewegungen ein schwerwiegendes Argument für die Existenz von motorischen Programmen bzw. ähnlicher Mechanismen zu sein.

Die „closed loop“ Theorie ist somit wahrscheinlicher bei langsamen Bewegungen ohne Zeitdruck, denn nur hier kann ein SOLL-IST Abgleich getätigt werden. Es kann festgehalten werden, dass während der ersten 150 bis 200 ms die Bewegungen nach dem „open loop“ Muster ablaufen, ab diesem Zeitpunkt können, müssen aber nicht die „closed loop“ Mechanismen die Bewegungskontrolle übernehmen (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 188).

Die Theorie der generalisierten motorischen Programme (GMP-Theorie) von Schmidt, welche die beiden Ansätze in sich vereint, hat sich in zahlreichen Forschungsarbeiten bewährt und ihre Grundannahmen wurden lange Zeit als allgemein gültig angesehen. Die GMP-Theorie löst beispielsweise das in beiden Theorien aufgeworfene Speicherungsproblem. Denn die implizierten Annahmen zum einen der „open loop“ Theorie, wonach es für jede Bewegung ein eigenes Programm gibt und zum anderen die Existenz eines Vergleichsmechanismus für jede Bewegung bei der „closed loop“ Theorie wirft ein nicht unerhebliches Speicherungsproblem auf.

Nachdem dargestellt wurde, warum Bewegungen programmgesteuert sein könnten, sollen nun verschiedene Programmtheorien, unter anderem auch die GMP-Theorie, vorgestellt werden.

6.3 Programmtheoretische Erklärungsansätze zur Steuerung schneller Bewegungen

Das 1948 am „California Institute of Technology“ ausgetragene Hixon-Symposium leitete die sogenannte „kognitive Wende“ in der Motorikforschung ein. Davor dominierten bei der Erklärung komplexen Bewegungsverhaltens noch psychologisch orientierte behavioristische Ansätze, nach denen serielle Verhaltensorganisationen als Abfolge von Reflexketten zwischen Reiz und Reaktion erklärt wurden (vgl. Hossner, 1995, S. 17ff).

In der Folge wurden für die Erklärung hochkomplexen Bewegungsverhaltens nun informationstheoretische Ansätze hinzugezogen: Der menschliche Geist als „Software“, die auf der „Hardware“ Gehirn zu installieren sei. Lashley (1951) postulierte in diesem Zusammenhang, dass bei hochkoordinierten, schnellen Bewegungen aus Zeitgründen eine vorangeschaltete Planung und Organisation der Verhaltenssequenzen anzunehmen sei. Cratty (1969, S. 179) unterstützt diese Annahmen mit seinen Überlegungen, dass die Aktivierung peripherer Muskelstrukturen von Programmen initiiert wird, die ihren Ursprung in den höheren Zentren haben. Es wird somit angenommen, dass Bewegungen durch gespeicherte Programme und reafferente Regelungen bedingt werden (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 69). Keele (1968, S. 387) definiert motorische Programme als

„a set of muscle commands that are structured before a movement sequence begins, and that allows the sequence to be carried out uninfluenced by peripheral feedback“.

Die Definition von Keele impliziert, dass die motorischen Programme vorprogrammiert werden. Fundiert werden diese Überlegungen durch die Erkenntnis, dass die Reaktionszeiten bei Wahlreaktionen mit zunehmender Komplexität der Reaktionen bei Experimenten zunehmen (vgl. Hyman, 1953). Bei Wahlreaktionen wissen die Probanden erst nach dem Startsignal, welche Bewegung sie ausführen müssen. Das bedeutet, dass bei diesen Experimenten die Reaktionszeit länger ist als bei einfachen Reaktionen, bei welchen die Versuchsperson bereits vorher weiß, welche Bewegung sie ausführen muss. Die verlängerte Reaktionszeit bei Wahlreaktionen wird mit der Ladungszeit des Programms erklärt. Bei einfachen Reaktionen wird das Programm schon vorab geladen, bei Wahlreaktionen fällt die Ladezeit des Programms in die Reaktionszeit mit ein.

Einfache schnelle Bewegungen laufen demnach sequenziell und im bereits beschriebenen Sinn als Programme ab. Die einzelnen Sequenzen werden bei Bauersfeld & Voss (1992) als Zeitprogramme bezeichnet. Diese festgelegten (gelernten) Programme werden im ZNS erstellt (vgl. Keele, Cohen & Ivry, 1990) und bereits vor Bewegungsbeginn präzise ausgeformt (vgl. Wulf, 1994).

Es wird vermutet, dass aufgrund der kurzen Dauer von schnellen Bewegungen keine Rückkoppelungsmechanismen ablaufen. Keele (1973, S. 124) beschreibt zum Konzept der motorischen Programme feedback in diesem Sinne als unnötige Maßnahme:

“If neither visual nor kinesthetic feedback is needed for the execution of patterns of movement, then the movement patterns must be represented centrally in the brain, or perhaps in some cases in the spinal cord. Such representation is called a motor program. As a motor program is executed, neural impulses are sent to the appropriate muscles in proper sequence, timing, and force, as predetermined by the program, and the neural impulses are largely uninfluenced by the resultant feedback.”

Zwar gibt es sowohl Befunde die gegen das Konzept der motorischen Programme sprechen, aber auch genügend Hinweise die dafür sprechen. Zumindest für schnelle Bewegungen, die eine kurze Zeitdauer aufweisen, kann ein Programmcharakter oder ähnlicher Mechanismus vermutet werden. Denn aufgrund der kurzen Bewegungszeiten, sind Feedback-prozesse, welche modifizierend auf die Bewegung wirken, eher unwahrscheinlich. Die Unfähigkeit eine einmal gestartete Bewegungssequenz nicht mehr korrigieren zu können, gilt als grundlegend für den Programmcharakter. Die Bewegung muss folglich vorher determiniert sein und ist wird wohl im Sinne eines Programms generiert.

Ein motorisches Programm sendet zeitlich strukturierte Impulsmuster an die relevanten Muskelgruppen und kodiert damit Informationen wann welcher Muskel wie lange aktiv sein soll (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 189).

Roth (1982, S. 56f) beschreibt den gleichen Sachverhalt in Anlehnung an Hayes & Marteniuk (1976, S. 202) als

„zentral gespeicherte Pläne für Bewegungssequenzen, welche den Ablauf menschlicher Selbstbewegungsakte kontrollieren“.

Innerhalb dieser werden erlernte oder angeborene efferente Kommandos im Zentralen Nervensystem abgerufen, die eine bestimmte sequentielle und zeitliche Ordnung zur Realisierung der Zielbewegung aufweisen. Diese Programme dienen der Beschreibung motorischer Kontroll- und Speicherungsstrategien des Zentralnervensystems.

Moderne Programmtheorien weisen eine Programm- und Parameter-Trennung auf. Diese Trennung bezieht sich auf den Erwerb des grundlegenden Ablaufs (Programmerwerb) und der übungsabhängigen Fähigkeit zur Variation einer Bewegung in Bezug zu den räumlichen und zeitlichen Parametern (Parametrisierung). Analog zu den Algorithmen digitaler elektronischer Computer soll ein einzelnes motorisches Programm Klassen ähnlicher Bewegungsformen mit gleicher zeitlich-dynamischer Struktur autonom steuern können.

Die älteren Programmtheorien basieren darauf, dass das ZNS willkürliche Bewegungen über serielle, hierarchisch geordnete Prozesse und Regelmechanismen steuert. Hierzu äussert sich Konczak (1996) kritisch. Denn er vertritt die Annahme, dass ein generalisiertes motorisches Programm von spezifischen Formen der neuronalen Architektur abhängig ist. Diese weisen hochgradig parallele Strukturen mit zahlreichen Zwischenverbindungen auf. Dass

solche Strukturen auch Formen der Selbstorganisation möglich machen, wird in den meisten Programmtheorien jedoch nicht berücksichtigt.

Ursprünglich wurde angenommen, dass für jede Bewegung ein eigenes Programm existiert. Diese „*one-to-one-motor program idea*“ brachte die Diskussionen um das „*storage-problem*“, das Speicherkapazitätsproblem auf, da es unmöglich erscheint, eine derart große Anzahl von Handlungsentwürfen zu speichern (vgl. u.a. Schmidt, 1994; Roth, 1983). In den modernen Theorien wird daher von allgemeinen motorischen Programmen für bestimmte Bewegungsklassen ausgegangen. Wie differenziert sich diese bezüglich des Umfangs darstellen, wird kontrovers diskutiert. Schmidt (1994, S. 22) erklärte in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Umfänge für zweitrangig, solange die 1:1 Speicherungstheorie verworfen wird. Die Diskussion um die Existenz motorischer Programme ist bis heute noch nicht abgeschlossen. Bislang gibt es noch keine echten Beweise, allenfalls Hinweise für das Vorhandensein dieser Programme. Allerdings stellt Roth (1990, S. 11) hierzu fest, dass sich trotz einer Reihe von Gegenargumenten mit einer mittlerweile grossen Anzahl von experimentellen Befunden, anekdotischer Evidenzen und Plausibilitätsüberlegungen die Annahme sogenannter generalisierter motorischer Programme gestützt werden kann. Diese Plausibilitätsüberlegungen scheinen in besonderem Maße auf schnelle Bewegungen übertragbar zu sein. Auf diese Überlegungen wird nun eingegangen.

6.4 Plausibilitätsüberlegungen zur Existenz gesteuerter Bewegungen

Schmidt (1994, S. 21) führt als wichtigsten Hinweis für die Existenz motorischer Programme die Tatsache an, dass viele Bewegungen schneller als die Rückkoppelungsmechanismen (Feedback) ablaufen. Eine feedback-Schleife dauert je nach Rezeptor der verschiedenen Analysatoren, zwischen 110 ms (Propriozeptoren) bis hin zu 190 ms (visuelles feedback).

Unterstützt werden diese Annahmen einmal von Lashley (1917 in: Schmidt, 1994, S. 20) der von einem rückenmarksverletzten Patienten berichtet. Dieser war trotz seiner Verletzung noch in der Lage, sein Bein mit überraschender Genauigkeit zu bewegen, ohne irgend etwas von dieser Bewegung spüren zu können, also ohne jegliche feedback-Schleifen. Ein Versuch von Wilson an Insekten (1961, in: Schmidt, 1994, S. 21), an welchen er die Flügelmuskulatur und dazugehörige Gelenke deafferentierte, liefert weitere Hinweise, dass es offensichtlich motorische Programme gibt, die ohne sensorische Rückkopplung Bewegungen steuern. Bernstein (1988, S. 82) verweist zudem auf die Existenz von Bewegungsfertigkeiten und automatisierten Bewegungen als Beweis für motorische Programme. Es sei außerdem offenbar (Bernstein, 1988, S. 82), dass für schnelle Bewegungen ein vorangehendes Programmieren der Bewegung notwendig sei, wogegen langsamere Bewegungen durch den Grad des möglichen und auch

wünschenswerten Umprogrammierens während der Bewegung charakterisiert werden (vgl. Cratty, 1979, S. 172).

Keele (1968) resümiert aus einer Reihe von Deafferentierungsstudien, dass Bewegungen prinzipiell ohne kinästhetisches feedback möglich sind und damit zentral organisiert sein müssen. Dies stützt die Annahme zur Existenz motorischer Programme, die durch zentral vorstrukturierte Befehle an die Muskulatur eine Bewegungsausführung ohne die Involvierung peripherer Rückmeldungen ermöglichen. Unterstützung erfahren diese Überlegungen auch aus trainingswissenschaftlichen Erkenntnissen, wonach die Kraftzunahme von Anfängern im Krafttraining weniger auf einer Hypertrophie der beanspruchten Muskulatur zurück zu führen ist als vielmehr auf einer optimierten neuralen Steuerung der Muskeltätigkeit, die gemeinhin auch als intermuskuläre und intramuskuläre Koordinationsfähigkeit bezeichnet wird (vgl. Sale, 1994, S. 249).

Es wird angenommen, dass Bewegungen mit einer Dauer unter 200 ms - einmal ausgelöst - wie geplant in Form motorischer Programme ablaufen. Sobald die Bewegung korrigiert werden muss, beispielsweise aufgrund äußerer Einflüsse, kann der Handelnde diese Korrekturmaßnahmen erst nach 200 ms ausführen. Die Kontrolle erfolgt nach Schmidt (1994) nach dem Modell des offenen Regelkreises, denn Reize aus der Peripherie können erst dann ein neues Programm auslösen, wenn das alte bereits eine Reaktionszeit lang gelaufen ist.

Allerdings werden auch Einwände gegen das Postulat formuliert, dass Bewegungen unter 200 ms „ohne Einwirkung der peripheren Rückkopplung“ stattfinden weil das Muskelspindelssystem bereits nach 20 bis 30 ms aktiv wird (Schmidt, 1994, S. 23).

Im Widerspruch hierzu postuliert erneut Schmidt (1994, S. 23) dass die Zeit, die ein Programm ohne Veränderungen ablaufen muss, vermutlich im Zeitraum bis hin zu 400 ms und vielleicht auch länger liegt. Denn es scheint unwahrscheinlich zu sein, dass der Ausführende den Fehler entsprechend früh detektieren kann. Schließlich müsse die Bewegung erst einmal ablaufen, bevor Fehler entdeckt werden und als solche kategorisiert werden können.

Die wissenschaftliche Richtung, welche die Existenz motorischer Programme anzweifelt, wird als „action approach“ bezeichnet (im Gegensatz zu den Anhängern des „motor approach“) (vgl. im Überblick: Semmler, 1994, S. 27ff; Rockmann-Rüger, 1991, S. 18ff). Vertreter dieser Richtung werfen den Vertretern des motorischen Ansatzes vor, sie würde die Computermetapher fälschlicherweise auf biologische Systeme übertragen.

Der „action approach“ wird auch als ökologischer Ansatz bezeichnet. In diesem wird die Existenz von motorischen Programmen bzw. zentraler Repräsentationen negiert. Die Frage um die Kontrolle der Freiheitsgrade des motorischen Systems wird durch die Existenz sogenannter „koordinativer Strukturen“ erklärt. Hierbei

handelt es sich um einen temporären Zusammenschluss von Muskelgruppen zu einer funktionalen Einheit. Die Kontrolle von Bewegungen ist abhängig von den aus der Umwelt aufgenommenen afferenten Informationen. Diese beeinflussen die Handlung und die Handlung wiederum entscheidet, welche Informationen aufgenommen werden. Der Ansatz des „action approach“ basiert auf einem Prozess der ständigen wechselseitigen Beeinflussung afferenter und efferenter Informationen.

6.5 Die Theorie der generalisierten motorischen Programme (GMP-Theorie) nach Schmidt

In der psychomotorisch orientierten Schematheorie des motorischen Lernens von Schmidt (1975) werden die Bewegungsprogramme mit dem Arbeitsbegriff generalisiertes motorisches Programm (GMP) versehen. Eine Grundannahme dieses Programmkonzepts liegt darin, dass sichtbares Bewegungsverhalten aus der Aktualisierung zentral gespeicherter Motorikprogramme entsteht. Diese Motorikprogramme sind dadurch charakterisiert, dass sie durch strukturierte Befehle die Impulsfolge der Muskelaktivität steuern. Generalisierte motorische Programme stehen für bestimmte Klassen von Bewegungen und beinhalten einige wenige invariante zeitliche und dynamische Strukturelemente. Als wesentliche invariante Parameter dieser Programme gelten das relative timing (phasing), der relative Krafteinsatz (relative forcing) sowie die Abfolge der Innervationen (sequencing). Sie werden in einem bestimmten Muster ausgeformt und als Programm im recall-Gedächtnis (Motorikgedächtnis) abgespeichert. Im recognition- (Wiedererkennung-, oder Wahrnehmungs-) Gedächtnis werden die Parameter für bestimmte Bewegungen gespeichert. So ist festzustellen, dass die Stabilität von Bewegungen im wesentlichen durch die Motorikprogramme bestimmt wird, während die Variabilität durch die flexiblen Programm-Parameter erhalten wird. Folgende Aufgaben kommen diesen beiden Konstrukten nach Schmidt (1976, S. 45f) zu:

„...but basically recall memory is the state responsible for generation of impulses to the musculature that carry out movement (or movement corrections), while recognition memory is the state responsible for evaluation of response – produced feedback that makes possible the generation of error information about the movement.”

Nach Roth & Willimczik (1999, S. 191) ermöglicht das recognition-Gedächtnis bei Bewegungen kürzerer Dauer ein Weiterlernen ohne externe Rückmeldung im Sinne einer subjektiven Verstärkung. Rockmann-Rüger (1991, S. 28) konstatiert, dass schnelle Bewegungen durch die im recall-Gedächtnis gespeicherten motorischen Programme kontrolliert werden. Die anschließende Bewertung, also der closed loop Anteil, erfolgt über das recognition-Gedächtnis. Bei langsamen Bewegungen hat das Motorikgedächtnis neben dem Wahrnehmungsgedächtnis eine untergeordnete Rolle, denn dort sind die Vergleichsmechanismen abgespeichert. Dies schließt

nach Rockmann-Rüger (1991, S. 28) jedoch nicht aus, dass auch längerandauernde Bewegungen (bis ca. 1300 ms) durch ein motorisches Programm vorgesteuert sein können.

Die variablen Merkmale erhält man aus der definierten Grundstruktur des Programms. Sie variieren in den absoluten Zeiten („overall duration“) und den absoluten Kräften („overall forces“). Roth & Willimczik (1999, S. 189) fassen diese Überlegungen in der Gestaltkonstanzhypothese zusammen. Diese besagt, dass ein generalisiertes motorisches Programm in seiner über dynamisch-zeitliche Relationen definierten Gestalt erhalten bleibt, wenn es mit veränderten Parametern ausgeführt wird. Die Kraft- und Zeitparameter können also gestaucht oder gedehnt sein, das motorische Programm bleibt in seiner Grundstruktur erhalten. Motorisches Lernen nach der Schematheorie beinhaltet somit ein Programm- und ein Parameter-Lernen (vgl. Weigelt, 1997, S. 57; Wollny, 1993, S. 15).

Untersuchungen von Wulf (1994) zur Optimierung motorischer Lernprozesse zeigten in Bezug zum Programm- und Parameterlernen, dass randomisiertes Üben zum Auftreten von Kontext-Interferenz-Effekten zu einem besseren Lernen des generalisierten motorischen Programms führte, während blockweises Üben günstiger für das Parameter-Lernen zu sein scheint.

Die theoretische Grundlage der GMP-Theorie bildet die Impuls-Timing Hypothese. Hiernach werden die an der (sportlichen) Bewegung beteiligten Muskelgruppen durch zentral repräsentierte Zeit- und Kraftinformationen gesteuert. Motorische Programme sind nach Schmidt bestimmte Impuls-Timing-Muster, die festlegen welcher Muskel in welcher Reihenfolge, mit welchem timing, in welchen Kraftrelationen kontrahieren soll (vgl. Semmler, 1999, S. 54).

Die situationsbedingte Feineinstellung erfolgt unter Hinzunahme der Gestaltkonstanz-Hypothese, wonach verschiedene modifizierbare Parameter in zeitlicher und/oder dynamischer Hinsicht gedehnt oder gestaucht werden können, ohne dass die Struktur der oben genannten Elemente verändert wird. Diese Parameter dienen der Kontrolle von empirisch abgrenzbaren Klassen ähnlicher Bewegungsfertigkeiten.

Um die einzelnen Parameter zu identifizieren, müssen diese variiert werden. Bleiben diese trotzdem konstant, so kann davon ausgegangen werden, dass der Parameter im GMP vorliegt (vgl. Rockmann-Rüger, 1991, S. 29). Befunde hierzu wurden beispielsweise in Handschrift-Untersuchungen vorgelegt. Hinsichtlich der Programm- und Parameterspezifikation zeigte Roth (1987, S. 140ff) im Handball, Tischtennis und Hockey, dass diese seriell angelegt sein müssen. In der Reihenfolge kommt es zunächst zu einer Programmspezifikation bevor eine Festlegung der Parameter erfolgt. Wobei die Auswahl des Programms zeitaufwendiger erscheint. Innerhalb der Parameter selbst wird eine parallele Verarbeitungsweise vermutet (Roth, 1987, S. 162).

Roth (1989) liefert Befunde, nach denen die Programmierung und Parametrisierung von Bewegungen zeitlich nacheinander erfolgen (fixed-order Hypothese). Nach der Auswahl der Bewegung, und damit des Programms, erfolgt die Spezifikation der zeitlichen und räumlichen Parameter unter Hinzunahme der Basalganglien und des Kleinhirns.

In diesem Zusammenhang wird postuliert, dass das Aneignen der motorischen Programme offensichtlich gelernt wird, während die Parametrisierung geübt wird. Damit stellen beide Konstrukte einen relativ eigenständigen Mechanismus dar. Dass schnelle motorische Programme eine gewisse Lern- und Übungsabhängigkeit aufweisen, wird auch durch statistisch gesicherte Befunde untermauert, nach denen es eine extremitätenspezifische Schnelligkeit gibt und Sportler über schnelle Bein- aber langsame Armbewegungen verfügen können (vgl. Smith, 1961 in: Hollmann & Hettinger, 1990, S. 275).

In einer umfangreichen Studie untersuchte Wollny (1993), ob die GMP-Theorie auf sporttypische Fertigkeiten angewandt werden kann. Für komplexe menschliche Willkürbewegungen präziserte Wollny (1993) die diesbezüglichen Aussagen wie folgt.

Demnach sind das sequencing und das relative timing die wesentlichen invarianten Elemente der motorischen Programme. Auch scheinen sich diese Parameter in direkter Abhängigkeit voneinander zu entwickeln. Dagegen widerlegten Wollnys EMG-Studien die von Tyldesley & Whiting (1975) und Wollstein & Abernethy (1988) aufgezeigte Invarianz der absoluten Bewegungszeit (vgl. Wollny, 1993, S. 237f).

Das sequencing und das relative timing behält auch während breiter Modifikationen des zeitlichen Programmparameters Gesamtbewegungszeit seine grundlegende Struktur. Für bestimmte Geschwindigkeitsintervalle bleiben diese Parameter konstant, das heißt sie unterliegen einer proportionalen Dehnung bzw. Stauchung der zeitlichen Invarianzen (vgl. Wollny, 1993, S. 238).

Bezüglich des Lernfortschritts und der Aneignung neuer Bewegungsmuster konstatiert Wollny (1993, S. 238f), dass sich die zeitlichen Invarianzen scheinbar in direkter Abhängigkeit voneinander herauszubilden scheinen. Es wurde herausgefunden, dass sie sich in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess auszuformen und zu stabilisieren scheinen.

Wollny's Studien bestätigten die Unabhängigkeit der generalisierten motorischen Programme von der auszuwählenden Muskulatur. Es zeigte sich eine hohe Stabilität sowohl der relativen Zeitwerte als auch in der Abfolgeorganisation bei Bewegungen, die einmal mit der rechten und einmal mit der linken Körperseite ausgeführt wurden (vgl. Wollny, 1993, S. 193f).

6.6 Kritik an der GMP-Theorie, am Programmbegriff und weitere Theorien zur Erklärung schneller neuromuskulärer Innervationsmuster

Die Theorie der generalisierten motorischen Programme gilt heute als überwunden. Einige der Kritikpunkte, die zum Verlust der Popularität der GMP-Theorie beitrugen, sollen im folgenden Teil skizziert werden.

Zum einen kann die Theorie der Generalisierten Motorischen Programme nicht erklären, wie Motorikprogramme überhaupt erworben werden können (vgl. Whiting, Vogt & Vereijken, 1992). Daneben bleibt bei Schmidt (1975) die Frage offen, welche Bewegungen mit einem Motorikprogramm gleichgesetzt werden können:

„Ist es im Sport etwa die Klasse der Schlagbewegungen, der Vorhand-Schläge, der Vorhand-Schläge im Tennis oder allein der mit Top-Spin oder topspin-cross gespielte Ball mit einem Motorikprogramm gleichzusetzen?“

(Roth & Willimczik, 1999, S. 206)

Der Sportler müsste also schon vor dem Beginn der Bewegung wissen, dass die zum dazugehörigen Programm benötigten Parameter aufbauen müsste, diese werden aber eigentlich erst aufgrund der gesammelten Erfahrungen modifiziert und angepasst.

Des weiteren liegen Invarianzstudien vor, die die GMP-Theorie von Schmidt in Frage stellen. So fand beispielsweise Hommel (1993) bei einer sequentiellen Tastendruckaufgabe, dass Verhaltensmuster erworben werden, in denen entweder die Zeitverhältnisse zwischen den Tastendrücken (relative Zeiten), die Gesamtbewegungsdauer (absolute Zeit) oder die für die erste Teilbewegung benötigte Absolutzeit vergleichsweise konstant gehalten werden. Auch Wolny (1993) konnte die Allgemeingültigkeit der invarianten Elemente in der GMP-Theorie teilweise widerlegen.

Roth & Willimczik (1999, S. 207) kritisieren außerdem, dass die von Schmidt (1975) angenommenen Funktionsprozesse nicht mit den Abläufen, die man im Zentralen Nervensystem bereits kennt, in Verbindung gebracht werden können.

Kritisiert wird auch der Begriff des motorischen Programms. Zu groß sind die Unterschiede zwischen einem Computer und dem menschlichen ZNS. Denn das Gehirn enthält viele Milliarden von Schaltelementen, die nicht seriell, sondern parallel ablaufen und dadurch ungleich fehleranfälliger sind (vgl. Neumann, 1993, S. 67f.):

„Als man sich den klassischen Computer zum Vorbild psychologischer Theorien nahm, entschied man sich für theoretische Konzepte, die weit von der Biologie entfernt sind. Computer haben keine Arme und können sich nicht aus eigener Kraft fortbewegen. Sie haben eine begrenzte Verarbeitungs- und Speicherkapazität. Ihre Prozessoren arbeiten seriell. Sie rechnen schnell und genau. Lebewesen, jedenfalls hochentwickelte wie wir Säugetiere, sind in allen diesen Aspekten den gegenteiligen Bedingungen unterworfen: Sie sind hochgradig mobil. Sie sind mit einem komplexen System von Effektoren ausgestattet, das gesteuert werden muss. Ihr Gehirn enthält viele Milliarden von Schaltelementen, die parallel arbeiten, aber ungleich

langsamer und fehleranfälliger sind als ein Computer-Chip. Kurz, man kann sich schwerlich zwei funktionell verschiedenere Systeme vorstellen als einen biologischen Organismus und einen klassischen Rechner ...

Wer für den einen als Vorbild optierte, musste sich notwendigerweise von dem anderen entfernen.“

(Neumann, 1993, S. 67 f.).

Wie bereits in der Einleitung erläutert, solle daher eine Umorientierung von Metaphern zu Mechanismen stattfinden (Neumann, 1992). Denn die computeranaloge theoretische Modellierung scheint an ihre Grenzen zu stoßen (Daug, 1994, S. 29). Daher wird in dieser Arbeit der Begriff der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster, dem der kurzen Zeitprogramme oder der neuromuskulären Bewegungsprogramme bevorzugt.

Der programmorientierte Ansatz geht davon aus, dass das motorische Programm über mehrere Stufen hinweg perfektioniert wird, um die Bewegung frei von Fehlern zu machen und die Ausführungsvariabilität zu minimieren. Nun ist es aber so, dass eine gewisse Ausführungsqualität gerade im Leistungssport unter den gegebenen situativen Anforderungen wichtig ist. Wagner, Müller & Brunner (2004) führten eine Trainingsstudie durch und verglichen programmorientierte Lernmodelle mit systemdynamischen Lernmethoden, bei welchen die Fehler bzw. Variationen eine Notwendigkeit darstellen. Sie fanden eine eindeutige Präferenz des systemdynamischen gegenüber des programmorientierten Ansatzes. Werden zudem die Theorien der Synergetik und der Selbstorganisation (Haken, 1996, Kelso 1999) bzw. das Problem der Freiheitsgrade des menschlichen Körpers betrachtet (Bernstein, 1988) so kann daraus gefolgert werden, dass Varianzen in der Bewegungsausführung notwendig sind, indem die ausgenutzt werden, um auf diesem Wege den individuell idealen Lösungsweg zu finden. In diesem Sinne rücken zunehmend Theorien der nichtlinearen Dynamik in das Zentrum des Interesses. Der Begriff motorisches Programm gilt als überwunden.

Zunehmend rücken hierarchische Sequenzierungsmodelle in das Zentrum des Interesses (vgl. Rosenbaum, 1991). Die im folgenden Abschnitt vorgestellte Engrammtheorie kann in diesem Zusammenhang als theoretisches Sequenzierungsmodell verstanden werden und erklären, wie die vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster abgespeichert werden (Meinel & Schnabel, 1998, S. 57; Roth, 1999, S. 208). Die Engrammtheorie geht auf Bernstein (1988) zurück, der in der Regulierung von Willkürbewegungen nicht an reflexartige automatische Prozesse denkt, wie dies noch in den behavioristischen Ansätzen der Fall war, sondern dass diese im Nervensystem eingraviert sind (bei Tieren) bzw. dass es sich um weniger automatisierte Funktionen auf höheren Ebenen handelt.

6.6.1 Die Engrammtheorie

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass Bewegungen komplex, also als größeres fertiges Programm im Zentralnervensystem abgespeichert werden. Dies würde den menschlichen Organismus vor erhebliche Speicherkapazitätsprobleme stellen (vgl. u.a. Schmidt, 1994; Roth, 1982).

Komplexe Bewegungen müssen eine hohe Variabilität bewahren, um sich auf veränderte Bedingungen einstellen zu können. Es ist unwahrscheinlich, dass solche komplizierten Bewegungen 1:1 abgespeichert sind. Daher wird die Auffassung vertreten, dass komplexe Bewegungen durch gespeicherte Unterprogramme strukturiert werden. Regulationen im Bewegungsablauf sind dann vorrangig durch die Unterprogrammfolge (vgl. Bernstein, 1988), aber nicht innerhalb der Unterprogramme selbst möglich (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 28). Diese Unterprogramme werden von Bernstein (1988, S. 187) als im ZNS gespeicherte Bewegungsformeln beschrieben, die den Bewegungsablauf in seiner gesamten zeitlich-räumlichen Struktur beschreiben.

Sie werden in Form von Engrammen gespeichert. Engramme sind während der gesamten Zeit, solange die motorische Fertigkeit existiert, im ZNS in latenter Form präsent. In der physiologisch orientierten Literatur werden Engramme als „in ihrem Mechanismus noch unbekannte“ Gedächtnisspuren beschrieben (Schmidt & Thews, 1990, S. 166).

Ähnliche Überlegungen zur Existenz von Unterprogrammen stellten Young & Schmidt (1990) an. Sie definieren motorische Programme als Einheiten der Bewegungskontrolle (units of movement control). In ihrer Theorie steuert ein einzelnes GMP einzelne Teilbewegungen (units) und nicht wie bei Schmidt (1982) eine ganze Bewegungsklasse. Diese units zeichnen sich durch invariantes timing und hohe Korrelationen zwischen aufeinander folgender „landmarks“ aus. Aufgrund ihrer Untersuchungsergebnisse, gehen sie davon aus, dass eine unit zum einen zweidirektional sein kann und zum anderen 500 ms und länger dauern kann. Semmler (1999) kritisiert an diesen Theorien, dass sie das Speicherproblem wieder aufwerfen, welches durch den Schmidtschen Ansatz der generalisierten motorischen Programme zwischenzeitlich gelöst war.

Einen weiteren Hinweis auf das Vorhandensein von Engrammen liefern die Überlegungen von Gallistel (1980). In seinem Fourierkodierungsmodell werden die natürlichen Schwingungseigenschaften (Oszillationen) der menschlichen Motorik als psychologisch nachweisbare Verarbeitungsprinzipien einer ökonomischen zentralen Programmierung und Kontrolle motorischer Handlungsverläufe betrachtet. Frequenzanalysen lassen nach Gallistel die Schlussfolgerung zu, dass bei einfachen motorischen Aktionen die Aktivität zentraler und peripherer bewegungssteuernder Oszillationen direkt über im ZNS gespeicherte Engramme kontrolliert werden. Dabei erfolgt die Auswahl situationsangemessener Engramme durch die Wahrnehmung externer und interner Reizkategorien sowie durch die

Willkür. Komplexere Bewegungen werden durch das Zusammenspiel einer größeren Anzahl einzelner Engramme gesteuert.

Bei der Betrachtung schneller Bewegungen unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster bzw. der Zeitprogramme wird in den Arbeiten von Bauersfeld & Voss (1992, S. 48) die Engrammtheorie favorisiert. Gleichzeitig darf jedoch nicht angenommen werden, dass die Engrammtheorie alle Mechanismen hinreichend erklären kann. Elementare Leistungsfähigkeiten werden hiernach in Form von Engrammen (Unterprogramme) gespeichert. Als Beispiel hierfür gelten die im Nieder-Hochsprung von Bauersfeld & Voss (1992) nachgewiesenen Zeitprogramme.

Unter einem Engramm werden mehr oder weniger verfestigte Verschaltungen bzw. Vernetzungen (Gedächtnisspuren) an den Synapsen der Nervenzellen verstanden, welche die Grundlage einer Organisation der Informationsverarbeitung und damit der Bewegungsregulation darstellen (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 72) (vgl. Abb. 12).

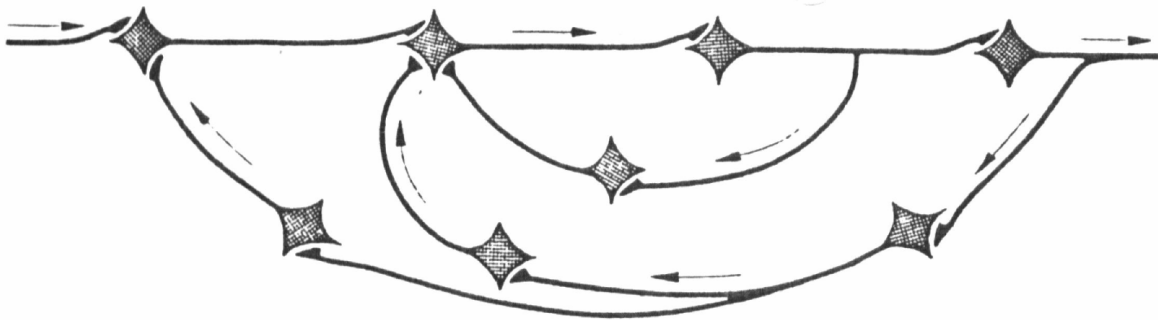


Abbildung 12: Neuronenverschaltung, die (hypothetisch) zu kreisenden Erregungen führen kann (Schmidt, 1977, S. 116 aus: Daugs et al., 1991, S. 70)

Die Engrammtheorie ermöglicht eine Beschreibung, wie schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster im ZNS abgespeichert werden.

Neurophysiologisch gesehen werden schnelle Bewegungen demnach zunächst in Form eines dynamischen Engramms gespeichert. Diese dynamischen Engramme entstehen nach Martin et al. (1991, S. 68) durch intensive neuronale Aktivitäten im ZNS, die in diesem Sinne gewisse Spuren hinterlassen. Bereits nach wenigen gleichartigen Wiederholungen wird dieses noch nicht stabile Engramm in ein stabiles (statisches) Engramm überführt, welches dann sehr störungsresistent bleibt (vgl. auch die Orsolin'sche Schnelligkeitsbarriere). Allerdings können in diesem Zusammenhang auch fehlerhafte neuromuskuläre Innervationsmuster bzw. in Bezug zur Schnelligkeit langsame neuromuskuläre Innervationsmuster, ausgebildet werden, die ebenfalls eine hohe Stabilität aufweisen (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 48).

In diesem Sinne werden schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster gelernt. Es geht um die Bildung und Verfestigung (Konsolidierung) von spezifischen

synaptischen Bahnungen und Verschaltungen im neuronalen Netz des Zentralnervensystems (ZNS), also von spezifischen Gedächtnisspuren (vgl. Neumaier, 1997, S. 218).

Die Engramme bilden eine wichtige neuronale Grundlage des kognitiven Lernens. Demnach werden Informationen in Form kreisender Erregungen in einem räumlichen zeitlichen Muster gespeichert (dynamisches Engramm). In der anschließenden Konsolidierungsphase führt diese reverberatorische Erregung zu strukturellen Veränderungen an den beteiligten Synapsen. Aus dem dynamischen Engramm wird ein strukturelles oder stabiles Engramm. Der dadurch erlangte Gedächtnisinhalt wird dann über eine entsprechende Aktivierung dieser Verschaltungen abgerufen. Dieses von Schmidt & Thews (1990, S. 171) beschriebene „Konzept der kreisenden Erregung“ unterstreicht die Erkenntnis, dass zu Erlernendes stets wiederholt werden muss.

Es soll nun ein neurophysiologisch orientiertes Lernmodell zur Engrammtheorie dargestellt werden.

6.6.1.1 Ein Lernmodell zur Engrammtheorie

Das motorische Gedächtnis wird durch mindestens zwei Instanzen bestimmt, dem Kurzzeit- und das Langzeitgedächtnis. Weitere Einteilungen folgen diesem Schema, beginnend mit dem sensorischen Gedächtnis, dem das primäre Gedächtnis folgt. Diesem reißen sich schließlich das sekundäre und das tertiäre Gedächtnis an. In der klassischen Zweiteilung wird das sensorische mit dem primären Gedächtnis zum Kurzzeitgedächtnis zusammengefasst. Das sekundäre und das tertiäre Gedächtnis werden zum Langzeitgedächtnis zusammengefügt (vgl. Göhner, 1999, S. 136).

Nach Laudin (1977, S. 44f.) gibt es noch ein Mittelzeitgedächtnis. Er teilt den unterschiedlichen Instanzen ausserdem gewisse Behaltenszeiträume zu. Demnach ist das Kurzzeitgedächtnis in der Lage, eine Information über zehn bis 25 Sekunden zu behalten, das Mittelzeitgedächtnis bis zu vier Stunden und das Langzeitgedächtnis entsprechend länger.

Laudin (1977) geht davon aus, dass die neurophysiologische Ausbildung und Verfestigung von „motorischen Programmen“ durch Änderungen in der Vermaschung und Verbindung der miteinander verschalteten Neuronen im Kleinhirn geschieht. Im Kurzzeitgedächtnis (KZG) kommt es zunächst zur Ausbildung von dynamischen Engrammen, die durch die posttetanische Potenzierung erklärt werden. Dabei handelt es sich um ein Phänomen, bei welchem ein Einzelreiz kurz nach dem Abklingen des Tetanus oftmals eine sehr viel stärkere Einzelzuckung bewirkt als ohne die Konditionierung des Tetanus (Schmidt & Thews, 1990, S. 74). Die posttetanische Potenzierung wirkt demnach als synaptische Bahnung. Über die wiederholte Reizung einer Nervenendigung wird die Effektivität dieser synaptischen Übertragung größer. Bei dieser Bahnung, die

durch eine Verdoppelung der Reizfrequenz noch größer wird, erhöht sich die durchschnittliche Zahl der ausgeschütteten Transmitter Substanzen.

Dudel (1987, S. 57f.) beschreibt die posttetanische Potenzierung als den erleichterten Ablauf eines zentralnervösen Vorganges, der erst durch Üben ermöglicht wird. Damit ist die posttetanische Potenzierung funktionell gesehen ein Lernprozess. Dieses Phänomen wird dazu herangezogen, um das Kurzzeit- und das Mittelzeitgedächtnis zu erklären.

Dieser noch nicht ganz aufgeklärte Sachverhalt bewirkt zudem eine durch mehrere Erregungen erhöhte Konzentration des Restcalciums an den Synapsen, was wiederum eine erhöhte Erregungsbereitschaft verursacht. Wenn diese Nervenzelle nun wiederholt angesteuert wird, kommt es nach Lehnertz (1990, S. 31) zu einer Ausschüttung von Proteinkinase aus der Nervenzelle zur Zellmembran, die den Kaliumstrom vermindert. Dies bewirkt eine lang andauernde erhöhte Gewichtung der elektrochemischen Vorgänge an der betroffenen Synapse. Wenn sich diese betroffenen Synapsen und Dendriten schließlich auch morphologisch verändert haben, kommt es im Langzeitgedächtnis (LZG) zu den festen, sogenannten konsolidierten strukturellen oder stabilen Engrammen. Erklärt wird diese Verfestigung durch eine Veränderung der Eiweißstrukturen.

Allerdings werfen die Überlegungen zu dieser Proteinsynthese Fragen auf. Denn Proteine haben nur eine kurze Lebensdauer und unterliegen ständigen Umbauprozessen. Kuhn (1984, S. 63) bezweifelt, dass es zufriedenstellende Antworten zu permanenten Veränderungen in der Proteinsynthese gibt.

Eccles (1979, S. 230f) vermutet dennoch, dass die strukturellen Veränderungen für das Langzeitgedächtnis mit plastischen Veränderungen an den Synapsen verbunden sind. So wird angenommen, dass diese hypertrophieren, sich zusätzliche Synapsen bilden oder wieder verschwinden (vgl. Abb.14).

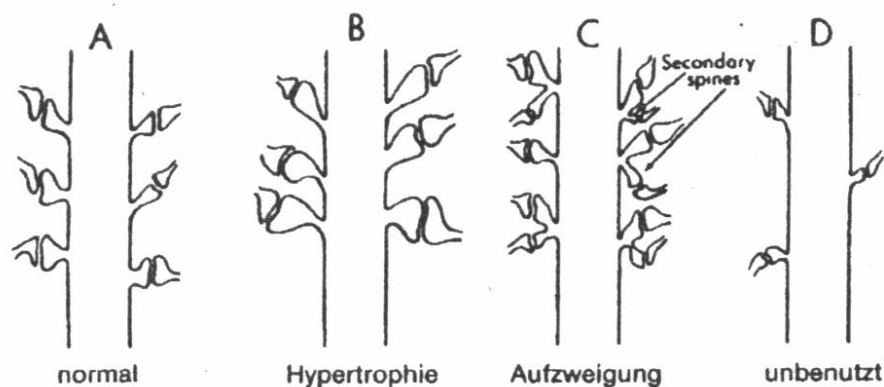


Abbildung 13: Plastizität der Synapsen (mod. nach Eccles, 1979)

Allerdings schränken Schmidt & Thews (1990, S. 171) ein, dass die Plastizität zentraler Synapsen in hochentwickelten Nervensystemen nicht allzu einfach gesehen werden dürfe. Demnach hat die Hypertrophie durchaus ihre Grenzen, zumal das Nervensystem lebenslang eine hohe Aktivität aufweist. Andere

Hypothesen fangen dies auf. So soll im Kleinhirn nur die gleichzeitige Aktivierung von Moos- und Kletterfasersynapsen einer Purkinje-Zelle einen synaptischen Lernprozess im Kleinhirn anregen.

Lehnertz (1991, S. 132) begründet diese Synapsensensibilität mit der weiter oben bereits angesprochenen Calciumresthypothese. Der Autor bezeichnet dem Prinzip folgend das Kurzzeitgedächtnis als „Ionen“-Gedächtnis. Dieses zeichnet sich durch erhöhte Calciumionenkonzentrationen aus, bei gleichzeitigem verminderten Kaliumioneneinstrom in die Muskel- und Nervenzellen. Diese sind dadurch für Folgereize besonders anfällig.

Dahingegen wird das Langzeitgedächtnis als das „Protein“-Gedächtnis bezeichnet. Es manifestiert sich nach Carl, Martin & Lehnertz (1991, S. 233) in einer Anhäufung von speziellen Proteinen an den synaptischen Membranen und strukturellen Veränderungen der dendritischen Ausläufer von Nervenzellen.

Diese beiden Instanzen unterliegen spezifischen Wechselwirkungen. Denn die gedächtnisbildende Proteinsynthese wird erst durch die erhöhte Calciumionenaktivität angeregt. Daraus kann für das Schnelligkeits- und Techniktraining gefolgert werden, dass durch wiederholte Aktivierung des neuromuskulären Systems die Ionenströme aktiviert werden, welche schließlich die gewünschte Proteinsynthese für das LZG anregen.

Hinsichtlich der Behaltensprozesse werden in den Kognitionswissenschaften vier Phasen unterschieden. Die erste Phase wird gemeinhin als Input-, Vorgabe-, Einprägungs-, Aufnahme-, Perzeptions-, Akquisitions- oder Lernphase beschrieben. Sie ist charakterisiert durch die Darbietung und Bewusstmachung des zu erlernenden Materials. Nach Kuhn (1984, S. 35) muss der Optimierung dieser Phase besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da die hier gemachten Fehler sich auf die anderen Phasen auswirken.

In der zweiten Phase (Speicher- oder Behaltensphase) wird das aufgenommene Material verarbeitet und für bestimmte oder unbestimmte Zeit im Gedächtnis aufbewahrt. Für den Übergang vom KZG ins LZG wird die Engrammbildung und -fixierung verantwortlich gemacht (vgl. Kuhn, 1984, S. 35).

In der Abruf-, Erinnerungs- oder Retrievalphase können die Informationen entweder aus dem KZG oder LZG abgerufen werden.

In der vierten Phase schließlich wird das Erinnernte aktualisiert (Output-, Handlungs-Reaktivierungs-, Realisierungs- oder Reproduktionsphase).

Wenn Informationen in das KZG aufgenommen werden, wird dieser Zyklus nur einmal durchlaufen, lediglich bei der Konsolidierung in das LZG müssen die Phasen mehrfach durchlaufen werden. Dies dient der Fixierung der Engramme. Als wichtigste Momente bezeichnet Kuhn (1984, S. 36) die Phasen 3 und 4, da hier der Großteil der informationsverarbeitenden Prozesse abläuft.

In Ergänzung zu dem oben vorgestellten Lernmodell soll im Folgenden das Phänomen des Reminiszenzeffektes vorgestellt werden, welches beim Erlernen von technischen Fertigkeiten entdeckt wurde.

6.6.1.2 Zum Reminiszenzeffekt

Auch nach der Beendigung einer motorischen Lernaufgabe sind im ZNS noch Erregungen vorhanden. Diese dienen der Konsolidierung der dynamischen Engramme in die statischen oder strukturellen Engramme, die schließlich eine hohe Stabilität aufweisen.

Das bedeutet, dass in der Trainingspause nach wie vor Aktivitäten zumindest auf der neuromuskulären Ebene stattfinden. Häufig wurde nun sogar beobachtet, dass der Sportler nach dieser Pause viel bessere Bewegungsergebnisse erzielt. Auch zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass Sportler nach einer Verletzungspause häufig gleich gute oder sogar bessere Leistungen zeigten als diejenigen, die durchtrainierten. Solche Erscheinungen werden mit dem Begriff Reminiszenz belegt und haben etwas mit dem zeitlichen Verfestigen von Lerninhalten zu tun. Von Reminiszenz wird im allgemeinen dann gesprochen, wenn nach einer Pause, in der kein weiteres Lernen erfolgte, eine Leistungssteigerung eintritt.

Weigelt (1997) fand in seinen Untersuchungen zur Bewegungsschnelligkeit eine optimale Pausendauer von vier Stunden. Nach diesem Zeitraum scheint es, als ob die verbesserte Bewegungsqualität nun nutzbar sei. Denn danach sind die Umbau- und Bahnungsprozesse im ZNS, die durch die Erregungen während und nach dem Training eingeleitet wurden, abgeschlossen. Gleichzeitig konstatiert der Trainingswissenschaftler auf dieser Basis, dass der Reminiszenzeffekt für die Sportpraxis eine erhebliche Bedeutung besitzt.

6.6.1.3 Zur Reproduktion der Engramme

Zur Frage, wie die Engramme zusammenwirken und ihre Reihenfolge, ihr Tempo und ihr Rhythmus determiniert werden, stellt Bernstein (1988, S. 83) zwei Hypothesen auf:

1. Jedes vorangegangene Engramm aktiviert das folgende auf die eigene Weise (Kettenhypothese).
2. Der Ekphorator liegt ausserhalb der eigentlichen Engramme und steuert diese in Form einer übergeordneten Instanz (Kammhypothese).

Für das Schnelligkeitstraining unter dem Aspekt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster scheint die Kettenhypothese schlüssiger zu sein. Denn als Reiz für die Aktivierung der nachfolgenden Engramme gilt die Ausführung des Vorangegangenen. Hieraus lässt sich auch der Mechanismus erklären, dass gerade bei kurzen Bewegungen die Einhaltung der Reihenfolge und die

Unmöglichkeit der Auslassung einzelner Glieder gegeben sind (vgl. Bernstein, 1988, S. 83). Unterstützt wird diese Überlegung außerdem durch die obigen Ausführungen, nachdem gerade bei schnellen Bewegungen regulatorisch im Sinne einer Fehlerkorrektur nicht mehr eingegriffen werden kann. Aus diesem Grund erachtet es der Autor auch als offenbar, dass für schnelle (Wurf-) Bewegungen ein vorangehendes Programmieren notwendig sei. Langsamere Bewegungen sind durch den Grad des möglichen und auch wünschenswerten Grad des Umprogrammierens charakterisiert. Hierfür scheint eher die Kammhypothese schlüssig zu sein.

Für die zyklische Schnelligkeit wird ein weiterer Mechanismus diskutiert, der für die interne Steuerung der hohen Frequenzen zuständig ist. Hiernach ist ein zentralnervöser Schrittmacher für den rhythmischen Wechsel von agonistischer und antagonistischer Muskeltätigkeit verantwortlich. Joch (1988, S. 1523) beschreibt den Alpha-Rhythmus im EEG als verantwortlichen Schrittmacher bei frequenten Willkürbewegungen. Dieser steuert die zeitliche Abfolge zentraler Impulse. Mundy-Castle & Sugarman (1960, S. 898 zit. in Thienes, 1998, S. 61) fanden, dass bestimmte Geschwindigkeitsfaktoren mit der Alpha-Frequenz in Verbindung stehen. Allerdings fanden Roth et al. (1976, S. 572ff), dass die größten Korrelationen nicht zwischen der Alpha-Frequenz und der Maximalfrequenz bestehen, sondern zu der individuellen Vorzugsfrequenz.

Als rhythmusgenerierende Schrittmacher im ZNS werden auch neuronale Netzwerke diskutiert. Diese werden von Dean (1990, S. 89) als Schwingungsgeneratoren bezeichnet, die über den rhythmischen Wechsel von Hemmungs- und Erregungsprozessen innerhalb bestimmter Neuronengruppen (Engramme) motorische Rhythmen hervorrufen.

Eine weitere interessante Theorie zu der Annahme von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern stellt die Theorie der langen Schleifen dar. Sie soll an dieser Stelle kurz beschrieben werden.

6.6.2 Die Theorie der langen Schleifen

Kugler (1981, S. 5) beschreibt, dass zu Beginn eines Lernprozesses Information in Form von Erregungszuflüssen eine Schleife mehrfach als sogenannte „reverbierende Kreise“ durchlaufen müssen, um die für die Gedächtnisbildung notwendigen Folgereize auszulösen und die Schleife zu fixieren. Diese Schleifen bestehen aus neuronalen Verbindungen im Zentralnervensystem, die über synaptische Verbindungen miteinander vermascht sind und sich daher gegenseitig beeinflussen. Nach Cratty (1979, S. 169) modifizieren und kontrollieren diese neuronalen Schleifen den Bewegungsoutput.

Bewegungen werden nach dieser Theorie ebenfalls hierarchisch organisiert. Sie basieren auf der Grundlage verschiedener Schleifen, die auf verschiedenen

anatomischen Ebenen ineinander greifen und gleichzeitig wirksam werden. Weineck (1994, S. 575) erklärt unter Hinzunahme dieser Theorie, dass Lernen die Herausbildung und Fixierung solcher Schleifen bedeute. Grimm & Nasher (1978, S. 75) gehen von einer zeitlichen Vergänglichkeit dieser Schleifen aus. Nachdem die Schleifen den gewünschten Output, z. B. eine bestimmte Bewegung, erbracht haben, verschwindet die Schleife wieder. Die von ihr verwendeten Neuronen sind nun für die Eingliederung in neue Funktionssysteme erneut verfügbar.

Die Schleifen weisen ähnliche Charakteristika wie die oben vorgestellten Engramme auf. Die reverbierenden Kreise sind ähnlich wie die dynamischen Engramme auf eine Konsolidierungsphase angewiesen, sie müssen „eingeschliffen“ werden, damit sie fixiert werden bzw. in statische Engramme übergehen. Dies wird auch durch die Ausführungen von Cratty (1975, S. 400) unterstützt, der im Zusammenhang mit Lernprozessen erklärt, dass sinkende Aufmerksamkeit und Konzentration zur Anlage von ungenauen Bewegungsschleifen führen, die dann die zuvor angelegten „guten Schleifen“ verdrängen können.

6.6.3 Die Theorie der neuronalen Netze

Unterstützung erhält die Engrammtheorie von der aktuell diskutierten Theorie der neuronalen Netze. Zugrunde liegt diesen Überlegungen die Annahme, dass im ZNS unzählig viele Neuronen existieren, welche fast alle miteinander kommunizieren, und gleichzeitig Informationen aufnehmen können. Von Netzwerken wird gesprochen, wenn teilweise während der Bewegung noch Informationen an die korrespondierenden Neuronen abgegeben werden. Wenn jedoch jede Stufe erst abgeschlossen sein muss, spricht man von einem modularen Aufbau.

Neuronale Netze lassen grundsätzlich gegenseitige Vernetzungen und parallele Datenverarbeitung zu. Mit dem Modell der künstlichen neuronalen Netze wird am Vorbild der Verschaltung der biologischen Neurone das Funktionieren der unterschiedlichen menschlichen Leistungen erklärt (vgl. Spitzer, 1996). Auf dieser Basis gibt es bereits eine Reihe von abstrakten mathematischen Modellen.

Nach den bisherigen Ausführungen weist die Theorie der neuronalen Netzwerke eine gewisse Affinität zur Engrammtheorie auf. Je nach Aufgabe können die neuronalen Netzwerke eine Ketten- oder Kammstruktur aufweisen.

Insgesamt gesehen gibt es eine ganze Reihe von Theorien, die sich mit dem Charakter menschlicher Selbstbewegungsakte auseinander setzen. Hauptkritikpunkt an diesen Theorien scheint oftmals der Begriff „Programm“ zu sein. Und man stellt sich die Frage, ob man es tatsächlich mit einer heuristisch wertvollen Metapher zu tun hat.

Bei der speziellen Betrachtung von schnellen Bewegungen scheint daher der Begriff schnelle neuromuskulärer Innervationsmuster, indem man ihn anstelle des

Programmbegriffs als Erklärung für die Initiierung und Steuerung schneller Bewegungen benutzt, nützlich. Denn das Problem der Rückmeldung ist ein Phänomen, welches bei schnellen Bewegungen stets auftritt.

6.7 Zum Problem der Rückmeldung bei schnellen Bewegungen

Damit die Bewegungen der menschlichen Skelettmuskulatur an die Umgebungsbedingungen angepasst werden können, bedürfen sie einer bestimmten Form der Rückmeldung. Hierbei gibt es zwei Prägungen. Zum einen die Kenntnis des Resultats (KR), welches die Information über eine bereits vollzogene Bewegung umfasst und das sogenannte feedback, welches eng gesehene Rückinformationen über die noch dauernde Bewegung bezeichnet. Diese Rückinformationssysteme verlaufen auf unterschiedlichen Ebenen und werden durch das Afferenz-Efferenz-Reafferenz System beschrieben. Keidel (1973) stellt dies wie folgt dar:

Nachdem ein Befehl des Großhirns in Form einer Efferenz auf das Rückenmark umgeschaltet und anschließend über die bereits weiter oben beschriebenen Mechanismen auf die Muskeln an das Erfolgsorgan übertragen wird, verbleibt nach Schmidt & Thews (1990, S. 112) eine Efferenzkopie im Kleinhirn. Nach Ausführung der motorischen Handlung erhält das Kleinhirn eine sensorische Rückmeldung (Afferenz oder Reafferenz) und das Kleinhirn kann einen Vergleich zwischen IST- und SOLL-Wert anstellen (sog. Comparatorfunktion). Das aus diesem Vergleich berechnete Fehlersignal dient, indem es an die motorischen Zentren weitergeleitet wird, der laufenden Korrektur der motorischen Handlungen.

Aus diesem Grund betont Bernstein (zit. nach Cratty, 1979, S. 171), dass man bei der Wiederholung vieler Bewegungen weniger von Duplikationen sprechen sollte als vielmehr von Approximationen. Und zwar als Approximation im Sinne einer Problemlösung durch die Annäherung an die wünschenswerte Bewegungshandlung. Es sei also nicht möglich, zweimal die exakt gleiche Bewegung auszuführen. Diese Formen der Rückmeldung laufen entweder über die körperinternen Mechanismen (zum Beispiel der Propriozeptoren) oder über exterozeptive, aus der Umwelt stammende Informationen, ab. Rückmeldeprozesse benötigen ebenfalls eine bestimmte Zeit, bis sie das Kleinhirn erreichen. Gerade bei schnellen Bewegungen kommen die Rückmeldungen aus der Körperperipherie für Kurskorrekturen zu spät (vgl. Küchler, 1983, S. 118). Übereinstimmend wird in den meisten Publikationen zu dieser Thematik die Grenze von 200 ms erwähnt bis Korrekturmaßnahmen vorgenommen werden können:

„Nach Beginn der Ausführung eines spezifizierten motorischen Programms können bis zu einem Zeitintervall von etwa 200 ms keine Modifikationen vorgenommen werden..., da die Operationszeiten der feedback-Schleifen die Bewegungsdauer überschreiten.“

(Roth, 1982, S. 75)

...es sind 120-200 ms (ungefähr eine Reaktionszeit) notwendig, um die Korrekturen auszulösen.

(Schmidt, 1994, S. 21)

„Da jedoch das erste (falsche) Programm eine Reaktionszeit oder länger gelaufen sein muss, liegt der Beginn der falschen Bewegung vor der Korrektur. Diese Erklärung sagt voraus, dass die Zeit vom Reiz bis zum Bewegungsbeginn in die richtige Richtung annähernd eine „Reaktionszeit“ betragen müsste. Diese Werte lagen bei 367 ms (Angel & Higgins, 1969), bei 292 ms (Megaw, 1972) und bei 285 ms in einer neuen Studie von Gordon (1975). Sämtliche Werte liegen somit im Normbereich der Reaktionszeit.“

(Schmidt, 1994, S. 62)

„Insbesondere motorische Programme, die eine Laufzeit unter 200 ms haben, sind bewusst nicht kontrollierbar und können demzufolge auch nicht in ihrem Ablauf gesteuert werden. Es wird davon ausgegangen, dass auf äußere Reize (exterozeptive Reize) erst nach ca. 200 ms reagiert werden kann (Reaktionszeit).

Reaktionen auf Reize aus dem eigenen Organismus (propriozeptive Reize) erfolgen zum Teil schneller (bereits nach ca. 120 ms), sind aber direkter Bestandteil elementarer neuromuskulärer Programme.“

(Bauersfeld & Voss, 1992, S. 62)

Die 200 ms-Grenze basiert auf den Forschungsarbeiten von Keele & Posner (1968). Sie stellten fest, dass bei manuellen Zielbewegungen im Dunkeln gegenüber normalen Bedingungen nur für die kürzeste Zeit (in jener Arbeit bei 190 ms) keine Abnahme der Genauigkeit eintritt. Sie schlossen aus diesen Ergebnissen, dass die Mindestzeit für die Verarbeitung zumindest visueller Rückmeldungen zwischen 190 und 260 ms liegt. Neuere Publikationen von Young & Schmidt (1991) und Schneider & Schmidt (1995) zeigen auf, dass Bewegungen bzw. Teilbewegungen noch um ca. 500 ms gesteuert werden und ohne Rückmeldeprozesse absolviert werden.

Zwar gilt, dass Reaktionen auf innere Reize durch Reflexmechanismen schneller erfolgen können, nach 100 bis 150 ms (vgl. Heuer, 1978), doch gehören diese zum schnellen neuromuskulären Innervationsmuster dazu (vgl. Schmidtbleicher & Gollhofer, 1982).

Der Mensch untersteht biologischen Gesetzmäßigkeiten. Aus diesem Grund sollen im folgenden Teil die neurophysiologischen Gesetzmäßigkeiten, wie eine Bewegung im menschlichen Körper erst abläuft, beschrieben werden. Darauf aufbauend sollen die biologischen Systeme detektiert werden, welche für die Steuerung der vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster verantwortlich sind.

6.8 Die Organisation und Regulation schneller Bewegungen aus der Sicht der Neurophysiologie

Willkürbewegungen sind sequentiell organisiert. Sie geschehen in erster Linie unter den Aspekten Wahrnehmen - Entscheiden - Planen - Handeln. Damit diese Schritte optimal ablaufen können, greifen mehrere Instanzen des Zentralnervensystems regulatorisch ein. Somit ist jede Willkürbewegung eine koordinative Gesamtleistung des ZNS, dessen untergeordnete Instanzen für die einzelnen Entscheidungs-Planungs- und Handlungsprozesse verantwortlich zeichnen (vgl. Martin et al., 1991, S. 65).

Nach de Mares & Mester (1991, S. 117) lässt sich aufgrund der differenzierten Aufgabenverteilung bezüglich der Steuerfunktionen der einzelnen Substrukturen ein hierarchischer Aufbau der motorischen Zentren detektieren, der die unterschiedlichen Funktionen gliedert. In Abbildung 14 wird dieser hierarchische Aufbau des zentralen motorischen Systems graphisch dargestellt.

Bezüglich des hierarchischen Aufbaus ist zu beachten, dass jede höhere Instanz des ZNS die Möglichkeit hat, in die Regelungsprozesse von niedrigeren Instanzen verändernd einzugreifen. Göhner (1999, S. 98) beschreibt hierzu prinzipiell zwei Möglichkeiten.

Zum einen sind viele Motoneuronen nicht nur durch die von den Spindeln kommenden Erregungen aktivierbar, sondern auch über Schaltneurone direkt mit Nervenbahnen aus den höheren Instanzen des ZNS verbunden.

Als zweiter Erklärungsansatz dient der Begriff der Efferenzkopie. Diese theoretisch begründete Erklärung befähigt den Beweger, die für beabsichtigte Bewegungen notwendigen motorischen Befehle loszuschicken und gleichzeitig entsprechende Informationen für die Sensorik bereitzustellen. Dies bewirkt, dass die Informationen, die nach dem Bewegungsbeginn über die Muskelspindeln eingehen, nicht mit den alten, sondern mit den neuen Werten verglichen werden. Wenn nun gegenüber den neuen Werten Abweichungen erfahren werden, greift das ZNS regulatorisch ein. Welche Sinnessysteme dafür notwendig sind, soll an dieser Stelle nicht näher erläutert werden, da eine entsprechende Erklärung den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

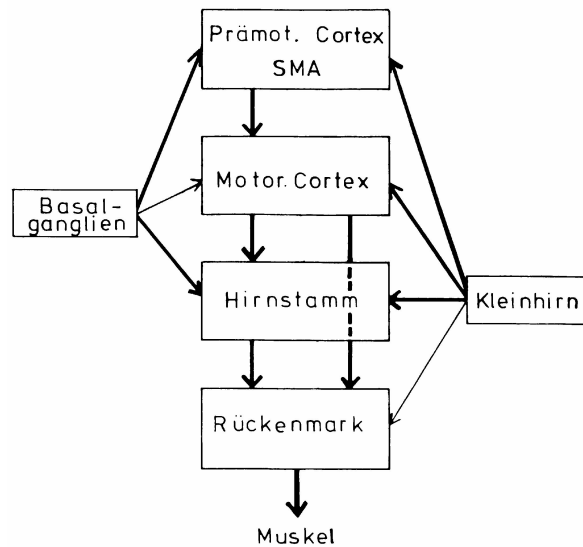


Abbildung 14: Der hierarchische Aufbau des zentralen motorischen Systems. Die Dicke der Pfeile gibt die Bedeutung der Informationsübertragung an (aus: Noth, 1994, S. 93)

In erster Linie lassen sich unter neuroanatomischen und funktionellen Gesichtspunkten vier grosse Systeme unterscheiden. Noth (1994, S. 93f.) differenziert hierzu das Rückenmark, den Hirnstamm, den motorischen Kortex sowie die prämotorischen Kortexareale.

Die Motoneurone des Rückenmarks senden die für die Motorik relevanten Signale an die Skelettmuskulatur weiter. Auch werden auf dieser Ebene die weitgehend automatisierten Reflexe (Muskeleigenreflexe, Fluchreflexe) verarbeitet. Oberhalb des Rückenmarks (supraspinal) liegen die Systeme, die für die Stütz- und Zielmotorik verantwortlich zeichnen.

Im Hirnstamm nehmen die absteigenden motorischen Bahnen ihren Ursprung. Diese bilden für die Lokomotionen und die Gleichgewichtsregulierung die zentrale Instanz.

Die besondere Bedeutung des motorischen Kortex liegt in der Existenz des kortikospinalen Traktes, der direkten synaptischen Verbindung zwischen der Großhirnrinde und den Vorderhornzellen des Rückenmarks. Diese gewährleisten die feinmotorische Kontrolle der Hände bzw. die Sprechmotorik.

Für die Programmierung und die Parametereinstellung motorischer Abläufe schließlich sind die prämotorischen Kortexareale (und der supplementär-motorische Kortex SMA) zuständig.

6.8.1 Der Aufbau des ZNS

Das Zentrale Nervensystem (ZNS) wird aus den folgenden Strukturen gebildet, die nach Tittel (1990; Schmidt & Thews, 1990) verschiedene Hauptaufgaben haben:

a) Dem Gross- bzw. Endhirn (Telencephalon, Cerebrum).

Es verbindet die tieferliegenden Abschnitte des Nervensystems zu einem Ganzen; wodurch Qualitäten des Fühlens, Denkens und Wollens ermöglicht werden.

b) Dem Zwischenhirn (Diencephalon).

Es besteht zum einen aus dem Thalamus, der eine Sammelstelle für die aufsteigenden Bahnen darstellt und ein selbständiges Koordinationszentrum für die in ihn eintretenden Bahnen bildet. Unter diesem liegt der Hypothalamus, der die Durchblutung steuert, den Wasser- und Zuckerhaushalt, sowie den Fett- und Eiweißstoffwechsel reguliert.

c) Dem Mittelhirn (Mesencephalon).

Hier befinden sich wichtige Gebilde für die Regulierung der normalen Stellung und Haltung des Menschen. Ausserdem befindet sich dort eine wesentliche Schaltzentrale des extrapyramidalen Systems, welches die Willkürmotorik unterstützt und den Muskeltonus steuert.

d) Dem Kleinhirn (Cerebellum).

Ohne die Mitwirkung des Kleinhirns gibt es keine gezielte, zeitlich koordinierte Motorik. Es vergleicht, integriert und kodiert alle ankommenden Informationen mit den von der Großhirnrinde und den extrapyramidalen Bahnen abgegebenen Impulsen.

e) Dem verlängerten Rückenmark bzw. Nachhirn (Myelencephalon).

f) Dem Rückenmark.

De Mares & Mester (1991) unterscheiden verschiedene Ebenen, denen hinsichtlich der Motorik des Menschen verschiedene Funktionen zugeschrieben werden. Diese werden im Folgenden dezidiert dargestellt.

1. Ebene: Limbisches System und andere Motivationsareale:

Diese stellen die Entscheidungsinstanz über den Abruf von Bewegungsentwürfen dar. Das Limbische System ist an jeder Form von Bewegung beteiligt. Diesem Teil des Endhirns wird die Regulation der elementaren Lebensäußerungen wie Selbst- und Arterhaltung zugeschrieben. Außerdem ist das Limbische System für die emotionale Färbung der Tätigkeiten des Menschen verantwortlich (vgl. de Mares & Mester, 1997, S. 95).

2. Ebene: Assoziationsfelder des motorischen Cortex (Bezirk in der Großhirnrinde):

Hier liegen die Bewegungsentwürfe im Gedächtnis auf Abruf vor. Vom motorischen Cortex aus gibt es direkte und indirekte Verbindungen zu den Motoneuronen im Rückenmark. Diese Wege werden als Pyramidenbahn bzw. als extrapyramidales

System bezeichnet. Die Pyramidenbahn durchläuft mehrere Hirnabschnitte, in denen es zum Informationsaustausch kommen kann. Nach aktuellem Forschungsstand wird davon ausgegangen, dass der Cortex zusammen mit Hirnstamm und Rückenmark für die Bewegungsausführung zuständig ist, wenn das Kleinhirn und die Basalganglien die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster erstellt haben (vgl. Göhner, 1999, S. 104).

Die Impulse für isolierte Bewegungen einzelner Muskelgruppen werden durch das pyramidale System vermittelt, welches von der Großhirnrinde entspringt (vgl. Tittel, 1994, S. 331). Das extrapyramidale System hat seinen Ursprung in den Basalganglien und ist für die Koordination von Bewegungen verantwortlich und regelt unbewusste, affektbetonte Reaktions- und Ausdrucksbewegungen, sowie den Muskeltonus und unwillkürliche Hilfs- und Mitbewegungen. Tittel (1994, S. 332) erklärt das Zusammenspiel der beiden Nervenbahnen wie folgt:

„Auf einen kurzen Nenner gebracht: Inhalt und Begrenzung eines Bewegungsablaufes werden vom pyramidalen System, Form und Qualität der Ausführungen vom extrapyramidalen System bestimmt.“

Auf die Thematik zur Existenz schneller neuromuskulärer Innervationsmuster bezogen, könnte dies bedeuten, dass gelernte und stabile schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster auf das extrapyramidale System übertragen werden.

Denn gerade bei geübten Sportlern, die bestimmte Bewegungen gut („blind“) beherrschen, bei denen diese „automatisiert“ ablaufen, wird behauptet dass bei diesen Bewegungen nicht mehr ausschließlich das pyramidale System eingesetzt wird, sondern in erster Linie das extrapyramidale System, welches Tittel (1994, S. 332) als das unbewusstmotorische System bezeichnet. Damit werden das pyramidale System sowie die Großhirnrinde entlastet und frei für andere Aufgaben. Der Autor spricht in diesem Zusammenhang davon, dass eingeschliffene Bewegungen in Form von kinästhetischen Erinnerungsbildern abgelegt werden. Zu dieser Vermutung existieren jedoch noch keine gesicherten Erkenntnisse.

3. Ebene: Kleinhirn (Cerebellum) und Basalganglien:

Sie dienen der räumlich-zeitlichen Gliederung der neuromuskulären Innervationsmuster im Rahmen der Zielmotorik. Das Kleinhirn erhält vom Großhirn durch die Efferenzkopien Informationen über die beabsichtigte Bewegung. Auf dieser Basis müssen die Bewegungsentwürfe durch das Kleinhirn zu räumlich-zeitlich koordinierten Innervationsmustern ausgearbeitet werden. Latash (1998, S. 136f.) erklärt hierzu, dass das Kleinhirn eine wesentliche Rolle bei der Koordination in der Zusammenarbeit von mehreren Muskeln spielt. Tittel (1994, S. 336) bezeichnet das Kleinhirn als ein beigeordnetes Reglerorgan der ganzen Motorik. Es gibt keine Erregung, von der das Kleinhirn nicht eine „Mitteilung“ erhält. Ohne die Mitwirkung des Kleinhirns gibt es keine gezielte, zeitlich koordinierte Motorik.

Beide Instanzen, sowohl das Kleinhirn als auch die Basalganglien wirken als Funktionsgeneratoren. Befunde von Stegemann (1984, S. 102) und Müller & Konczak (1995, S. 673f.) deuten darauf hin, dass enge Verbindungen zwischen

den Funktionen des Kleinhirns und schnellsten Bewegungen existieren. Lehnertz (1991, S. 129) beschreibt ebenfalls, dass Innervationsmuster für schnelle Bewegungen im Kleinhirn gespeichert werden.

De Mares & Mester (1991, S. 125) bezeichnen insbesondere die Kleinhirnrinde als Funktionsgenerator für schnelle Bewegungen, während die Basalganglien für die Programmierung langsamer Bewegungen zuständig sind (vgl. auch Markworth, 1997, S. 115). Auch de Mares & Brach (1997, S. 93) unterstützen diese These, indem sie beschreiben, dass die Basalganglien die Instanz darstellen, welche den Ablauf langsamer und präziser Bewegungen steuert. Latash (1998, S. 144) zeigt auf, dass die Basalganglien primär bei der Initiierung von Bewegungen involviert sind. Ferner sind sie bei der Sequenzierung einzelner Bewegungsfragmente beteiligt. Göhner (1999, S. 104) berichtet von klinischen und experimentellen Befunden, welche Hinweise lieferten, wonach bei der Parametrisierung der Innervationsmuster insbesondere die Festlegung der Amplitude, Richtung, Geschwindigkeit und Kraft durch die Basalganglien geleistet wird.

Martin et al. (1991, S. 93) beschreiben das Kleinhirn als ein Organ, welches über zahlreiche Rückmeldeprozesse die sensorischen Innervationsmuster korrigieren kann. Sobald Fehler auftreten, greift das Kleinhirn regelnd ein. De Mares & Brach (1997, S. 93) betonen in diesem Zusammenhang, dass das Kleinhirn diese Korrekturen jedoch nur bei langsamen zielmotorischen Aktionen durchführen kann. Bei schnell ablaufenden Bewegungen können die Fehler in ihrem Ausmaß lediglich minimiert werden.

Noth (1994, S. 26) widerspricht der Behauptung von Martin et al. (1991, S. 67), dass mit hoher Wahrscheinlichkeit Innervationsmuster für schnelle Bewegungen im Zentralnervensystem gespeichert werden. Dem Kleinhirn kommt nach Noth (1994, S. 26) lediglich die Funktion der adaptiven Steuerung aller bedeutsamen motorischen Systeme zu. Das Kleinhirn hat die Funktion, die Parameter von motorischen Leistungen zu berechnen, während die Basalganglien für den automatisierten Abruf einzelner motorischer Innervationsmuster sind.

Gerade bei schnellen Bewegungen soll das Kleinhirn schon bei der Programmierung beteiligt sein (vgl. Kuchler, 1983, S. 117ff). Bei gekonnten Bewegungen entladen sich demnach bereits vor Beginn der Bewegung Neuronen aus dem Kleinhirn, die sich an der Modellierung des Endprogramms beteiligen (vgl. Martin et al., 1991, S. 68).

Klinische Befunde scheinen die Bedeutung des Kleinhirns bei schnellen Bewegungen zu unterstützen. Bei Schädigungen der Kleinhirnrinde treten sogenannte Adiadochokinesen auf, welche die Unfähigkeit ausdrücken, rasch aufeinanderfolgende Bewegungen ausführen zu können. Die Bewegungen sind zu Beginn und am Ende stark verzögert (Kuchler, 1983, S. 127).

Zusammenfassend darf zu dieser Problematik in Anlehnung an Illert (1993, S. 120) festgestellt werden, dass die Basalganglien und das Kleinhirn eine entscheidende Rolle bei der Generierung schneller Bewegungen haben, da diese Instanzen für die parametrische Ausformung nach Krafteinsatz, Zeitdauer und Geschwindigkeit der

geplanten Bewegung verantwortlich zeichnen. Eine Reihe von Autoren unterstützt die Annahme, dass die zeitliche Organisation von Innervationsmustern dem Cerebellum zugeordnet werden muss, während die Basalganglien für die Amplitude der benötigten Kraft verantwortlich zeichnet (vgl. u.a. Ivry & Corcos, 1993, S. 443).

4. Ebene: Motorischer Cortex:

Dieser hat eine Ausführungsfunktion für die einlaufenden motorischen Innervationsmuster durch die motorischen Zentren und ist für die Auslösung von Bewegungen in den Extremitäten verantwortlich. Im Motorischen Cortex liegen die Repräsentationsfelder für alle Bereiche der Skelettmuskulatur (vgl. Noth, 1994, S. 23), wobei die Beantwortung der alten Frage von Sherrington,

„ob der Motocortex in Muskeln oder Bewegungen denkt“

noch aussteht. Untersuchungen an Affen zeigten jedoch Tendenzen auf, nach denen der Motocortex eher synergistisch wirkende Ketten der quergestreiften Muskulatur aktiviert, als einzelne Muskelgruppen (vgl. Noth, 1994, S. 23).

Der Motorische Cortex bildet den Ursprung der motorischen Bahnen und stellt damit das Ausführungsorgan für die in Entladungsmuster codierten motorischen Programme (vgl. de Mares & Brach, 1997, S. 92). Die Impulse des im Hirnrindbereich angelegten Motorischen Cortex werden auf den Hirnstamm und das Rückenmark übertragen.

5. Ebene: Hirnstamm

Zum Hirnstamm gehören das verlängerte Rückenmark, sowie die Brücke und das Mittelhirn. Diese Instanz ist für die Stütz- und Zielmotorik verantwortlich (vgl. Weineck, 1994, S. 93). Bei der Ausführung von Willkürbewegungen dient der Hirnstamm der koordinierten Abstimmung der Arbeit der Haltemuskulatur mit den für die Ausführung der zielmotorischen Bewegung relevanten Muskelketten (vgl. de Mares & Mester, 1991, S. 117). Der Hirnstamm erhält hierzu Informationen über das Gleichgewicht. Meinel (1960) belegt auf dieser Basis die Steuerfunktion des Kopfes. Tatsächlich wird häufig beobachtet, dass bei einer Bewegung des Kopfes auch der Rumpf unwillkürlich dieser Bewegung folgt.

Im Hirnstamm liegt ein kommunizierendes Raumnetzwerk verstreuter Neuronengruppen, welches sich bis in das verlängerte Mark ausbreitet. Diese Instanz wird als *formatio reticularis* bezeichnet. Neben der Mitwirkung an der Kontrolle der Stütz- und Zielmotorik, sowie der Vermittlung affektiv-emotionaler Reize an das limbische System und vegetativ-motorischer Regulationsaufgaben (Kreislauf-, Atem-, Schluck-, Husten-, und Niesreflexe) steuert die *formatio reticularis* auch die Erregbarkeit des Cortex (Schmidt & Thews, 1990, S. 226). Für die Bewältigung von Aufgaben mit hohen Schnelligkeitsanforderungen ist deshalb eine ausreichende Erregbarkeit dieser Instanz durch vorheriges Aufwärmen wichtig (vgl. Weineck, 1994, S. 648).

6. Ebene: Rückenmark (medulla spinalis)

Hier findet die Weiterleitung der wesentlichen auf- (sensorischen) und absteigenden (motorischen) Informationen statt. Daneben ist das Rückenmark bei der Realisierung einfacher Reiz-Reaktionsmuster in Form von Dehnungs- oder Beugungsreflexen verantwortlich (vgl. De Mares & Brach, 1997, S. 90; de Mares & Mester, 1991, S. 119). Hier geschieht folglich die neuronale Weiterleitung der in den übergeordneten Instanzen generierten „Befehle“ bis zu den Erfolgsorganen, welche die entsprechende Bewegung ausführen.

Anderer Untersuchungen zur Folge (Alexander & Crutcher, 1990) kann nicht von einer ausschließlichen Arbeitsteilung zwischen den Planungsarealen wie den Basalganglien und Ausführungsarealen wie dem Motorischen Cortex ausgegangen werden.

Cratty (1979, S. 174) konstatiert, dass beim Menschen die höheren Zentren, wie der Kortex und die ihm assoziierten Strukturen die verfügbaren sensorischen Informationen integrieren und einen entsprechenden, wünschenswerten Bewegungsausgang veranlassen bzw. initiieren. Dabei wirkt der Kortex wie ein Trichter, indem er die sensorischen Impulse integriert und an der Peripherie und dem Rückenmark organisiert. Die niedrigeren Strukturen, wie das Kleinhirn, die formatio reticularis und das Rückenmark prüfen und glätten die Bewegung durch ein System von sich beeinflussenden Schleifen. Lehnertz (1991, S. 125) fasst diese Aspekte zusammen, indem er die Lösung sportlicher Aufgaben der Federführung des Großhirns auf der Basis des Fertigungsbestandes des Kleinhirns zuschreibt. Das bedeutet, dass jede zielgerichtete Willkürbewegung eine koordinative Gesamtleistung des ZNS unter Führung des Großhirns ist.

6.9 Der Reflex

Schnelle Bewegungen werden oftmals auch mit der Reflexaktivität in Verbindung gebracht. Bauersfeld & Voss (1992, S. 20) erklären, dass hohe Nervenleitgeschwindigkeiten und kurze Reflexzeiten nicht automatisch zu den von ihnen gefundenen kurzen Zeitprogrammen führen. Denn ihre Untersuchungen zeigten, dass Sportler mit einer hohen Nervenleitgeschwindigkeit nicht unbedingt auch gute (schnellkoordinative) Leistungen zeigten (vgl. Voss, 1989).

Trotzdem liegen nach den Autoren Mindestanforderungen für das Erreichen eines schnellen Zeitprogramms in bezug auf die Nervenleitgeschwindigkeit vor. Im konkreten Fall des Nieder-Hochsprungs liegen diese für den N. tibialis bei 49 m/s, für die Reflexzeit des M. quadriceps femoris 19 m/s und für die Reflexzeit des M. triceps surae rund 33 m/s (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 20). Indem man diese Problematik betrachtet, können schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster auch als supraspinal oder modulgesteuerte Reflexe bezeichnet werden. Küchler (1983, S. 103) führt an, dass die integrativen und sensomotorischen Funktionen der spinalen Sensomotorik neben der Kontrolle der Muskellänge, der Muskelspannung

und der Auslösung von Anpassungsmechanismen bei koordinierten Bewegungsabläufen auch bei der Generierung elementarer Bewegungen eingesetzt werden. Carl et al. (1991, S. 160) erklären, dass die intermuskuläre Koordination auf Verschaltungen der spinalmotorischen Reflexe, die im Sinne von Regelkreisen wirken, beruht. Schmidt & Thews (1980, S. 80) bezeichnen einen Reflex als „stereotype Reaktion des Organismus auf sensible Reize.“ Bei einem Reflex werden über bestimmte Rezeptoren Reize aufgenommen, die über afferente Nervenbahnen an das ZNS weitergeleitet werden, dass automatische, in bezug auf die menschliche Motorik, muskuläre Antworten, eingeleitet durch efferente Nervenbahnen, erfolgen. Ein Reflexbogen kann wie in Abbildung 15 dargestellt werden. Insgesamt kann festgehalten werden, dass Reflexe primär dazu dienen, äußere Störgrößen über multisensorische Rückmeldungen automatisch zu korrigieren.

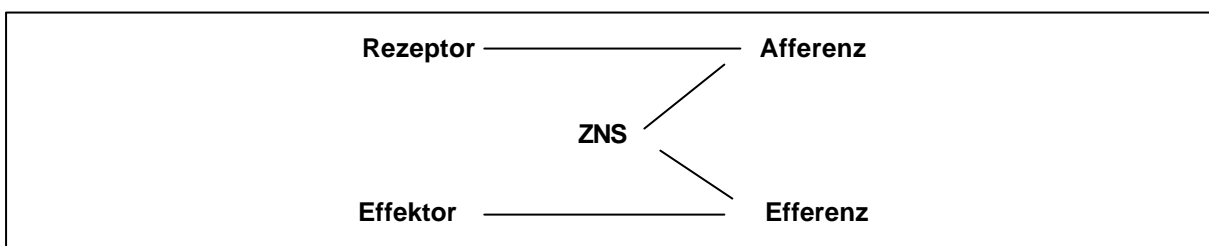


Abbildung 15: Generelle Beschreibung eines Reflexbogens (mod. nach Schmidt & Thews, 1980)

Hammond (1960) untersuchte, ob Reflexe willkürlich gesteuert werden können. Seine Untersuchungsergebnisse brachten den Autor dazu, bezüglich der Modulation dieser Reflexe ein Konzept von spinal generierten long-loop Reflexen vorzuschlagen, die auf zentraler Ebene modifiziert werden können. Allerdings kann die Frage nach der Möglichkeit zentraler Reflexmodulation trotz zahlreicher Untersuchungen in dieser Richtung noch nicht eindeutig beantwortet werden. Insgesamt gesehen gibt es verschiedene Bahnen, die mit den Motoneuronen und dem spinalen Interneuronenpool in Verbindung stehen.

a) Die direkte kortiko-spinale Bahn (Pyramidenbahn)

Die Pyramidenbahn speist in gewissem Sinne die Motoneurone der Hirnnervenkerne (Schmidt & Thews, 1990, S. 124). Damit ist sie eine der wichtigsten Leitungsbahnen, da sie die willkürlichen Bewegungsimpulse für die Körpermuskulatur leitet. Sie wirkt hemmend auf die Regulation des Muskeltonus und auf das Zustandekommen der Muskeleigenreflexe. Das pyramidale System verläuft von den Neuronen des Motorischen Kortex hinab zu den jeweiligen Segmenten des Rückenmarks (vgl. Schmidt & Thews, 1990; de Marees & Mester, 1991).

b) Die indirekte kortiko-spinale Bahn (Extrapyramidenbahn)

Früher wurde angenommen, dass das extrapyramidale System die unwillkürlichen Bewegungen kontrolliere. Nach dem heutigen Stand der Forschung weiß man, dass die nicht zur Pyramidenbahn gehörenden Nervenstränge sowohl bewusste als

auch unwillkürliche Bewegungssteuerungen beeinflussen. Die extrapyramidalen Bahnen entspringen dem Motorischen Kortex, werden in verschiedenen Hirnbereichen jedoch umgeschaltet, also über synaptische Verbindungen auf andere Neuronen übertragen. Diese Umschaltstationen befinden sich z. B. in den Basalganglien oder im Hirnstamm. Von hier aus ziehen sie in das Rückenmark hinab (vgl. de Mares & Mester, 1991, S. 130ff).

Zum extrapyramidalen System werden häufig auch die folgenden Bahnen gezählt, welche nach dem aktuellen Stand der Forschung jedoch keinen wesentlichen Einfluss für schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster Programme haben:

- Die retikulo-spinale Bahn
- Die supra-spinale Bahn
- Die tekto- und vestibulo-spinale Bahn

Da Reflexe gemeinhin als „stereotype Reaktion des Organismus auf sensible Reize“ bezeichnet werden, kann nicht angenommen werden, dass schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster mit der Reflexaktivität in Verbindung stehen. Denn bei den in der Arbeit zu untersuchenden schnellen neuromuskulären Innervationsmustern handelt es sich um erworbene, gelerntes Bewegungsmuster, welche willkürlich gestartet werden und allenfalls bestimmte Reflexmuster beinhalten.

6.10 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die theoretischen Grundlagen zum Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster vorgestellt. Es wurden verschiedene Programmtheorien beschrieben, die den Bewegungsentwurf als parametrische Ausformung von Programmen erklären.

Schnelle Bewegungen werden in Form von neuromuskulären Innervationsmustern gesteuert, einem Begriff, der dem Begriff „motorisches Programm“ vorgezogen wird. Denn dieser beschreibt eher den Mechanismus einer schnellen Bewegung, die aufgrund der kurzen Realisierungszeit, einmal ausgelöst, nicht korrigiert werden kann. Feedback-Prozesse über die ausgeführten Bewegungen benötigen eine längere Zeit als die Bewegungen selbst, um korrigierend eingreifen zu können.

In der als Informationsverarbeitungsansatz beschriebenen Theorie werden drei Stufen der Informationsverarbeitung unterschieden, die in serieller Abfolge durchschritten werden (vgl. Schmidt, 1988, S. 76ff). Es sind dies die Stufen der Reizidentifikation, der Reaktionsauswahl und der Bewegungsprogrammierung.

Da dieses sequentielle Durchlaufen aber nicht immer der Fall ist, werden die „open loop“ und die „closed loop“ Theorien unterschieden. Die Vertreter des „open loop“ Modells gehen von der Existenz motorischer Programme aus, welche motorische Fertigkeiten initiieren und steuern. Die einzelnen motorischen Aktionen werden durch die Programme kontrolliert. Menschliche Bewegungen sind demnach ohne

Rückmeldeprozesse möglich. Die Rückmeldeprozesse haben eine initiierende Funktion, indem sie die richtige Programmauswahl ermöglichen. Durch die Überwachung der Ausführung über SOLL-IST Vergleiche wirkt das feedback ausserdem als kontrollierende Instanz.

Demgegenüber steht das „closed loop“ Modell. Es impliziert, dass gezielte Bewegungen mit der Einwirkung von Rückmeldeprozessen ablaufen. Informationen zum Ablauf und dem Resultat werden als notwendig erachtet. Nach dieser Theorie ist der permanente SOLL-IST-Wert Vergleich eine notwendige und nicht weg zu denkende Instanz, welche die Bewegung regelt.

Ein schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster sendet hiernach zeitlich strukturierte Impulsmuster an die relevanten Muskelgruppen und kodiert damit Informationen wann welcher Muskel wie lange aktiv sein soll (vgl. Roth & Willimczik, 1999, S. 189). Roth (1982, S. 56f.) beschreibt in Anlehnung an Hayes & Marteniuk (1976, S. 202) motorische Programme als

„zentral gespeicherte Pläne für Bewegungssequenzen, welche den Ablauf menschlicher Selbstbewegungsakte kontrollieren“.

Manche Programmtheorien weisen eine Programm- und Parameter-Trennung auf. Diese Trennung bezieht sich auf den Erwerb des grundlegenden Ablaufs (Programmerwerb) und der übungsabhängigen Fähigkeit zur Variation einer Bewegung in Bezug zu den räumlichen und zeitlichen Parametern (Parametrisierung). Ein einzelnes motorisches Programm steuert Klassen ähnlicher Bewegungsformen mit gleicher zeitlich-dynamischer Struktur autonom.

Als wichtigsten Hinweis für die Existenz neuromuskulärer Innervationsmuster gilt die Tatsache, dass viele Bewegungen schneller als die Rückkoppelungsmechanismen (Feedback) ablaufen.

Aus einer Reihe von Deafferenzierungsstudien wurde resümiert, dass Bewegungen prinzipiell ohne kinästhetisches feedback möglich sind und damit zentral organisiert sein müssen. Dies stützt die Annahme zur Existenz motorischer Programme, bzw. neuromuskulärer Innervationmuster, die durch zentral vorstrukturierte Befehle an die Muskulatur eine Bewegungsausführung ohne die Involvierung peripherer Rückmeldungen ermöglichen.

In der Schematheorie des motorischen Lernens von Schmidt (1975) werden die Bewegungsprogramme mit dem Arbeitsbegriff generalisiertes motorisches Programm (GMP) versehen. Eine Grundannahme dieses Programmkonzepts ist, dass sichtbares Bewegungsverhalten aus der Aktualisierung zentral gespeicherter Motorikprogramme entsteht. Diese Motorikprogramme sind dadurch charakterisiert, dass sie durch strukturierte Befehle die Impulsfolge der Muskelaktivität steuern. Generalisierte motorische Programme stehen für bestimmte Klassen von Bewegungen und beinhalten einige wenige invariante zeitliche und dynamische Strukturelemente. Als wesentliche invariante Parameter dieser Programme gelten das relative timing (phasing), der relative Krafteinsatz (relative forcing) sowie die Abfolge der Innervationen (sequencing). Sie werden in einem bestimmten Muster ausgeformt und als Programm im recall-Gedächtnis (Motorikgedächtnis)

abgespeichert. Im recognition- (Wiedererkennungs-, oder Wahrnehmungs-) Gedächtnis werden die Parameter für bestimmte Bewegungen gespeichert. So ist festzustellen, dass die Stabilität von Bewegungen im wesentlichen durch die Motorikprogramme bestimmt wird, während die Variabilität durch die flexiblen Programm-Parameter erhalten wird. Die Kraft- und Zeitparameter können also gestaucht oder gedehnt sein, das motorische Programm bleibt in seiner Grundstruktur erhalten.

Die Theorie der generalisierten motorischen Programme gilt heute als überwunden. Sie kann nicht erklären, wie Motorikprogramme überhaupt erworben werden können (vgl. Whiting, Vogt & Verejken, 1992).

Daneben bleibt bei Schmidt (1975) die Frage offen welche Bewegungen mit einem Motorikprogramm gleichgesetzt werden können. Des weiteren liegen Invarianzstudien vor, die die GMP-Theorie von Schmidt in Frage stellen. Roth & Willimczik (1999, S. 207) kritisieren außerdem, dass die von Schmidt (1975) angenommenen Funktionsprozesse nicht mit den Abläufen, die man im Zentralen Nervensystem bereits kennt, in Verbindung gebracht werden können.

Kritisiert wird häufig auch der Begriff des motorischen Programms. Zu groß sind die Unterschiede zwischen einem Computer und dem menschlichen ZNS. Denn das Gehirn enthält viele Milliarden von Schaltelementen, die nicht seriell, sondern parallel ablaufen und dadurch ungleich fehleranfälliger sind, es solle daher eine Umorientierung von Metaphern zu Mechanismen stattfinden (Neumann, 1992). Denn ihre computeranaloge theoretische Modellierung scheint an ihre Grenzen zu stoßen (Daug, 1994, S. 29). Es solle daher eine Umorientierung von Metaphern zu Mechanismen stattfinden (Neumann, 1992). Denn die computeranaloge theoretische Modellierung scheint an ihre Grenzen zu stoßen (Daug, 1994, S. 29). In dieser Arbeit wird daher der Begriff der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster gegenüber dem Terminus „motorisches Programm“ bevorzugt.

Komplexe Bewegungen müssen eine hohe Variabilität bewahren, um sich auf veränderte Bedingungen einstellen zu können. Daher wird die Auffassung vertreten, dass komplexe Bewegungen durch gespeicherte Unterprogramme strukturiert werden. Regulationen im Bewegungsablauf sind dann vorrangig durch die Unterprogrammfolge, aber nicht innerhalb der Unterprogramme selbst möglich. Diese Unterprogramme werden als im ZNS gespeicherte Bewegungsformeln beschrieben, die den Bewegungsablauf in seiner gesamten zeitlich-räumlichen Struktur beschreiben. Diese werden in Form von Engrammen gespeichert. Engramme sind während der gesamten Zeit, solange die motorische Fertigkeit existiert, im ZNS in latenter Form präsent. Ähnliche Überlegungen zur Existenz von Unterprogrammen stellten Young & Schmidt (1990) an. Sie definieren motorische Programme als Einheiten der Bewegungskontrolle (units of movement control).

Neurophysiologisch gesehen werden schnelle Bewegungen zunächst in Form eines dynamischen Engramms gespeichert. Diese dynamischen Engramme entstehen durch intensive neuronale Aktivitäten im ZNS, die in diesem Sinne gewisse Spuren hinterlassen. Bereits nach wenigen gleichartigen Wiederholungen

wird dieses noch nicht stabile Engramm in ein stabiles (statisches) Engramm überführt, welches dann sehr störungsresistent bleibt. Als Mechanismen, die zur Konsolidierung führen, werden die Kalziumresthypothese sowie die posttetanische Potenzierung diskutiert.

Auch wurde die Organisation und Regulation schneller Bewegungen aus der physiologischen Sicht beschrieben. Zusammenfassend darf zu dieser Problematik festgestellt werden, dass die Basalganglien und das Kleinhirn eine entscheidende Rolle bei der Generierung schneller Bewegungen innehaben.

Nachdem im letzten Kapitel die theoretischen Grundlagen zum Verständnis der Informationsverarbeitung aufgearbeitet wurden, wird im nächsten Abschnitt beschrieben, wie schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster aus einer primär trainingswissenschaftlichen Perspektive als Ausdruck der motorischen Schnelligkeit verstanden werden können. Diese Vorgehensweise ist insofern wichtig, als dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit auch der Erkenntniserweiterung für die trainingswissenschaftliche Praxis dienen sollen.

7 Die motorische Schnelligkeit als Ausdruck schneller neuromuskulärer Innervationsmuster

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits gezeigt, dass es vermutet wird, dass schnelle Bewegungen durch schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster repräsentiert werden. Dies wurde bereits auf einer physiologischen, sowie psychomotorisch orientierten Ebene vertieft. In diesem Teil der Arbeit wird aus der Sicht der Trainingswissenschaft die motorische Schnelligkeit als Ausdruck der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster behandelt.

Schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster spiegeln die Qualität der neuromuskulären Steuer- und Regelprozesse, also der internen bewegungsregulatorischen Vorgänge, wieder. Sie reflektieren damit die motorische Schnelligkeit als elementare Leistungsvoraussetzung. Für die von Bauersfeld & Voss (1992) gefundenen Zeitprogramme als Ausdruck der motorischen Schnelligkeit gelten den Autoren zur Folge bestimmte Grundsätze:

1. Nervenleitgeschwindigkeit, Reflexzeit und Muskelfaserstruktur erfordern ein bestimmtes Ausprägungsniveau (Genetische Disposition).
2. Zeitprogramme werden durch übergeordnete Steuer- und Regelmechanismen im Bedarfsfall abgerufen. Sie sind damit für eine Vielzahl komplexer Bewegungen nutzbar und sind übertragbar.
3. Kurze Zeitprogramme sind auf der Grundlage unterschiedlicher Kraftvoraussetzungen realisierbar.
4. Es gibt keine geschlechtsspezifischen Unterschiede.
5. Ein ausgebildetes Zeitprogramm verliert mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei großer Wiederholungsdichte nicht an Qualität. Einmal ausgebildete Zeitprogramme besitzen also eine hohe Stabilität.

Die Kernthesen des Ansatzes von Bauersfeld & Voss (1992) können wie folgt wiedergegeben werden:

Schnelle und schnellkräftige Bewegungen werden durch Zeitprogramme bestimmt, die durch ein bestimmtes Innervationsmuster charakterisiert sind. Diese beinhalten die zeitlich abgestimmte neuromuskuläre (elektrische) Impulsfolge des Muskeleinsatzes der für die entsprechende Bewegung notwendigen Muskeln. Außerdem bestimmen die Innervationsmuster die Dauer und das Anstiegsverhalten der bioelektrischen Aktivität. Qualitätsunterschiede in der Schnelligkeit einer Bewegung werden durch das Zeitprogramm bzw. das dazugehörige neuromuskuläre Innervationsmuster begründet und können auf diese Weise diagnostiziert werden.

Verfolgt man diesen Gedankengang weiter, so kann angenommen werden, dass beinahe für alle Sportarten „Zeitprogramme“ konstruiert werden können, wenn sie die entsprechenden Kriterien erfüllen. Bauersfeld & Voss (1992) resümieren insgesamt zu ihren Ergebnissen bezüglich der Detektierung von Zeitprogrammen und ihrer empirischen Ergebnisse dazu, dass auch andere Autoren die Existenz solcher Zeitprogramme vermuten. Allerdings fassen sie dieses Phänomen mit einer

anderen Begrifflichkeit (vgl. u. a. Schmidtbleicher & Gollhofer, 1982; Janssen, 1983; Vogler 1984; Zintl, 1989).

Die angeführten Bodenkontaktzeiten bei den Nieder-Hoch-Sprüngen sind außerordentlich gering. Solche Werte sind nur schwerlich, beispielsweise bei den oberen Extremitäten, zu erwarten. Bauersfeld & Voss (1992, S. 18) räumen dies sogar explizit ein:

„Bei anderen Bewegungen können sich die Zeitprogramm Grenzen von diesem Wert unterscheiden.“

(Bauersfeld & Voss, 1992, S. 18)

Unterstützt werden diese Annahmen durch weitere Autoren, welche die motorische Schnelligkeit als spezifisch für bestimmte Körperregionen bezeichnen (z. B. Hollmann & Hettinger, 1990, S. 275; Schaper & Letzelter, 1994, S. 368). Andere Untersuchungen belegen, dass die dominante Körperseite höhere Leistungen bei Schnelligkeitsleistungen vollbringt (Carlier et al., 1993, S. 936f.).

Schließlich werden weitere Kriterien für das Vorhandensein von Zeitprogrammen unterschieden. Diese liegen im Innervationsverhalten, dargestellt im EMG (vgl. Kapitel 2).

Thienes (1998, S. 67) formuliert hierzu, dass die Hypothese nahe liege, wonach sich die motorische Schnelligkeit auf die Parametereinstellung, also die präzise räumlich-zeitliche Einstellung im Sinne der Schematheorie bereits gelernter Bewegungsabläufe, bezieht.

Die von Bauersfeld (1986), Wittekopf (1991) und von Bauersfeld & Voss (1992) vertretenen bewegungsspezifische Charakteristika der kurzen Zeitprogramme bzw. der vermuteten neuromuskulären Innervationsmuster sollen nun in den nächsten Abschnitten näher beschrieben werden. Denn gerade die gilt es schließlich im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit zu überprüfen.

7.1 Zur Übertragbarkeit von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern

Bauersfeld & Voss (1992, S. 30) beschreiben, dass strukturähnliche Bewegungen (z. B. Sprungbewegungen) auf der Grundlage der gleichen Zeitprogramme gesteuert werden. Sie stellten in elektromyographischen Untersuchungen fest, dass das typische zeitliche Innervationsmuster in der individuell vorhandenen Qualität bei unterschiedlichen Übungen, die jedoch ähnliche Strukturen aufwiesen, immer wieder auftrat. Verglichen wurden hierbei die Innervationscharakteristika bei Nieder-Hoch-Sprüngen, Hopsperläufen und Sprungläufen. Sowohl Sportler mit langem Zeitprogramm, als auch Sportler mit kurzem Zeitprogramm wiesen bei jeder Aufgabe die ähnlichen Innervationsmuster im EMG auf.

Für die Zweikampfsportart Judo birgt diese Überlegung interessante Annahmen. Demnach könnten die schnellen neuromuskulären Innervationsmustern entweder

spezifisch, also bei einer entsprechenden Wurftechnik, gelernt werden oder auch unspezifisch, beispielsweise an bestimmten Zuggeräten oder mittels bestimmter Zugübungen mit einem passiv agierenden Partner. Denn wenn die unterschiedlichen Programme die entsprechenden Charakteristika in ihrer räumlichen und dynamischen Struktur der verlangten Bewegung enthalten, kann der Übertragungscharakter ausgenutzt werden und sie können auch bei anderen Wurftechniken eingesetzt werden.

Yiou & Do (2001) folgerten aus Experimenten mit Fechtern, dass geübte Sportler in der Lage sind, mehrere Bewegungen mit einem einzigen motorischen Programm zu kontrollieren. Anfänger kontrollieren dagegen jede Bewegung innerhalb einer Bewegungssequenz mit unterschiedlichen motorischen Programmen. Weiter beschreiben die Autoren das Phänomen, wenn ein einzelnes motorisches Programm zwei Bewegungen steuert, ist die zweite Bewegung durch keine Refraktärzeiten limitiert. So zeigten Yiou & Do (2001), dass die erfahrenen Fechter keine Refraktärzeiten bei zwei Bewegungen aufweisen. Sie schließen daraus, dass beide Bewegungen (Ausfall und Treffer) von einem motorischen Programm gesteuert werden. Sie bezeichnen dies als „en bloc programming“. Allerdings zeigten die Autoren nicht auf, wie sie diese Sachverhalte detektierten.

Die Ausführungen von Yiou & Do (2001) würden bedeuten, dass bei der Verbesserung der Handlungsschnelligkeit also dem komplexen Schnelligkeitstraining die einzelnen neuromuskulären Innervationsmuster (Armzug-, Armdruck-, Platzwechsel- und Beinstreckbewegung bzw. Körperlängsachsendrehung) in ihrem Zusammenspiel optimiert werden können, indem die Refraktärzeit vermindert wird. Das Zusammenspiel der einzelnen Unterprogramme bzw. Innervationsmuster würde dann durch ein eigenes motorisches Innervationsmuster kontrolliert werden, „en bloc“ wie Yiou & Do (2001) es bezeichnen. Die Verifizierung steht noch aus.

7.2 Schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster bei unterschiedlichen muskulären Leistungsvoraussetzungen

Die kurzen Zeitprogramme sind unabhängig von unterschiedlichen muskulären Leistungsvoraussetzungen:

„Kurze Zeitprogramme sind auf der Grundlage unterschiedlicher Kraftvoraussetzungen realisierbar“

(Bauersfeld & Voss, 1992, S. 33).

Die Autoren fanden keine Korrelationen zwischen der Maximalkraft und der Stützzeit bei Nieder-Hoch-Sprüngen bei Probanden mittlerer und hoher Qualifikation. Allerdings muss hier festgestellt werden, dass bei den Experimenten von Bauersfeld & Voss (1992) keine Testperson mit einer Maximalkraft von über

6000 N in der Beinmuskulatur im langen Zeitprogramm lag. Diese Probanden befanden sich allesamt im Bereich des kurzen Zeitprogramms.

Unterstützt werden die Annahmen der Autoren zur Kraftunabhängigkeit dadurch, dass selbst bei einer Veränderung der Rahmenbedingungen, wie einer Zunahme der Fallhöhe, die individuellen Zeitprogramme (lang oder kurz) erhalten bleiben. Diese Tatsache unterstützt nach Meinung von Bauersfeld & Voss (1992, S. 34) den fehlenden Zusammenhang zwischen dem individuellen Ausprägungsgrad der Kraft und der Qualität des elementaren Zeitprogramms. Denn die Zunahme der Fallhöhe bedingt auch eine Zunahme der Bremskräfte, zumal einzelne Probanden immerhin das 15- bis 20-fache ihres Körpergewichtes abfangen mussten.

Als weiteren Hinweis für die Unabhängigkeit der kurzen Zeitprogramme von der Kraft werten die Autoren den Umstand, dass die Zeitprogramme keine ausgeprägten geschlechtsspezifischen Unterschiede aufweisen. Frauen und Männer können, trotz unterschiedlicher muskulärer Voraussetzungen ähnlich gute Werte erreichen.

In diesem Zusammenhang muss die Frage diskutiert werden, warum Voss (1991, S. 47ff) zur Ausbildung der Zeitprogramme den Einsatz von körpergewichtsentlastenden Systemen empfiehlt:

„Die Erleichterungen sind dabei auf Leistungsvoraussetzungen gerichtet, die für den Erwerb der Zielprogramme noch nicht ausreichend entwickelt sind. In der Regel sind das die Kraftvoraussetzungen“

(Voss, 1991, S. 47).

Seinen eigenen Aussagen zur Folge sind die kurzen Zeitprogramme nicht primär durch den Ausprägungsgrad der Kraftvoraussetzungen bestimmt.

Weineck & Köstermeyer (1998, S. 22 ff) diskutieren diesen Sachverhalt bei der physikalischen Betrachtung des Nieder-Hoch-Sprungs. Denn ein Sportler kann den Beschleunigungsimpuls ($I = F \times t$) nur dann konstant halten (bei der Annahme, dass die Körperschwerpunktveränderung jeweils 30 cm betragen soll), indem er entweder eine Erhöhung der Kraft bei gleichzeitiger Verringerung der Bodenkontaktzeit erreicht oder indem er eine Verlängerung der Zeit mit geringerem Kraftanteil ansteuert. Diesen Überlegungen zur Folge ist die Bodenkontaktzeit bei Nieder-Hochsprung von den reaktiven Krafftähigkeiten des Sportlers abhängig (vgl. Wineck & Köstermeyer, 1998, S. 23).

Unterstützt werden die Zweifel an der Kraftunabhängigkeit der elementaren azyklischen Zeitprogramme auch durch die Untersuchungen von Richter (1996). Er erhöhte ebenfalls die Fallhöhen beim Nieder-Hochsprung. Dabei stiegen die Kontaktzeiten im Mittel um 27,1 ms (Maximum: 102 ms). Diese zum Teil grossen Abweichungen sprechen nicht für eine relative Kraftunabhängigkeit. Denn ein fixiertes, stabiles Zeitprogramm müsste bei einer Variation der äußeren Widerstände eine erhebliche Steigerung des (reaktiven) Krafteinsatzes erfordern, welches eine grundsätzliche Kraftunabhängigkeit ausschließt (vgl. Köstermeyer & Wineck, 1998, S. 25).

Bei der einseitigen Betrachtungsweise der kurzen Zeitprogramme unter dem Aspekt der äußerlich messbaren Stütz- oder Bewegungszeiten bleibt der Aspekt der neuromuskulären Ansteuerung auf der Strecke. In diesem Zusammenhang hebt Schmidtbleicher (1985, S. 115 f.) hervor, dass eine schnelle Kraftentfaltung das Resultat einer raschen Aktivierung des neuromuskulären Systems sei. Eine schwere Last kann äußerlich sichtbar nicht mehr schnell angehoben werden, da der steilste Kraftanstieg mehr und mehr in die isometrische Phase der Kraft-Zeit-Kurve fällt. Relevant ist lediglich die zügige Kraftentwicklung in den inneren Strukturen. Und diese lassen sich gut durch die Innervationscharakteristika im EMG darstellen. Demnach müsste die tatsächliche Kraftunabhängigkeit durch das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein unterschiedlicher Anstiege und Gipfel im EMG-Verhalten nachgewiesen werden und nicht durch die eindimensionale Darstellung der Bewegungszeiten. Dies unterstreicht auch Voss (1998, S. 44) mit seiner Aussage:

„Stützzeit ist nicht gleich Zeitprogramm.“

In Erwiderung auf die Kritik von Weineck & Köstermeyer (1998) relativiert Voss (1998), dass niemals von einer völligen Kraftunabhängigkeit der Zeitprogramme gesprochen wurde, sondern dass immer von einer relativen Unabhängigkeit ausgegangen wird. Diese zeige sich vor allem darin, dass durch Krafttraining allein kaum Zeitprogrammänderungen möglich seien. Durch ein überwiegend kraftorientiertes Training ist es nicht zu erwarten, dass sich die elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten, welche spezifisch verbessert müssen, voll entfalten lassen. Die Zeitdauer bei schnellen Bewegungen ist zu kurz, um beispielsweise die Maximalkraft zur Entfaltung kommen zu lassen. Unterstützt werden können diese Überlegungen auch mit der in der Trainingswissenschaft immer wieder formulierten Forderung nach der Ausbildungsspezifität.

7.3 Zur Ermüdbarkeit und Stabilität von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern

Zeitprogramme sollen ermüdungsresistent sein und außerdem nach hohen Wiederholungszahlen eine große Stabilität aufweisen. Selbst nach höheren Wiederholungszahlen bleibt die individuelle Qualität des Zeitprogramms in einem gewissen Rahmen erhalten.

Voss (1991, S. 49) berichtet von Voruntersuchungen an einem Probanden, der selbst nach 300 Nieder-Hoch-Sprüngen noch immer das kurze Zeitprogramm erreichte. Aufgrund der kumulierten Ermüdung kam es erst gegen Ende der Serien zu immer mehr missglückten Sprüngen und auch die Sprunghöhe sank tendenziell. Untersuchungen von Meyer & Narveleit (1986, S. 46ff.) zeigen eine ähnliche Tendenz. Die Stützzeiten bei mehreren Läufen und Nieder-Hochsprung Serien veränderten sich nur innerhalb der jeweiligen motorischen Programme.

Voss (1991, S. 49) folgert aus diesen Ergebnissen, dass einmal ausgebildete elementare neuromuskuläre Innervationsmuster nur schwer ermüden. Sie verlieren auch bei hohen Wiederholungszahlen nichts von ihrer einmal erreichten Qualität. Zu den Leistungsrückfällen kommt es jedoch dadurch, dass das zeitliche Impulsmuster auf einen Muskel trifft, der bereits eine Ermüdungsaufstockung erfahren hat und nicht mehr das nötige energetische Potential aufweist, um das Impulsmuster verarbeiten zu können. Schließlich wirken diese elementaren Leistungsvoraussetzungen erst komplex mit anderen Leistungsfaktoren und werden dadurch sichtbar. Damit kann der Leistungsabfall primär auf die energetische Beanspruchung zurückgeführt werden (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 39).

Unterstützt werden diese Überlegungen durch Experimente mit Nieder-Hoch-Sprüngen, in denen gleichzeitig der Beanspruchungsgrad neuromuskulärer und zentralnervöser Belastungen gemessen wurde. Weder die Flimmerverschmelzungsfrequenz als Indikator für die zentralnervöse Beanspruchung, noch die Dopamin-Beta-Hydroxylase, als Indikator für einen Mangel an Noradrenalin in den Synapsen, die als Parameter zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der neuromuskulären Synapsen gilt, zeigen signifikante Reaktionen vor und nach der Belastung. Auch Blutammoniak, welches den Transmittermangel im Kleinhirn anzeigt, zeigt keine Hinweise auf besondere Belastungen des Kleinhirns bei massierten Nieder-Hochsprung Serien. Dahingegen zeigen Blutlaktat und Kreatinkinase, welche die metabolische Beanspruchung widerspiegeln, deutliche Anstiege (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 34ff.).

Wenn die Schnelligkeit aus der trainingswissenschaftlichen Perspektive angegangen wird, so muss auch der Frage der Trainierbarkeit nachgegangen werden. Denn schon lange gilt das Postulat, dass die Schnelligkeit nur in jungen Jahren lohnend trainiert werden kann. Wenn man die Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster betrachtet, stellt sich dies jedoch anders dar.

7.4 Zur Entwicklung und Trainierbarkeit der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster im Altersgang

Bezüglich der Entwicklung der Schnelligkeitsfähigkeiten beschreibt Thienes (1998, S. 34ff.) eine Frühzeitigkeitshypothese wonach

„es einfacher und effektiver ist, auf die heranreifenden als auf die ausgereiften Funktionen und Fähigkeiten Einfluss zu nehmen“

(Hirtz, 1981, S. 350).

Begründet wird dies mit der hohen Plastizität des zentralen und peripheren Nervensystems in jungen Lebensjahren, welches die Ausprägung der Schnelligkeit

in hohem Maße bestimmt. Nach Sichtung zahlreicher Daten, allerdings zur zyklischen Schnelligkeit, kommt der Autor zu dem Schluss, dass die nervalen Faktoren bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Alterslauf ein recht hohes Niveau erreichen bzw. die Entwicklung dann abgeschlossen sei. Er folgert hieraus, dass nach der Pubertät im Schnelligkeitstraining weniger die Schnelligkeitsanteile verbessert werden sollen als vielmehr, über ein spezielles Krafttraining, die benötigten Kraftanteile.

Allerdings muss diese These kritisch hinterfragt werden. Denn Weineck (1994) konstatiert, dass bei einem Kind mit sechs Jahren die Gehirnmasse bereits 90 bis 95 Prozent der Erwachsenenwerte erreicht (wobei die Gehirnfunktionen nicht unbedingt von der Gehirnmasse abhängig sind). Diesen Angaben zur Folge wäre das Entwicklungsmaximum bereits weit vor der Pubertät erreicht. Demgegenüber stehen die Befunde von Willimczik & Roth (1983, S. 288), die eine kontinuierliche Steigerung der Bewegungsschnelligkeit bis zum 20. Lebensjahr beschreiben. Weitere Daten widersprechen der Parallelität der Reifung zentralnervaler Strukturen und der Entwicklung der Schnelligkeit. Aus diesem Grund müssen wohl andere Einflussfaktoren wie übungs- und lernbedingte Koordinationsprozesse in diese Überlegungen mit einbezogen werden.

Für die Ausbildung der zentralnervösen Anteile der Schnelligkeit erscheint der Zeitabschnitt bis zum Abschluss der Maturität lohnend. Scheid (1994, S. 278) erklärt, dass sich gerade in der mittleren Kindheit die Schnelligkeitsfähigkeiten gut entwickeln. Ab dem fünften und sechsten Lebensjahr können ausgeprägte Zuwachsraten festgestellt werden. Allerdings sind diese Fortschritte weniger durch die gesteigerte Lernfähigkeit oder Trainierbarkeit determiniert als vielmehr durch die für die Kinder typische Lebenstätigkeiten, die durch das gesteigerte Spiel-, Bewegungs- und Betätigungsbedürfnis charakterisiert sind (vgl. Meinel & Schnabel, 1987, S. 303).

Im frühen Schulkindalter (siebtes bis zehntes Lebensjahr) entwickeln sich die Schnelligkeitsfähigkeiten besonders rasch. Meinel & Schnabel (1987, S. 322) betonen, dass hinsichtlich der Parameter zur Schnelligkeit in diesem Altersbereich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede bestehen. Ausnahmen bilden Schnelligkeitsleistungen mit erhöhten Kraftanforderungen. Daraus folgern die Autoren in Anlehnung an Bauersfeld (1983), dass die Schnelligkeit vorrangig durch Funktionseigenschaften der Nervenprozesse bedingt ist.

Eine Vielzahl von weiteren Daten und theoretischen Überlegungen führte eine ganze Reihe von Autoren zu der Annahme, dass die Trainierbarkeit der Schnelligkeit als sehr begrenzt eingestuft wird. Als „sensible Phase“ wird hier das Schulkindalter angegeben, da wie schon mehrfach erwähnt, in diesem Alter eine erhöhte Formbarkeit des zentralen und peripheren Nervensystems vorliegt (vgl. Winter, 1994, S. 350). Und als Umkehrschluss wird vermutet, dass in späteren Altersabschnitten dieses dann ausgereifte Funktionssystem durch exogene Reize nicht mehr beeinflussbar sei.

Allerdings muss diesbezüglich festgestellt werden, dass über Übungs- und Lerneffekte auch im späteren Alter Schnelligkeitsverbesserungen möglich sind. Schließlich muss darauf hingewiesen werden, dass motorische Entwicklung und Trainierbarkeit keineswegs identisch sind (vgl. Conzelmann, 1994, S. 172). Denn der Begriff Entwicklung bezieht sich nach Singer & Bös (1994, S. 19)

„auf die lebensalterbezogenen Veränderungen der Steuerungs- und Funktionsprozesse, die Haltung und Bewegung zugrunde liegen.“

Die Entwicklung ist daher nicht die Ursache der Veränderung, sie stellt vielmehr eine Beschreibungskategorie dar, welche die Veränderungen aufzeichnet.

Hohmann et al. (2002, S. 232f.) beschreiben, dass es gerade in der Frage des besten motorischen Lernalters in den letzten Jahren widersprüchliche empirische Befunde gegeben habe. Nach reifungstheoretischen Überlegungen müsste das späte Schulkindalter (Mädchen 10./11. – 11./12. Lebensjahr; Jungen 10./11. – 12./13. Lebensjahr) das beste motorische Lernalter sein (Winter 1977). Aber Untersuchungsergebnisse von Joch, Hasenberg & Auerbach, 1990; Joch & Hasenberg, 1991) negieren das beste Lernalter vor der Pubertät. Willimczik et al. (1983) fanden sogar heraus, dass die motorischen Lernleistungen bei Jungen und Mädchen nach der Pubertät signifikant besser waren.

7.5 Zusammenfassung

Die Kernthesen des Ansatzes von Bauersfeld & Voss (1992) können wie folgt wiedergegeben werden. Schnelle und schnellkräftige Bewegungen werden durch schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster (Zeitprogramme) bestimmt, die durch ein bestimmtes Innervationsmuster charakterisiert sind. Sie beinhalten die zeitlich abgestimmte neuromuskuläre (elektrische) Impulsfolge des Muskeleinsatzes der für die entsprechende Bewegung notwendigen Muskeln. Außerdem bestimmen sie die Dauer und das Anstiegsverhalten der bioelektrischen Aktivität. Qualitätsunterschiede in der Schnelligkeit einer Bewegung werden durch das Zeitprogramm begründet und können auf diese Weise diagnostiziert werden. Verfolgt man diesen Gedankengang weiter, so kann angenommen werden, dass beinahe für alle Sportarten „Zeitprogramme“ konstruiert werden können, wenn sie die entsprechenden Kriterien erfüllen.

Schließlich werden weitere Kriterien für das Vorhandensein von kurzen Zeitprogrammen unterschieden. Diese liegen im Innervationsverhalten, dargestellt im EMG, welches durch ausgeprägte Vorinnervationsphasen, einen steilen Anstieg der Hauptaktivität und eine Aktivitätskonzentration in der ersten Hälfte der Arbeitsphase, sowie durch eine gute Koaktivierung zwischen den Hauptmuskeln gekennzeichnet sind.

Die kurzen Zeitprogramme sind offenbar unabhängig von unterschiedlichen muskulären Leistungsvoraussetzungen:

„Kurze Zeitprogramm sind auf der Grundlage unterschiedlicher Kraftvoraussetzungen realisierbar“

(Bauersfeld & Voss 1992, S. 33).

Voss (1998) relativiert diese Aussage mit einer relativen Unabhängigkeit. Diese zeige sich vor allem darin, dass durch Krafttraining allein kaum Zeitprogrammänderungen möglich seien. Durch ein überwiegend kraftorientiertes Training ist es nicht zu erwarten, dass sich die elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten, welche spezifisch verbessert müssen, voll entfalten lassen.

Neuromuskuläre Impulsmuster verlieren offensichtlich auch bei hohen Wiederholungszahlen nichts von ihrer einmal erreichten Qualität. Zu den Leistungsrückfällen kommt es jedoch dadurch, dass das zeitliche Impulsmuster auf einen Muskel trifft, der bereits eine Ermüdungsaufstockung erfahren hat und nicht mehr das nötige energetische Potential aufweist, um das Impulsmuster verarbeiten zu können.

Bezüglich der Entwicklung der Schnelligkeitsfähigkeiten wurde eine Frühzeitigkeitshypothese beschrieben, wonach

„es einfacher und effektiver ist, auf die heranreifenden als auf die ausgereiften Funktionen und Fähigkeiten Einfluss zu nehmen“

(Hirtz, 1981, S. 350).

Begründet wird dies mit der hohen Plastizität des zentralen und peripheren Nervensystems in jungen Lebensjahren, welches die Ausprägung der Schnelligkeit in hohem Maße bestimmt.

Allerdings muss diesbezüglich festgestellt werden, dass über Übungs- und Lerneffekte auch im späteren Alter Schnelligkeitsverbesserungen möglich sind. Schließlich muss darauf hingewiesen werden, dass motorische Entwicklung und Trainierbarkeit keineswegs identisch sind (vgl. Conzelmann, 1994, S. 172).

Die Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster gilt als elementare Leistungsvoraussetzung. Diese sind dadurch determiniert, dass sie erst in Verbindung mit anderen Leistungsvoraussetzungen „sichtbar“ werden. Diese Zusammenhänge sollen im folgenden Kapitel aufgezeigt werden. Die Leistungsvoraussetzungen, die im Besonderen mit der Schnelligkeit in Wechselwirkung treten, sind die Kraft, die Technik und die Ausdauer.

8 Zum Zusammenhang der Schnelligkeit mit der Kraft, der Technik und der Ausdauer

Dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster folgend scheint zu gelten, dass sowohl schnelle als auch schnellkräftige Bewegungen gesteuert werden, also ohne Feedback-Prozesse ablaufen. Das heißt für beide Bewegungsformen, unabhängig vom zu überwindenden Widerstand, sind schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster detektierbar.

In der Literatur wird bei einem Krafteinsatz von unter 30 Prozent des individuellen Kraftmaximums (Maximalkraft) von der (azyklischen) Bewegungs- oder Aktionsschnelligkeit gesprochen (vgl. u.a. Grosser, 1991; Pampus, 1995). Je höher der zu überwindende Widerstand ist, welcher schnellkräftig überwunden werden muss, desto mehr wirkt die Maximalkraft des Sportlers limitierend. Aus diesem Grund kann ein enger Zusammenhang von schnellen Bewegungen und der Kraft postuliert werden. Im ersten Teil dieses Kapitels wird dieser dargestellt.

Die Schnelligkeit einer Bewegung ist eng mit der Ausprägung bzw. der Qualität der Bewegungstechnik verbunden. Wie sich diese Verbindungen verhalten wird im zweiten des Kapitels ausführlich diskutiert.

Schließlich folgt im dritten Teil eine Darstellung des Einflusses von konditionellen energetischen Belastungen auf die Schnelligkeit.

8.1 Zum Zusammenhang zwischen den Kraftfähigkeiten und der motorischen Schnelligkeit

Exkurs: Definitionen

Angesichts der Vielfalt der Ausdrücke zur Kraft und Schnellkraft muss vorab festgelegt werden, was unter dem einen oder anderen Konstrukt zu verstehen ist. In diesem Zusammenhang erscheint es schwierig, festzulegen, welcher Autor als Referenz herangezogen werden soll. Schmidtbleicher (1992) bietet in diesem Zusammenhang konsensfähige Operationalisierungen der einzelnen Konstrukte an, denn eine Zusammenstellung der unterschiedlichen Definitionen einzelner Autoren würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Schnellkraft: Mit der Schnellkraft wird die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bezeichnet, einen möglichst großen Kraftstoß bzw. Impuls in der zur Verfügung stehenden Zeit zu produzieren. Nach Bührle (1985, S. 104) lässt sie sich durch die Bildung des Quotienten aus dem Krafthöchstwert (K_{max}) und der bis dahin benötigten Zeit (T_{max}) bestimmt werden. Sie setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen (vgl. Schmidtbleicher, 1992, S. 396).

Startkraft: Schmidtbleicher (1992, S. 479) kennzeichnet die Startkraft als Fähigkeit des neuromuskulären Systems, vom Beginn der Kontraktion an einen möglichst großen Kraftanstieg zu produzieren. Sie ist unabhängig vom äußeren Widerstand. Bührle (1985, S. 104) schätzt die Startkraft mit dem Quotienten ab, der sich auf die

ersten 30 ms des Kontraktionsvorgangs bezieht. Sie ist eine Teilfähigkeit der Schnellkraft.

Explosivkraft: Nach Schmidtbleicher (1992, S. 157) ist die Explosivkraft die Fähigkeit des neuromuskulären Systems einen bereits begonnenen Kraftanstieg weiterzuentwickeln. Im osteuropäischen Raum entspricht die Explosivkraft dem deutschen Schnellkraftbegriff. Explosivkraft ist dort die Fähigkeit, maximale Kraft in einer minimalen Zeit zu realisieren (vgl. Zatsiorskij, 1996, S. 50). Auch die Explosivkraft ist eine Teilfähigkeit der Schnellkraft.

Maximalkraft: Sie stellt den höchsten realisierten Kraftwert dar, der bei maximaler Willkürkontraktion gegen einen unüberwindlichen Widerstand erreicht wird. Es wird oft angenommen, dass die Maximalkraft eine Komponente der Schnellkraft sei und eine Verbesserung der Maximalkraft eine Verbesserung der Bewegungsschnelligkeit bedingt. Auf diese Problematik wird jedoch weiter unten dezidiert eingegangen (vgl. Schmidtbleicher, 1992, S. 302f.).

Da die Schnellkraft den speziellen Bezug zur Thematik der vorliegenden Arbeit hat, soll ihr im folgenden Abschnitt eine dezidiertere Darstellung zukommen.

8.2 Die Schnellkraft

Wie bereits im letzten Abschnitt dargestellt wurde, werden als Dimensionen der Schnellkraft die Komponenten Maximalkraft, Explosivkraft und Startkraft unterschieden. Diesen unabhängigen Komponenten sind einerseits elementare Einflussgrößen und andererseits spezifische Trainingsmethoden zugeordnet. Es werden weiter muskuläre und neuronale Einflussgrößen unterschieden. Auf der muskulären Seite ist dies die Muskelzusammensetzung und der Muskelquerschnitt, auf der neuronalen Seite sind dies die Rekrutierung, die Frequenzierung und die Synchronisierung der motorischen Einheiten. Im folgenden Schaubild wird das diesen Überlegungen zugrunde liegende Strukturmodell von Schmidtbleicher (1987, S. 359) dargestellt.

Tabelle 4: Strukturmodell der Schnellkraft (mod. nach Schmidtbleicher, 1987, S. 359)

Motorische Grund-eigenschaft	Komponenten	Einflussgrößen		Kontraktionsart
		Muskuläres System	Neuronales System	
	Maximalkraft	Muskel-zusammen-setzung und Muskel-querschnitt	Rekrutierung, Frequen-zierung, Syn-chronisierung	Konzentrisch und isometrisch
Schnellkraft	Explosivkraft			
	Startkraft			

Verchoschanskij (1995, S. 106) teilt die Schnellkraft zusätzlich in zwei Kategorien ein. Die erste Form der Schnellkraft zeigt sich in Bewegungen gegen einen unbedeutenden äußeren Widerstand mit kurzer Bewegungsamplitude. Hier wirkt die Startkraft limitierend. Bei Bewegungen gegen einen bedeutenden äußeren Widerstand äußert sich die zweite Form der Schnellkraft. Hier wirken sowohl die Startkraft als auch die Explosivkraft leistungsbegrenzend. Verchoschanskij (1995, S. 60) erklärt, dass im Bereich von 15 bis 20 Prozent der individuellen Maximalkraft (er nennt dies P_o = Kraftpotential der Muskeln) die Bewegungsgeschwindigkeit von der organisatorischen Operationalität der zentralnervösen Innervationsmuster abhängt. Erst im Bereich zwischen 20 und 70 Prozent von P_o wird die Bewegungsgeschwindigkeit von der Schnellkraft, die sich gerade in schnellen Bewegungen gegen relativ geringe Widerstände (relativ gering bedeutet jedoch nicht niedrig) äußert, determiniert. Bei 70 Prozent von P_o schließlich wird die Bewegungsgeschwindigkeit durch die Fähigkeit zu explosiven Krafteinsätzen bestimmt.

Um die folgende Abbildung 16 zu verstehen, muss noch einmal Verchoschanskij's (1995, S. 37) Verständnis von Schnelligkeit und Geschwindigkeit erläutert werden. Der russische Trainingswissenschaftler beschreibt die Schnelligkeit und die Geschwindigkeit als unterschiedliche Bewegungsfähigkeiten des Menschen. Die Schnelligkeit tritt ausschließlich bei unbelasteten Bewegungen hervor und gilt als allgemeine Eigenschaft des Zentralen Nervensystems und wird durch neuromuskuläre Innervationsmuster bestimmt. Damit liegt der Autor auf einer Linie mit Bauersfeld & Voss (1992, S. 34), die eine Kraftunabhängigkeit der elementaren azyklischen und zyklischen Zeitprogramme postulieren.

Die Geschwindigkeit einer sportlichen Bewegung ist dagegen

„eine Funktion von Intensität und Ausdauer des motorischen Systems einschließlich der rationellen Koordinationsfähigkeit des Sportlers hinsichtlich seiner Bewegungen und Krafteinsätze“

(Verchoschanskij, 1995, S. 37).

Resümierend ist zu diesen Ausführungen festzustellen, dass die Schnelligkeit eher den latenten Faktor darstellt, während die Geschwindigkeit das Äußerliche, das Sichtbare darstellt, welches sich in einer schnellen Bewegung manifestiert. Diese Aussage unterstreicht auch die bereits dargestellte Ausführung von Schmidtbleicher (1985, S. 115f), der die Bedeutung einer schnellen Kraftentfaltung hervorhebt, da sie das Resultat einer raschen Aktivierung des neuromuskulären Systems darstellt. Eine schwere Last kann äußerlich sichtbar nicht mehr schnell angehoben werden, da der steilste Kraftanstieg mehr und mehr in die isometrische Phase der Kraft-Zeit-Kurve fällt. Relevant ist lediglich die zügige Kraftentwicklung in den inneren Strukturen.

Untersuchungen von Müller (1985, S. 144ff) zeigten, dass die neuronale Aktivierung bei isometrischen und konzentrischen Kontraktionen gegen unterschiedliche Leistungen gleich verläuft, als einzige diesbezügliche Einschränkung gilt, dass der Kräfteinsatz explosiv erfolgen muss. Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 224) führen dazu aus, dass der beschleunigungswirksame Anteil der Kraftentfaltung um so geringer wird, je näher die Last an der Maximalkraft liegt.

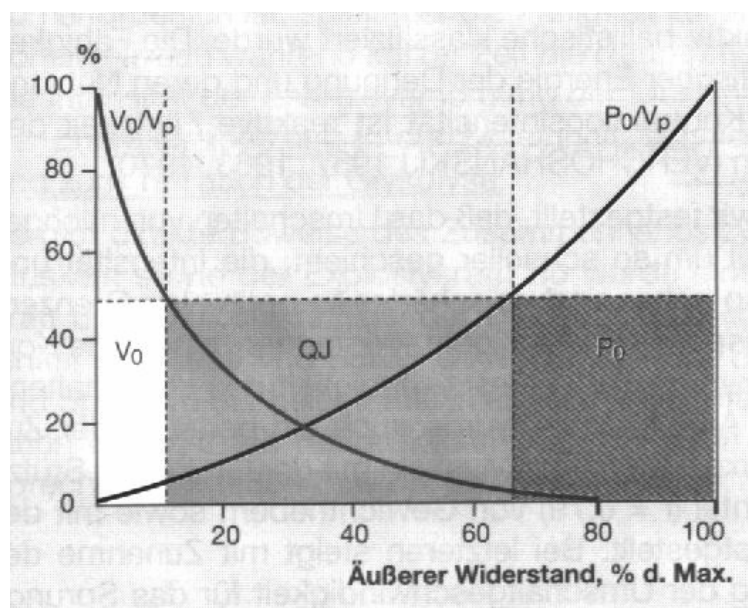


Abbildung 16: Veränderung der Gesamtheit von individuellen Unterschieden (r_2) zwischen dem Kraftpotential (P_0) und der Geschwindigkeit einer belasteten Bewegung (P_0/V_p) und zwischen der Schnelligkeit und der Geschwindigkeit einer belasteten Bewegung (V_0/V_p) in Abhängigkeit von der Größe des äußeren Widerstands (aus: Verchoschanskij, 1995, S. 59). Legende: V_p : Geschwindigkeit einer Bewegung; V_0 : Schnelligkeit einer Bewegung; P_0 : Kraftpotential

Verchoschanskij's Verständnis entspricht in etwa auch dem Grosser's (1991). Seine Strukturierung der Schnelligkeit in die einer „reinen Schnelligkeit“ als genereller Eigenschaft des Zentralnervensystems und einer „komplexen Schnelligkeit“, die sich aus einem breiten Spektrum funktioneller Möglichkeiten zusammensetzt, folgt einem ähnlichen Prinzip.

Verchoschanskij (1995, S. 37) erklärt die Möglichkeiten zur Steigerung der Schnelligkeit als sehr begrenzt, da sie stark genetisch präformiert sei. Erklärend hierzu müssen auch seine Zweifel an der Existenz der Geschwindigkeits- oder besser Schnelligkeitsbarriere aufgeführt werden. Denn Verchoschanskij (1988, S. 57) sieht die Stagnation der Leistungen im Sprintlauf nicht durch die Schnelligkeitsbarriere erklärt, sondern

„durch das Erschöpfen der individuellen Grenzen der Schnelligkeitspotenziale.“

Dagegen sind die Möglichkeiten zur Verbesserung der Geschwindigkeit praktisch recht gut. Denn die Intensität, Ausdauer und Bewegungskoordination weisen eine gute Trainierbarkeit auf.

Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 225) diskutieren aufgrund der zugrundeliegenden Definition zur Schnellkraft, dass eine Impulsvergrößerung entweder durch die Verlängerung der Kraftereinwirkungsdauer, die Steilheit des Kraftanstieges oder das realisierte Kraftmaximum ermöglicht werden kann.

Die im Judo primär von der Schnellkraft abhängigen und vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmustern (bei der Armzugbewegung, der Armdruckbewegung und der Beinstreckbewegung bzw. Körperlängsachsendrehung) können ihren Impuls aufgrund der erzeugten Bewegungsgeschwindigkeiten und des begrenzten verfügbaren Beschleunigungsweges jedoch nicht durch eine Verlängerung der Kraftereinwirkungsdauer vergrößern. Daher muss hier vermehrt Augenmerk auf den Kraftanstieg und das Kraftmaximum Augenmerk gelegt werden. Die Autoren bestimmen die Explosivkraft als die Fähigkeit einen möglichst steilen Kraftanstieg zu erzeugen. Wie schon Bauersfeld & Voss in ihren ersten Ausführungen aus dem Jahr 1992, bestimmen Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 225) eine 200 ms-Grenze bei schnellkräftigen Bewegungen. Demnach werden Schnellkraftleistungen, die unterhalb dieser Grenze liegen, vorrangig über die Ausprägung der Explosivkraft bestimmt, während bei einer Dauer von über 200 ms die Schnellkraftleistung vom dynamisch realisierbaren Kraftmaximum abhängt.

8.3 *Krafttraining zur Verbesserung der Geschwindigkeit sportlicher Bewegungen*

Schnabel et al. (1997, S. 145) heben hervor, dass zwischen der azyklischen Bewegungsschnelligkeit und der Krafftfähigkeiten enge Beziehungen bestehen. Sie heben in diesem Zusammenhang hervor, dass die Hauptreserve zur Verbesserung der Beschleunigungsfähigkeit eine Erhöhung der Krafftfähigkeiten sei (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 253). In besonderem Maße gilt das für die von der Schnellkraft determinierten potentiellen schnellen neuromuskulären Innervationsmuster im Judo. Deshalb soll in diesem Abschnitt aufgezeigt werden, auf welche Art und Weise das Krafttraining durchgeführt werden kann, damit durch diese Trainingsform

eine Verbesserung der Bewegungsschnelligkeit erreicht werden kann. Dies ist insofern notwendig, als dass dadurch ein weiterer Zugang zum Zusammenhang zwischen der Schnelligkeit und der Kraft eröffnet wird.

Sowohl Verchoschanskij (1995) als auch Zatsiorskij (1996) heben die Bedeutung der Spezifität der Krafttrainingsübungen hervor. Verchoschanskij (1995, S. 62) bemerkt hierzu, dass die Kraftfähigkeiten nur in der Arbeitsweise effektiv realisiert werden können, die sie hervorgebracht und geformt hat. Auch Zatsiorskij (1996, S. 234) fordert, dass den Anforderungen nach Übungsspezifität entsprochen wird. Dies bedeutet für ihn, dass im Krafttraining die Wettkampfübung (mit Zusatzgewichten) das wichtigste Mittel der Wahl sei. Ursachen hierfür sind zum einen, dass sich spezifische Kraftfähigkeiten sowohl aus der Arbeitsweise und aus derer propriozeptiver Stimulation, also der Anpassungsumbauten im ZNS zusammensetzen und zum anderen, dass sich die Kraftfähigkeiten auch durch die morphologischen und biochemischen Eigenschaften der beanspruchten Muskulatur ergeben.

Diese Überlegungen lassen sich auch aus einem grundlegendem Gesetz der Trainingslehre ableiten: Das Qualitätsgesetz besagt, dass spezielle Reize zu speziellen Effekten führen (vgl. Frey & Hildenbrandt, 1994, S. 58). Auf die vorliegende Thematik bezogen heißt das in Anlehnung an Verchoschanskij (1995, S. 65), dass ein Training mit geringer Geschwindigkeit im wesentlichen die Kraft bei geringen Bewegungsgeschwindigkeiten steigert, aber keinen bedeutenden Einfluss auf den Kraftzuwachs bei hohen Geschwindigkeiten hat. Dieses Prinzip gilt auch umgekehrt.

Sale (1994, S. 255) bezeichnet dies auch als das Phänomen der Schnelligkeitsspezifität im Krafttraining. Begründet wird dieses durch spezifische Trainingseffekte in der Muskulatur durch eine Steigerung der Verkürzungsgeschwindigkeit und durch neurale Adaptationsmechanismen. Angenommen wird auch, dass schnellkräftige Bewegungen einer unterschiedlichen zentralnervösen Steuerung im Vergleich zu langsamen Kontraktionen unterliegen. Diskutiert wird in diesem Zusammenhang das Phänomen der prämotorischen Stille (PMS = premovement silence). Die PMS ist eine kurze potentialfreie Pause, welche häufig vor Schnellkraftbelastungen nachgewiesen wurde. Ihr Zweck liegt darin, dass in der kurzen erregungsfreien Phase eine optimale Synchronisierung der motorischen Einheiten angestrebt werden kann. Denn am Ende der PMS sind viele Einheiten in einem nichtrefraktären Zustand und damit kontraktionsbereit. Als weiteren Grund führt Walter (1988, zit. in Sale, 1994, S. 255) an, dass die PMS aus mechanischer Sicht zur Einleitung eines kurzen Dehnungs-Verkürzungszyklus dient, wodurch die Kraft und Geschwindigkeit der Bewegung gesteigert wird.

Martin et al. (1991, S. 131) beschreiben, dass eine hohe Startgeschwindigkeit nicht zwangsläufig auch eine hohe Endgeschwindigkeit mit sich bringt. Das bedeutet, dass beide Komponenten gemeinsam trainiert werden sollten, also auch der Ziel- oder Wettkampfbewegung entsprechen müssen.

Wie wichtig diese Spezifik ist, wird auch durch die Ausführungen von Schnabel et al. (1994, S. 136) klar. Ausgehend von der Annahme, dass der Einfluss der Maximalkraft sich um so mehr verringert, je mehr die Komponente Schnelligkeit in der Schnellkraftbewegung dominiert, verweisen die Autoren darauf, dass bei einem Krafttraining darauf geachtet werden muss, dass keine Störungen in der leistungsbestimmenden Koordination auftreten können.

Den obigen Ausführungen folgend ist ein Grundprinzip im Kraft- und Schnellkrafttraining für Schmidtbleicher (1994, S. 385) die Übereinstimmung zwischen Trainings- und Wettkampfbelastung. Das Ausmaß und die Richtung des Bewegungsablaufes muss mit den Verhältnissen im Wettkampf übereinstimmen. Er begründet dies mit der Gewährleistung eines optimalen Transfers der Trainingsleistung in den Wettkampf. Dass die Übungen zur Verbesserung der Schnellkraftfähigkeiten weitestgehend der dynamischen Struktur der Wettkampfübung entsprechen wird von einer Reihe von Autoren gefordert (u.a. Verchoschanskij, 1971, S. 61; Letzelter & Letzelter, 1990, S. 282).

Die Aussagen lassen insgesamt den Schluss zu, dass auch im schnellkraftorientierten Krafttraining gilt, dass ein bewegungsspezifisches schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster ausgebildet werden muss. Dies unterstützt die Aussage von Voss (1991), wonach schnellkräftige Bewegungen durch ein Zeitprogramm determiniert werden. Unterlegt wird diese Annahme auch durch Letzelter & Letzelter (1990, 85), welche die Schnellkraft als koordinationsabhängig beschreiben. Aus diesem Grund muss das koordinative Prinzip der strukturellen Übereinstimmung zur Wettkampfbewegung stets berücksichtigt werden.

8.4 Zum Zusammenhang zwischen Schnellkraft und Maximalkraft

Hinsichtlich schneller Bewegungen wurden bereits häufig hohe Korrelationen zwischen dem Ausprägungsgrad der Maximalkraft und dem Niveau der azyklischen Schnellkraftleistungen detektiert bzw. beschrieben (vgl. u.a. Schnabel et al., 1997, S. 245; Zatsiorskij, 1996, S. 233; Frey & Hildenbrandt, 1994, S. 82; Schmidtbleicher, 1992, S. 303; Grosser, 1991, S. 39ff; Letzelter & Letzelter, 1990, S. 87; Heyden, Droste & Schmidtbleicher, 1988, S. 39ff), wobei jedoch nicht gilt, dass sich Schnellkraft und Maximalkraft parallel entwickeln (vgl. Letzelter & Letzelter, 1990, S. 166). Schon zu Beginn der 80er Jahre zeigten die Untersuchungsergebnisse von Schmidtbleicher (1980), Bührle & Schmidtbleicher (1981) und Bührle et al. (1983) unter anderem auch auf faktorenanalytischer Basis, dass die Maximalkraft als wichtige Basiskomponente der Schnellkraft beurteilt werden kann. Bührle & Schmidtbleicher (1977) und Schmidtbleicher (1980) zeigten in ihren Arbeiten den engen Bezug zwischen der azyklischen Schnelligkeit und der Kraft auf unterschiedlichen Belastungsstufen. Hierbei ergibt sich eine besonders grosse Abhängigkeit bei identischen Bewegungsstrukturen (Schmidtbleicher, 1980, S. 84f.).

Bührle (1985, S. 104) ist sogar der Meinung, dass

„die Maximalkraft der wichtigste Bestimmungsfaktor aller Schnellkraftleistungen“

sei. Mit seiner bekannten Kraft-Zeit-Kurve bei einer Arm-Ausstoßbewegung zeigt Bührle weiter, dass gegen höhere Lasten auch höhere Kräfte realisiert werden. Damit scheint die Maximalkraft besonders bei der schnellkräftigen Überwindung von höheren Lasten ein leistungsbestimmender Faktor zu sein. Untersuchungen von Pampus (1992, S. 254ff) zeigten, dass die Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels und damit die Geschwindigkeit, mit welcher unterschiedliche hohe Lasten bewegt werden, im wesentlichen eine Funktion der Kraft sei.

Dahingegen wurde der Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und schnellen zyklischen Bewegungen durch Untersuchungen von Thienes (1998, S. 131ff) widerlegt, der betont, dass die Maximalkraft bereits per Definition an azyklischen Bewegungsabläufe geknüpft sei.

Die Aussagen zum Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Schnellkraft müssen jedoch weiter differenziert werden. Denn je höher der zu überwindende Widerstand ist, desto größer ist der Einfluss der Maximalkraft auf das Schnellkraftniveau (vgl. Hartmann & Tünnemann 1993, S. 71). Die Maximalkraft bestimmt damit die Kraftwerte, die ein Sportler unter dynamischen Bedingungen aufbringen kann. Einschränkend muss jedoch auch erwähnt werden, dass die Abhängigkeit von Kraft und Geschwindigkeit bei Bewegungen mit höheren Lasten und damit verbunden niedriger Geschwindigkeiten größer ist.

Im Umkehrschluss gilt, dass der sportliche Bewegter gegen leichtere Lasten nur geringere Kraftwerte entwickeln kann. Dieses bei Göhner (1999, S. 74) als Last-Phänomen bezeichnete Verhalten hängt eng mit dem Geschwindigkeits-Phänomen zusammen. Denn die aufgebrachten Kraftwerte verringern sich, je größer die Geschwindigkeit des bewegten Körpers wird. Dem sich schnell bewegenden Körper können nur noch geringe Kräfte hinzugefügt werden. Dahingegen ist es während der Beschleunigungsphase noch möglich recht grosse Kräfte aufzubringen.

Wird nun ein relativ leichter Körper bewegt, so ist zu beobachten, dass man diesem sehr schnell eine hohe Geschwindigkeit geben kann. Ist diese aber erreicht, so kann zum weiteren Beschleunigen der Last keine grosse Kraft mehr entwickelt werden (Göhner, 1999, S. 74). Dieser Sachverhalt zeigt sich auch beim sogenannten trägheitsbedingten Kraftfluchteffekt (Lehnertz, 1985, S. 36). Er bezeichnet die Erscheinung, dass die Verkürzungsgeschwindigkeit der Muskelfasern der Bewegungsgeschwindigkeit eines Körpers, der durch einen anfänglichen Kraftstoß hoch beschleunigt wurde, nicht mehr folgen. Denn dieser Körper entzieht sich aufgrund seiner Trägheit kurzzeitig weiterer Krafteinwirkungen. Erst wenn die Geschwindigkeit dieses Körpers etwas reduziert ist und die Verkürzungsgeschwindigkeit der Muskulatur wieder Anschluss findet, kann die Masse erneut beschleunigt werden.

Die Abbildung 17 zeigt, wie die azyklische Schnellkraft je nach Höhe des Widerstands zwischen der Bewegungsschnelligkeit und der Maximalkraft hin und her pendelt.

Bewegungsschnelligkeit ← azyklische Schnellkraft → Maximalkraft (Krafteinsatz < 30Prozent) (maximaler Krafteinsatz)

Abbildung 17: Wirkungsbereich der azyklischen Schnellkraft (mod. nach Pampus, 1995, S. 9)

Eine weitere interessante Auffassung zum Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und der Schnelligkeit vertritt Zatsiorskij (1996, S. 235). Wenn die Dauer der Wettkampfbewegung unter 300 ms liegt, wird gegenüber der Maximalkraft die Kraftentwicklung pro Zeiteinheit (der Kraftgradient) zum entscheidenden Faktor:

$$\text{Kraftgradient} = F_{0,5} / T_{0,5}$$

$F_{0,5}$ stellt die Hälfte der Maximalkraft dar, $T_{0,5}$ die dafür erforderliche Zeit.

Infolge der kurzen Bewegungszeit kann der Maximalwert nicht entwickelt werden, damit steht die vergrößerte Maximalkraft auch der Bewegungsgeschwindigkeit nicht zu Verfügung. Zur Verbesserung des Kraftgradienten schlägt der Autor vor, Übungen zu verwenden, die durch maximal schnelle Muskeleinsätze gegen hohe Widerstände angewandt werden (z. B. drei Serien mit drei Wiederholungen bei 90 Prozent des individuellen Kraftmaximums).

Ähnlich argumentiert Schmidtbleicher (1992, S. 396), allerdings gibt er andere Zeiten an. Der Autor vertritt die Auffassung, dass bei Krafteinsätzen gegen Widerstände, die deutlich länger als 150 ms dauern, die Maximalkraft zum leistungsbestimmenden Kriterium wird. Bei kurzzeitigen Belastungen, die weniger als 150 ms andauern, werden die Start- und die Explosivkraft zu den leistungsbegrenzenden Faktoren.

Die Verbesserung der Maximalkraft wirkt sich besonders günstig auf die Bewegungsschnelligkeit aus, wenn Trainings- und Testübung identisch sind. Schmidtbleicher (1980) wies diesen Zusammenhang in einer Laborsituation nach. Das bedeutet, dass zum einen der Weg-Zeit-Verlauf der Übung möglichst nahe an die Wettkampfübung herankommt und das zum anderen auch die Arbeitswinkel nahezu identisch sein sollten.

Die Zusammenhänge zwischen Kraft und Geschwindigkeit sollen im folgenden Abschnitt genauer beleuchtet werden.

8.4.1 Die Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung

Eine grundlegende Aussage der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung ist, dass sich die Bewegungsgeschwindigkeit mit Zunahme des äußeren Widerstandes (Last) verringert (Zatsiorskij, 1996, S. 53). Daraus wird gefolgert, dass das Kraftmaximum bei geringen Geschwindigkeiten erreicht wird, während die maximale

Bewegungsgeschwindigkeit nur bei geringen Lasten realisiert werden kann. Folgerichtig ergibt sich, dass bei menschlichen Bewegungen die Kraft-Geschwindigkeits-Kurve einer Hyperbel gleicht. Zatsiorskij (1996, S. 55) beschreibt, dass Sportler in Schnellkraftsportarten eine flachere Kurve aufweisen, während Ausdauersportler und Anfänger eher steilere Kurven aufweisen. Der russische Autor berechnet diese Form der Krümmung durch das Verhältnis von $a : F_{mm}$ (a : Konstante, angegeben in Newton, F_{mm} : maximale isometrische Muskelkraft). In Zahlen ausgedrückt variiert das Verhältnis von $a : F_{mm}$ von 0,10 bis 0,60. Je geringer dieses Verhältnis, um so größer ist die hyperbolische Krümmung der Kraft-Geschwindigkeits-Kurve.

Die Kraft-Zeit-Kurve wird außerdem durch die Zeit bestimmt, die für eine schnelle Kraftentwicklung benötigt wird, determiniert. Denn bei schnellen Bewegungen kann, wie bereits weiter oben erwähnt, die Zeit zu kurz sein, um die maximale Kraft aufzubauen.

Für die Sportpraxis bedeutet dies, dass die Trainingsziele Kraft oder Kraftanstieg differenziert werden müssen. Das bedeutet, dass ein Krafttraining zur Verbesserung der Maximalkraft nur dann sinnvoll ist, wenn der Sportler in der Lage ist, in der verbleibenden Zeit diese Kraft auch zu realisieren, denn um bei einer bestimmten Bewegung die maximale Kraft zu entwickeln, wird Zeit benötigt.

Farfel (1977, S. 219 ff) deutet diesen Zusammenhang mit der Gleichung $F = m \cdot a$ an. Die Kraft F_{max} kann ihr Maximum entweder dadurch erreichen, dass $F_{max} = m \cdot a_{max}$ gegeben ist oder $F_{max} = m_{max} \cdot a$. Angestrebt werden sollte also $F_{max} = m_{max} \cdot a_{max}$.

Zatsiorskij (1996, S. 50) erklärt diesbezüglich das Explosivkraft-Defizit (ESD), welches prozentual das Kraftpotential angibt, welches bei einer schnellen Bewegung nicht ausgenutzt wurde. Das ESD kann entweder verringert werden, indem die Maximalkraft verbessert wird, oder der Kraftanstieg verbessert wird. Die Verbesserung der Maximalkraft liefert nach Zatsiorskij (1996, S. 172) jedoch nur gute Ergebnisse bei Anfängern oder Athleten, deren ESD deutlich unter 50 Prozent liegt. Für die Verbesserung des Kraftanstiegs muss der Kraftgradient gesteigert werden. Zu diesem Zweck werden folgende Empfehlungen gegeben (vgl. Zatsiorskij, 1996, S. 174 f.). Die Lasten sollen stets mit der maximal erreichbaren Geschwindigkeit bewegt werden, wobei der Widerstand nicht zu gering gewählt werden darf. Im dynamischen Krafttraining soll die Widerstandsgröße so gewählt werden, dass die Bewegungsgeschwindigkeit erreicht wird, die mit der bei der Wettkampfbewegung vergleichbar ist.

Schmalz (1993, S. 95) untersuchte ebenfalls den Zusammenhang zwischen Kraft und Geschwindigkeit. Er simulierte an acht Probanden schnellkräftige Streckbewegungen bei unterschiedlichen Zusatzlasten, bei gleichem Kniegelenksausgangswinkel. Je nach Zusatzlast wurden andere Rangordnungen vorgenommen, die sich je nach Zusatzlast deutlich voneinander unterschieden (vgl. Abb. 18).

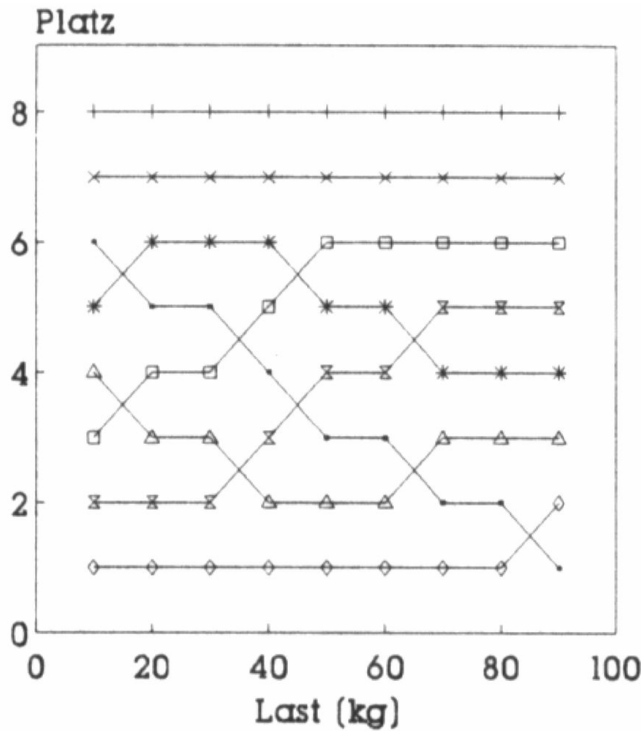


Abbildung 18: Rangordnungen nach dem Parameter Maximale Streckgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zusatzlast bei acht Probanden (aus: Schmalz, 1993, S. 95)

Schmalz (1993, S. 95) folgert aus diesen Ergebnissen,

„dass das individualspezifische Zusammenwirken von aktivem und passivem Bewegungsapparat die äußeren Parameter der Bewegung in komplizierter Weise bestimmt“.

Diese Ergebnisse stützen die weiter oben angeführten Forderungen nach der Spezifität bei der Verbesserung von schnellkräftigen Bewegungen und damit auch die Existenz von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern, die je nach Anforderung unterschiedliche Parametrisierungen erfahren. Für das Judo könnte dies bedeuten, dass bereits im Training zur Verbesserung der Armzug- oder Druckbewegung der Widerstand gewählt werden soll, der dem in der Wettkampfbewegung entspricht, um eben das für diese Bewegung spezifische schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster mit den entsprechenden Parametrisierungen zu generieren.

8.4.2 Das Konzept der Muskelleistungsschwelle

Ein weiterer Ansatz, der die Zusammenhänge zwischen Kraft und Geschwindigkeit berücksichtigt, ist das Konzept der Muskelleistungsschwelle (MLS) von Lehnertz & Pampus (1989) bzw. Martin et al. (1991, S. 118ff). In diesem Ansatz gehen die Autoren unter dem Aspekt der Leistungsdiagnostik davon aus, dass die maximale Muskelleistung die entscheidende Komponente darstellt, da die Leistung das Maß für die Geschwindigkeit ist, mit der eine Kraft Arbeit verrichtet. Rüegg (1987, S. 81) beschreibt die Muskelleistung als ein Produkt von Muskelkraft und Verkürzungsgeschwindigkeit. Als Bezugspunkt wählt der Autor die Hillsche Kraft-Geschwindigkeitsrelation nach der die Kontraktionsgeschwindigkeit mit zunehmender Belastung in hyperbolischer Weise abnimmt (vgl. Abb. 20). Bestimmt wird diese Kurve durch die Hillsche Gleichung:

$$(L+a)(v+b) = c$$

Die Variablen a, b, c sind hierbei invariante Kennwerte des Muskels (a = innere Reibungskräfte, b = Schnelligkeit der chemischen Reaktionen). Wären diese Kennwerte bekannt, so ist eine Berechnung möglich, die voraussagt, mit welcher maximalen Geschwindigkeit eine definierte Last bewegt werden kann. Die Grundaussage der HILLschen Gleichung ist, dass je höher die zu überwindende Last ist, desto geringer ist die maximale Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels (vgl. Abb. 19).

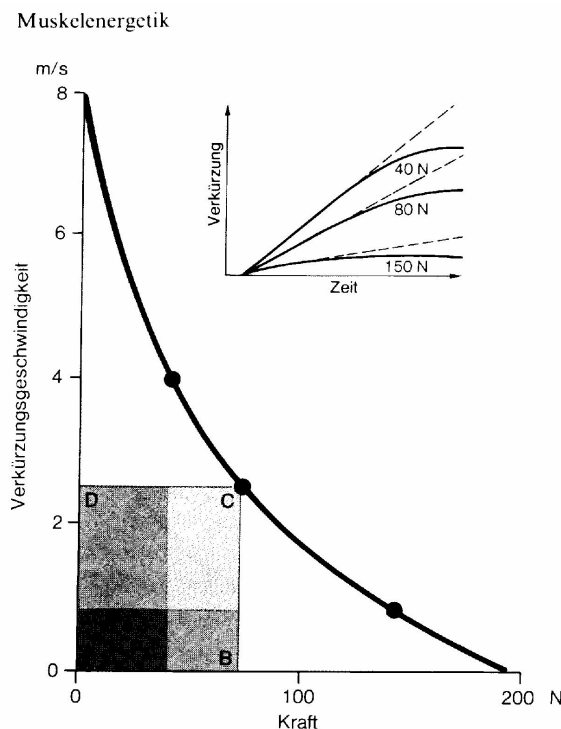


Abbildung 19: Die Kraft-Geschwindigkeitsrelation nach HILL (aus: Rüegg, 1987, S. 81)

Die optimale Muskelleistung wird demzufolge bei einem optimalen Verhältnis von zu bewältigender Last und der Geschwindigkeit der bewegten Last erreicht (Martin et al. 1991, S. 119).

Diese sogenannte Schwellenlast wird durch dasjenige Gewicht bestimmt, mit welchem die maximale Leistung erreicht wird. Lehnertz & Pampus (1988) entwickelten ein Verfahren bei welchem aus dem rechnerischen Zeitlimit aus fünf Bestversuchen im Bankziehen über die Wegstrecke und die gehobene Last der Impuls (= Kraft mal Geschwindigkeit) ermittelt wird. Aus diesen Werten kann die Muskelleistungskurve (vgl. Abb. 20) dargestellt werden, aus welcher ersichtlich wird, bei welcher Last der höchste Impuls erreicht wird.

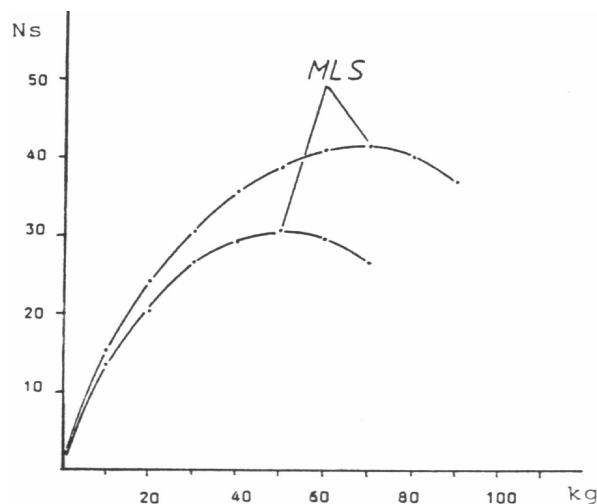


Abbildung 20: Charakteristik der Muskelleistungsschwelle, definiert über den Impuls der beschleunigten Masse zweier Probanden. Die Muskelleistungsschwelle liegt bei den Probanden bei 42 Ns und 30 Ns. Die Schwellengewichte liegen bei 50 und 70 Kilogramm (aus: Martin et al., 1991, S. 119)

Aus diesem Ansatz heraus fordern Martin et al. (1991, S. 127), dass zur Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur bzw. zur Erhöhung der Kraftbildungsgeschwindigkeit und Optimierung der intermuskulären Koordination die maximal hohe Impulshöhe, also die Muskelleistungsschwelle als hundertprozentige Belastungsintensität zugrunde gelegt werden sollte.

Die Untersuchungsergebnisse der Autoren weisen die Muskelleistungsschwelle bei ca. 60 bis 70 Prozent des konzentrischen Lastmaximums aus. Dieser Ansatz wird mit folgender Aussage begründet:

„Es muss daher angenommen werden, dass bei geringerer Last, dafür höherer Geschwindigkeit, nicht alle kraftbildenden Strukturen der betreffenden Muskelgruppe mechanisch rekrutiert werden können, demgegenüber bei Lasten oberhalb des Schwellengewichtes jeder molekulare „Einzelschritt“ des Energietransfers langsamer verläuft.“

Wir halten deshalb eine Intensität im Bereich der Muskelleistungsschwelle für den optimalen Kompromiss zur Durchführung eines qualitätsübergreifenden Muskeltrainings.“

(Martin et al., 1991, S. 127)

Da die Autoren jedoch Bewegungen bzw. Aktionen und nicht direkt Muskeln gemessen haben, erscheint der Ausdruck Muskelleistungsschwelle nicht passend. Aus diesem Grund favorisiert der Verfasser in diesem Zusammenhang den Ausdruck Aktionsleistungsschwelle.

8.4.3 Zum Problem der Übertragbarkeit

Ein häufig auftretendes Problem im Krafttraining ist das der Übertragung. Denn mit steigendem Leistungsniveau sind Übertragungseffekte durch unspezifische Trainingsmittel ausgeschlossen (Pampus, 1995, S. 77). Dies gilt insbesondere auch für die Verbesserung der Schnellkraft, indem ihr das Konzept der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster zugrunde gelegt wird. Denn nach Bauersfeld & Voss (1992, S. 18) sind solche neuromuskulären Innervationsmuster bewegungsspezifisch. Sie enthalten das zeitlich abgestimmte Impulsmuster für die bei der Bewegung beanspruchten Muskelgruppen. Daher muss bei der Auswahl der Übungen das spezielle Kraftanforderungsprofil determiniert werden. Es geht dabei um die Detektierung kinematischer, dynamischer und funktionell-anatomischer Merkmale der sportartspezifischen Technik. Diesbezügliche Fragen werden in Abbildung 21 zusammengefasst dargestellt.

1. Welche Muskeln/Muskelschlingen sind am Kraftverlauf beteiligt?
2. In welchen Arbeits- (Gelenk)winkeln werden die Muskelgruppen tätig?
3. In welcher Stärke erfolgt die Kraftentwicklung, und in welche Richtung müssen die von den einzelnen Muskeln wirkenden Teilimpulse wirken?
4. Aus welchen Muskelkontraktionsformen (exzentrisch, konzentrisch, isometrisch) setzt sich der Bewegungsablauf zusammen?
5. Welche Anzahl und Dauer (Frequenz) haben die Einzelkraftstöße?

Abbildung 21: Fragen zur Detektierung des speziellen Kraftanforderungsprofils (mod. nach Martin et al., 1993, S. 136)

Als weiterer Problempunkt zur Übertragbarkeit im Schnellkrafttraining gilt, dass einerseits zwar Zusatzlasten notwendig sind, andererseits mit zunehmenden Lasten sowohl die Dynamik, als auch die Kinematik zunehmend leiden. Um dieser Problematik Herr zu werden, werden in der Trainingspraxis kombinierte Methoden eingesetzt. Frey & Hildenbrandt (1994) berichten von Handballspielern, die nach dem Bankdrücken im Krafraum in die Trainingshalle gehen und dort Bälle gegen die Wand werfen. Die Autoren bezeichnen dies als „Utilisieren“ (Nutzbarmachen) der im Krafttraining erworbenen „Rohkraft“.

Auch Allmann's (1985, S. 295) Methode des rekoordinativen Trainings zielt in diese Richtung. Dabei handelt es sich um Läufe, welche der Wiedergewinnung der Laufkoordination im Anschluss an ein Krafttraining dienen sollen.

Als weiterer Ansatzpunkt in diese Richtung kann das viel diskutierte Konzept des langfristig verzögerten Trainingseffektes von Verchoschanskij (1988) herangezogen werden. Hier sollen die Trainingsblöcke Kraft und Technik in zwei aufeinanderfolgenden Zyklen schwerpunktmäßig trainiert werden. Das Techniktraining soll dann erfolgen, wenn der langfristig verzögerte Trainingseffekt durch das vorangeschaltete Krafttraining voll wirksam wird.

Pampus (1995, S. 79) beschreibt das Prinzip in anschaulicher Weise. Parallel zum umfangsorientierten Krafttraining wird im ersten Trainingsabschnitt ein Technikerwerbstraining mit geringer Intensität durchgeführt. Es dient dem Einschleifen störungsresistenter Verschaltungen im Gedächtnis zur Automatisierung der Bewegung. Daneben findet außerdem das technische Ergänzungstraining seinen Platz mit Koordinations- und Imitationsübungen. Der zweite Trainingsabschnitt ist dadurch charakterisiert, dass unter erhöhter Kraftleistungsfähigkeit die Technik durch bewegungsintensives Technikerwerbstraining vervollkommen wird. Das verbesserte Schnellkraftniveau muss im Technikanwendungstraining in wettkampfnaher Form angewandt werden. Der Umfang des Krafttrainings wird in diesem Zyklus reduziert, während die Intensität gesteigert wird.

Die im letzten Abschnitt getätigten Überlegungen zeigen bereits die Tendenz auf, dass auch die Technik einen großen Einfluss auf die Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster hat. Diese Zusammenhänge sollen daher im nächsten Abschnitt herausgestellt werden.

8.5 *Zum Zusammenhang zwischen der sportlichen Technik und der motorischen Schnelligkeit*

Die moderne Trainingswissenschaft weist sich durch ein interdisziplinäres Grundverständnis aus. Es gilt als überholt zu glauben, man könne die einzelnen Leistungsvoraussetzungen isoliert trainieren. Konditionstraining galt in der klassischen Trainingslehre als Optimierung von Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, und Beweglichkeit. Techniktraining stand unter dem Aspekt der Optimierung sportartspezifischer Bewegungsabläufe, das Taktiktraining schließlich bezog sich auf die Optimierung eigener Entscheidungen zwischen Handlungsalternativen unter Berücksichtigung des gegnerischen Verhaltens (vgl. Nitsch & Neumaier, 1997, S. 44). Heute gilt es, die einzelnen Fähigkeiten und Fertigkeiten, quasi interdisziplinär, gemeinsam zu trainieren. Gerade in Bezug zu Technik- und Schnelligkeitstraining ist eine Verzahnung der beiden Komplexe notwendig, wie die folgenden Ausführungen zeigen werden.

Im Techniktraining soll ein Sportler dazu befähigt werden, mit einer zweckmäßigen und koordinativ beherrschten Technik Bewegungshandlungen auszuführen (vgl. Schnabel et al. 1997, S. 214). Dabei betonen Martin et al. (1991, S. 44), dass Techniktraining immer auch motorisches Lerntraining sei.

Diese Auffassung sollte kritisch beäugt werden, da sich die Aussagen zum Techniktraining bisher zu stark an den Theorien zum motorischen Lernen angelehnt haben und sich dabei zum Teil als unzweckmäßig erwiesen haben (z. B. konditionelle Belastungen und Techniktraining). Es wurde daher versäumt, eine eigene Theorie des Techniktrainings zu entwickeln.

Auch darf Techniktraining nicht durch die Auslenkung und Stabilisierung der Homöostase beschrieben und erklärt werden. Es besteht im Gegensatz zum Kraft- und Ausdauertraining keine eindeutig direkte Beziehung zwischen quantitativen Parametern der Trainingsbelastung und der Leistungsentwicklung.

Techniktraining ist ein qualitatives Training, welches durch motorische Lernprozesse zu verbesserten Innervationsmustern führt. Den Auffassungen von Krüger (1989, S. 110) und Schnabel (1991, S. 127) zur Folge werden die funktionellen Optimierungen auf der Ebene der zentralnervalen und neuromuskulären Informationsverarbeitung getätigt, zu denen es im Techniktraining, bedingt durch die Adaptationen der informativischen Funktionssysteme, kommt. Damit weist das Techniktraining Parallelen zum Schnelligkeitstraining auf.

Der in der vorliegenden Arbeit verwendete Technikbegriff versteht die sportliche Technik in erster Linie in Anlehnung an Meinel (1961, S. 242) als charakteristisches Lösungsverfahren sportlicher Bewegungsaufgaben (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 102; Weineck, 1994, S. 563; Martin et al., 1991, S. 45).

Saß, Vietinghoff & Stoll (1997, S. 4) beschreiben eine Leistungshierarchie in der sportlichen Tätigkeit nach der die konditionellen Leistungsfaktoren sich erst durch die sportliche Technik manifestieren.

Im folgenden Abschnitt werden die Verbindungen zwischen der Technik und der Schnelligkeit vorgestellt.

8.5.1 Die Verbindungen von Schnelligkeit und Bewegungstechnik

Martin (1991, S. 69) erläutert, dass im motorischen Lernen in Anlehnung an Schmidt (1977, S. 315)

„eine Information zunächst in Form kreisender Erregung in einem räumlich-zeitlich geordneten Muster als dynamisches Engramm gespeichert wird. Diese kreisende Erregung führt anschließend zu strukturellen Veränderungen an den beteiligten Synapsen und damit zur Konsolidierung zu einem strukturellen Engramm. Der Gedächtnisinhalt kann dann über eine entsprechende Aktivierung dieser Systeme wieder abgerufen werden.“

Somit verwendet Martin (1991) die bereits beschriebene Engrammtheorie, um die neuronalen Mechanismen im Techniktraining zu erklären. Voss, Zempel & Gäbel

(1993, S. 39) unterstreichen diesen Zusammenhang mit dem Postulat, dass das (Zeit)-Programm bzw. neuromuskuläre Innervationsmuster nicht durch die technische Ausführung der Bewegung bestimmt wird, sondern umgekehrt die technische Bewegung durch das Zeitprogramm bzw. das neuromuskuläre Innervationsmuster bestimmt wird. Spezielles Training zur Verbesserung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster erzielt damit auch die gewünschten sporttechnischen Effekte.

Auch Grosser (1991, S. 102 ff) beschreibt den engen Zusammenhang zwischen Schnelligkeit und Technik. Sein Postulat hierzu,

„die Aktionsschnelligkeit kommt in Reinform in der Praxis nahezu nicht vor, sondern ist nur in Verbindung mit einer hochausgeprägten Bewegungstechnik optimal realisierbar“,

beschreibt dies hinreichend. In Anlehnung an Matwejew (1981, S. 168) wird hier von der Ausbildungsspezifität der Schnelligkeit gesprochen. Demnach muss die Entwicklung derjenigen motorischen Fähigkeiten gesichert werden, von denen die Höchstgeschwindigkeit der Bewegungen unmittelbar abhängt.

Auf diesem Hintergrund werden sowohl zum Technik- als auch zum Schnelligkeitstraining ähnliche trainingsmethodische Hinweise gegeben, welche im Folgenden skizziert werden.

8.5.1.1 Zur Gestaltung der Rahmenbedingungen

Sowohl das Erlernen schneller neuromuskulärer Innervationsmuster als auch der Erwerb der Technik-Grundstruktur geschieht auf der Grundlage zentralnervöser Mechanismen. Es wird in diesem Zusammenhang eine Engrammbildung und -konsolidierung beschrieben (vgl. Neumaier, 1997, S. 194).

Im elementaren Schnelligkeitstraining sollen nach Bauersfeld & Voss (1992, S. 49) prognostische neuromuskuläre Ansteuerungsqualitäten, also schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster ausgebildet werden. Das bedeutet, dass die Rahmenbedingungen stets derart zu gestalten sind, damit solche Prognosestrukturen erreichbar werden. Beispielsweise kommen hierbei Übungen unter Körpergewichtsentslastung zum Einsatz. Mit solchen gerätetechnischen Veränderungen wird es dem Sportler während der Übung ermöglicht, die Bewegung schneller auszuführen als es unter Normalbedingungen möglich ist. Voss (1991, S. 47) zeigte, dass es Athleten möglich ist, die unter den Zwangsbedingungen angesteuerten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster auch unter Normalbedingungen zu realisieren.

Nach Neumaier (1997, S. 218) gilt ein Techniktraining als ineffektiv oder kontraproduktiv, wenn die für eine korrekte Technikausführung notwendigen synaptischen Bahnungen nicht mehr präzise genug erfolgen oder der Konsolidierungsprozess der Engramme gestört wird. Gerade im Technikerwerbstraining kommt es darauf an, dass keine Bewegungsfehler, also „falsche“ neuromuskuläre Verschaltungen gefestigt werden.

Martin et al. (1991, S. 171) fordern für das Schnelligkeitstraining möglichst standardisierte Bedingungen ohne Störfaktoren, die ein

„Einschleifen schneller Bewegungsabläufe“

ermöglichen. Dieses Postulat zeigt deutliche Parallelen zu den von Martin (1991, S. 57) formulierten Grundsätzen zum Technikerwerbstraining (vgl. auch Weigelt, 1997, S. 70):

„..., dass das Technikerwerbstraining immer unter optimalen, ja möglichst standardisierten Bedingungen durchgeführt werden muss“

Die Schnelligkeitsbarriere (Orsolin, 1949) stellt im Schnelligkeitstraining ein Phänomen dar, bei welchem sich „falsche“ neuromuskuläre Innervationsmuster ausgebildet haben, die ein weiteres Verbessern der Schnelligkeit verhindern. Am Beispiel des Sprints wird beschrieben, dass im Zentralnervensystem Schrittfrequenz, Schrittlänge und Raumaufteilung derart eingeschliffen sind, dass eine weitere Leistungssteigerung verhindert wird (vgl. Hollmann & Hettinger, 1990, S. 291).

Über das gleiche Phänomen im Techniktraining berichten Neumaier, de Mares & Seiler (1997, S. 19), welches bei ihnen als Technikbarriere bezeichnet wird. Um die beiden Phänomene aufzubrechen werden ähnliche Lösungsschemata beschrieben. Diese bestehen in erster Linie durch das Aussetzen der Hauptübung und zusätzliche Anwendung anderer Übungen unter veränderten Bedingungen. Zur Vermeidung von Schnelligkeitsbarrieren werden in diesem Zusammenhang vorrangig variable Methoden, wie beispielsweise kontrastive Methoden, bei welchen die äußeren Bedingungen variiert werden, eingesetzt. Zatsiorskij (1972, S. 62) fordert überdies die Vermeidung hoher Wiederholungszahlen bei der Verwendung von Übungen, die eine Transferwirkung auf die Zielbewegung haben. Eine interessante, aber kritisch zu betrachtende Erklärung zur Schnelligkeitsbarriere wird in diesem Zusammenhang von Geese & Hillebrecht (1995, S. 32) allerdings bei zyklischen Bewegungen geliefert. Sie erklären, dass bei schnellen Fingerbewegungen mit der steigenden Geschwindigkeit die Grenze der koordinierten Bewegung überschritten wird, das zunächst parallele Muster zusammenbricht und die Finger gegenläufig bewegt werden. Das Umkippen von einem geordneten in einen ungeordneten Zustand wird von den Autoren als Grenzfrequenzphänomen bezeichnet und liegt möglicherweise auch bei der Schnelligkeitsbarriere vor. Damit wird formuliert, dass ein Ziel des Schnelligkeitstrainings sein kann, die Schnelligkeitsbarriere hinauszuschieben, indem häufig Anforderungen im koordinativen Grenzbereich gestellt werden.

8.5.2 Schnelligkeit, Technik und Präzision

Die sportliche Technik, definiert als das zweckmäßige Lösen einer sportlichen Bewegungsaufgabe, weist bestimmte biomechanische Charakteristika wie räumliche, zeitliche sowie dynamische Merkmale auf (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 102; Bauersfeld & Voss, 1992, S. 68).

Diese beschreiben die Genauigkeit bzw. die Präzision der Technik. Mangelnde Präzision bei der Ausführung einer Handlung wird als Fehlhandlung bezeichnet. Die Ursachen für solche Fehlhandlungen sind vielfältig. Sie können zum einen dadurch entstanden sein, dass sie durch eine der Situation nicht angemessenen Entscheidung entstanden sind, also durch taktische Fehler bedingt sind. Sie können aber auch durch zeitlich zu späte, in Ablauf oder Ziel fehlerhafte bzw. durch schwache oder langsame Bewegungen bedingt sein, die mit einem zu geringen Muskelpotential erklärt werden (vgl. Tschiene & Barth, 1997, S. 90). Erfolgreiche Handlungen sind also stets mit einer gewissen Geschwindigkeitsanforderung verbunden, die gewisse Wechselwirkungen mit sich führen und das betrifft vor allem die Genauigkeit der Bewegung.

Von vielen Autoren wird beschrieben, dass sich Schnelligkeit und Präzision umgekehrt proportional verhalten (u.a. Grosser, 1991, S. 139). Die folgende Abbildung veranschaulicht diesen Zusammenhang.

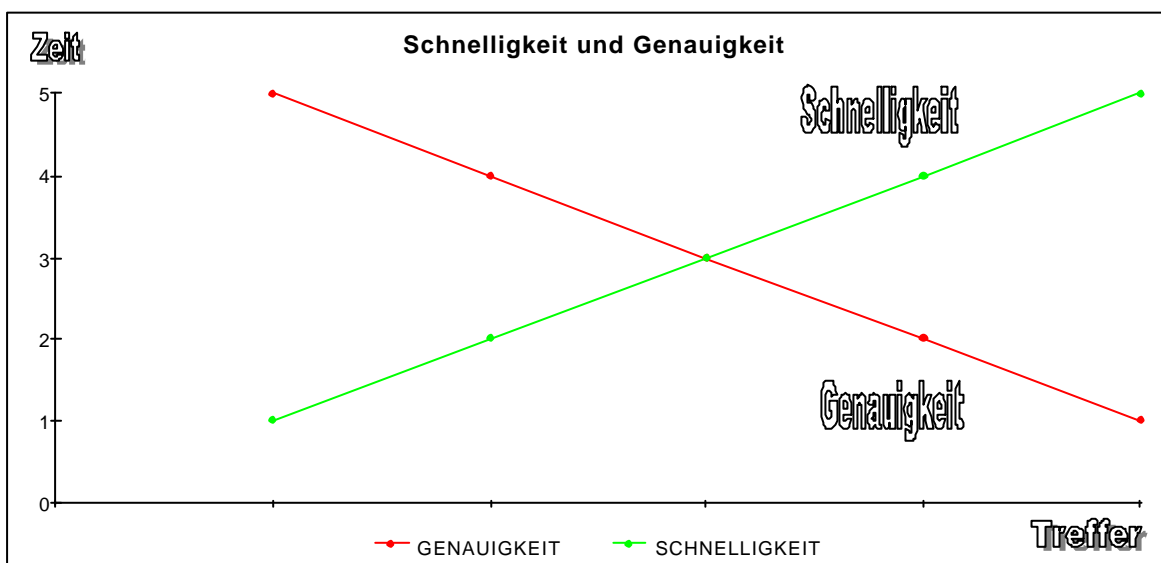


Abbildung 22: Das Verhältnis von Schnelligkeit und Genauigkeit sportlicher Handlungen (mod. nach Schellenberger, 1986, S. 427; Gold, 1998, S. 46)

Die Grundlage hierfür liefert das Fitts'sche Gesetz aus dem Jahr 1954. Es besagt im Grundsatz, dass es nicht möglich sei, sich gleichzeitig beliebig schnell und präzise zu bewegen. Man hat es mit einem wechselseitigen Ausgleich zu tun („speed-accuracy trade-off“).

Weigelt (1997, S. 68) differenziert die Aussagen zum Verhältnis zwischen Schnelligkeit und Genauigkeit sportlicher Handlungen, indem er die Theorie der

Geschwindigkeits-Genauigkeitsflucht nach Schmidt (1991, S. 118) zitiert. Sie besagt, dass die zeitliche Präzision einer Bewegung mit verringerter Bewegungszeit abnimmt und der räumliche Fehler zunimmt. Weiter beschreibt Weigelt (1997, S. 68) in Anlehnung an Schmidt (1991, S. 120), dass durch bestimmte Bewegungsqualitäten auch bei schnellen Bewegungen der räumliche Fehler verringert werden kann. In jedem Fall bedingen sich Schnelligkeit und Genauigkeitsanforderungen gegenseitig. Und das führt zu Problemen, vor allem bei der Ausbildung von schnellen und gleichzeitig präzisen Bewegungen, wie sie im Sport grundsätzlich wünschenswert sind.

Nett (1956, S. 41) fordert hierzu, dass die Bewegungsgeschwindigkeit nur so hoch sein dürfe, wie es das technische Niveau des Athleten erlaube. Auch nach Weineck (1994, S. 439) sollen noch nicht beherrschte Technikbewegungen zunächst im submaximalen Intensitätsbereich (der Schnelligkeit) erlernt werden und erst im Übergang zu maximalen und supramaximalen Bewegungen ausgeformt werden. Zatsiorkij (1972, S. 66f.) prägte in diesem Zusammenhang den Begriff der „kontrollierten Schnelligkeit“, die bei etwa 90 Prozent liegt. Sie ist dadurch charakterisiert, dass sie noch eine gute technische Durchführbarkeit ermöglicht, andererseits aber noch nicht allzu weit von der Maximalgeschwindigkeit entfernt ist. Haunschild (1985, S. 99) präzisiert diese Punkte, indem er postuliert, dass die Leistungsfaktoren sich gegenseitig bedingen:

„Die Qualität des einen Leistungsfaktors ist Voraussetzung für die Qualität des anderen und umgekehrt“

(Haunschild, 1985, S. 9).

Allerdings muss in diesem Zusammenhang betont werden, dass eine Bewegungsfertigkeit ohnehin niemals auf genau dieselbe Art und Weise ausgeführt wird (Cratty, 1979, S. 393). Schwankungen innerhalb einer Bewegung treten in allen biologischen Systemen auf und können daher als Notwendigkeit für natürliche Adaptationsprozesse angesehen werden (Ashby, 1956, zit. nach Schöllhorn, 1999, S. 7). Maschinen schaffen es zwar, ohne Fehler Bewegungen auszuführen, sind jedoch bislang nicht in der Lage zu lernen. Schöllhorn (1999, S. 7) bezieht dieses Phänomen auf die Ausführungsgeschwindigkeit beim Erlernen einer neuen Bewegung und auf das Verhalten beim Übergang zwischen zwei stabilen Zuständen. Bei der Aneignung einer neuen Bewegung muss demnach in einem Geschwindigkeitsbereich gearbeitet werden, der unterhalb einer kritischen Bewegungsgeschwindigkeit liegt, oberhalb derer nur ein potentiell mögliches Muster produziert werden kann. Wird der Übergang von einem stabilen Zustand in einen anderen angestrebt, in welchem eine neue Zeitskala angesprochen wird, so gelingt der Übergang zu dieser neuen stabilen Bewegungstechnik nur durch ein „Instabilmachen“ der alten Bewegungstechnik. Die Anzahl der möglichen Schwankungen muss demnach erhöht werden. Konsequenterweise stellt der Autor die Frage, ob der Erfolg durch die Anzahl der Wiederholungen oder durch die Größe der Streuung zustande kommt (vgl. Schöllhorn, 1999, S. 9). Dounskaia, van

Gemmert & Stelmach (2000) zeigten in ihren Experimenten bei kleinräumigen Bewegungen wie dem Schreiben, dass es ein optimales Tempo geben muss, bei welchem das beste Resultat hinsichtlich Geschwindigkeit und Präzision herauskommt.

Lehmann (1981, S. 585) sieht in der Präzision und Schnelligkeit wesentliche koordinative Merkmale der Technik. Diese ergeben sich aus der Tatsache, dass die motorische Realisierung technisch-taktischer Handlungen Anforderungen an die Ziel- und Ablaufgenauigkeit stellt und gleichsam an ein Zeitlimit gebunden sind. Er fordert aus diesem Grund, dass ein Genauigkeitstraining immer auch mit Schnelligkeitsanteilen verbunden werden muss. Für das Techniktraining gilt somit, dass an die Bewegungen, sobald sie in der Grundstruktur beherrscht werden, verstärkt Schnelligkeitsanforderungen gestellt werden sollen (vgl. Lehmann, 1981, S. 585).

Auch in älteren Untersuchungen finden sich Forderungen, wonach schon auf den ersten Lernstufen die Geschwindigkeit bei Bewegungen, die durch die Schnelligkeit limitiert werden, betont werden sollte. Beim Studium grobmotorischer Fertigkeiten fand Solley (1952, zit. nach Cratty 1979, S. 149), dass die bei langsamer Geschwindigkeit gewonnene Genauigkeit bei schnellerer Bewegungsausführung wieder verloren geht. Sobald die Geschwindigkeit ein dominanter Faktor einer Bewegung ist, muss demnach bereits früh darauf Wert gelegt werden.

Allerdings scheinen diese gegenseitigen Beziehungen trainingsmethodische Probleme mit sich zu führen. Malina's (1963, zit. nach Cratty, 1979, S. 149) Untersuchungen zu Wurfverbesserungen bei High-School-Studenten führten zutage, dass sich Informationen über Geschwindigkeit und Genauigkeit an verschiedenen Stellen im Übungsprogramm unterschiedlich auswirkten. Informationen und Instruktionen zur Präzision bereiteten den Probanden mehr Probleme als Instruktionen zur Verbesserung der Schnelligkeit.

Bauersfeld & Voss (1992, S. 68) beschreiben, dass die für diese Arbeit bedeutsamen schnellen neuromuskulären Innervationsmustern meistens zur Hauptphase von sporttechnischen Bewegungen gehören und damit auch ein wesentliches Kennzeichen der Technik sind. Schließlich werden diese neuromuskulären Innervationsmuster von räumlichen Bewegungsmerkmalen begleitet. Das bedeutet, dass im Technikerwerbstraining bzw. auch im komplexen Schnelligkeitstraining eine optimale Übertragung des schnellen neuromuskulären Innervationsmusters in die Wettkampfübung gesichert werden muss. Um diese optimale Übertragung, also gleichzeitig schnell und präzise zu sein, zu gewährleisten, müssen maximale Intensitäten eingesetzt werden. Um diese ohne technische Abstriche zu sichern, sollen spezifische Rahmenbedingungen geschaffen werden (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 71).

Das optimale Zusammenwirken von schnellem neuromuskulären Innervationsmuster (als dem Aspekt der Schnelligkeit) und anderer Leistungsvoraussetzungen kann nur durch die Wettkampfübung erreicht werden.

Hierbei müssen die Prognosegeschwindigkeiten gesichert werden, was maximale Intensitäten voraussetzt.

Kühn (1991, S. 307) betont den Zusammenhang zwischen Schnelligkeit und Technik, indem er darstellt, dass beide auf der gleichen Strukturebene im Beziehungsgefüge von Tätigkeitsaufbau, Tätigkeitsregulation und Leistungsvoraussetzungen platziert sind (vgl. Abb. 23).

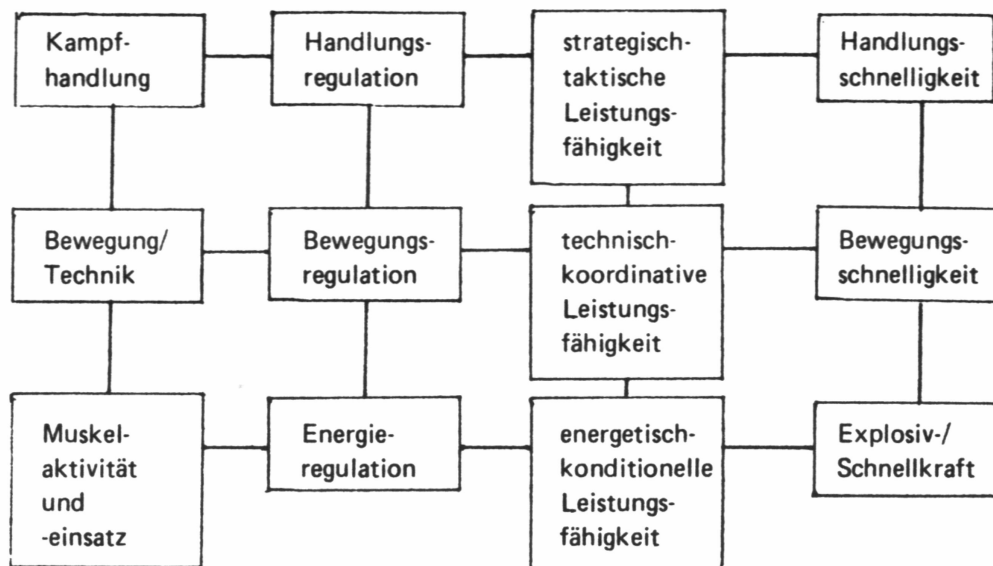


Abbildung 23: Erscheinungsformen der Schnelligkeit im Beziehungsgefüge „Tätigkeitsaufbau – Tätigkeitsregulation – Leistungsvoraussetzungen“ (mod. nach Kühn, 1991, S. 307)

Aus der Abbildung 23 geht hervor dass es zwischen den einzelnen Komplexen zahlreiche Zusammenhänge gibt. Es ist nicht möglich, einzelne Komponenten voneinander völlig unabhängig zu betrachten.

Wie sehr das Erlernen von Techniken mit der Schnelligkeit zusammenhängt, zeigt auch das Schema von Lehmann (1997, S. 13), der speziell für den Lernverlauf von Kampfhandlungen im Judo drei Lernphasen unterscheidet. Diese werden mit technisch-koordinativen, taktischen und energetisch-konditionellen Merkmalen beschrieben.

Tabelle 5: Der Lernverlauf einer Kampfhandlung (mod. nach Lehmann, 1997, S. 13)

Lernphasen	Merkmale der Lernphasen		
	Technisch-koordinativ	Situationsbezogen (taktisch)	Energetisch-konditionell
Erlernen der Grundstruktur	Genauere, fließende und schnelle noch mit Mängeln behaftete Bewegungsausführung	Ausführung ohne Gegnerwiderstand, wechselnde Bewegungsrichtungen	Aerob Alaktazid
Situations-adäquates Anwenden	Schnelle, genaue, explosive, an wechselnde Situationen zweckmäßig angepasste und teilautomatisierte Bewegungsausführung	Situationsangemessene Ausführung bei leichtem und mittlerem Widerstand	Aerob-anaerob Alaktazid Laktazid
Variable Verfügbarkeit	Schnelle, genaue, explosive, automatisierte und in unterschiedlichen Situationen variable Verfügbarkeit	Situationsangemessene Ausführung bei schwerem/schwerstem Gegnerwiderstand	Alaktazid Laktazid

Lehmann (1997) fordert im technisch-koordinativen Bereich stets schnelle bzw. explosive Ausführungen. Diese Forderung folgt einmal mehr dem Postulat der Ausbildungsspezifika, also des Anspruchs einer wettkampfadäquaten technisch-taktischen Ausbildung. Da im Wettkampf die Bewegungen in höchstem Tempo ausgeführt werden müssen, muss auch im Training auf höchste Intensitäten im Schnelligkeitsbereich geachtet werden. Schnelligkeit, Technik und Präzision sind in diesem Sinne untrennbar miteinander verbunden.

8.5.3 Technik, Schnelligkeit und Motivation

Martin et al. (1991, S. 172) fordern für das Schnelligkeitstraining eine hohe Motivation und den Willen zur optimalen Leistung. Auch Bauersfeld & Voss (1992, S. 84) stellen die wichtige Bedeutung einer hohen Motivation mit einer guten Mobilisations- und Konzentrationsfähigkeit hervor.

De Marees & Brach (1997, S. 105) stellen den Zusammenhang zwischen Motivation und Techniktraining detailliert dar. Unter neurophysiologischen Aspekten erklären sie, dass an jeder Bewegungshandlung das limbische System beteiligt sei, weswegen im Techniktraining auch eine hohe Motivation des Sportlers vonnöten sei. Neumaier (1997, S. 184) stellt dar, dass ein Motivationsverlust zu

einem allmählichen Abbau der Leistungs- und Lernbereitschaft führe. Müller (1985) und Bodine et al. (1987) wiesen für explosive isometrische Krafteinsätze nach, dass diese in nicht unerheblichen Masse von der Instruktion der Probanden abhängen. Denn die höchsten Kraftgradienten wurden erreicht, wenn sich die Probanden ausschließlich auf die schnelle Kontraktion konzentrierten.

Zusammengefasst verweisen die gemeinsamen Forderungen nach einer hohen Motivation sowohl im Technik- als auch im Schnelligkeitstraining auf die gemeinsamen theoretischen Grundlagen. Denn eine unzureichende Motivation führt zu einem Qualitätsverlust in der Bewegungsausführung, welcher wieder die Ausbildung unzureichender schneller neuromuskulärer Innervationsmuster bedingt. „Falsche“ Engramme sind die Folge, die den Anforderungen hinsichtlich Geschwindigkeit und Qualität nicht gerecht werden.

8.6 Konditionelle Aspekte der Schnelligkeit

Bei der Betrachtung der Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster scheinen die metabolischen Prozesse der Energiebereitstellung auf den ersten Blick eine eher untergeordnete Rolle zu spielen. Denn in diesem Sinne wird die Schnelligkeit vornehmlich durch das Optimieren des Zusammenspiels zwischen Nerv und Muskel verbessert. Allerdings zeigt ein Blick auf die unterschiedlichen Definitionen der motorischen Beanspruchungsform Schnelligkeit, dass die konditionellen Aspekte nicht gänzlich ausgeklammert werden dürfen. So determinieren Schnabel et al. (1997, S. 140f.) die Schnelligkeit als koordinativ-konditionelle Eigenschaft. Auch Frey (1977, S. 348) beschreibt die Schnelligkeit als eine Komplexeigenschaft, die sich in Verbindung mit konditionellen Fähigkeiten zeigt.

Die nervalen Prozesse haben, wie weiter oben bereits ausführlich dargestellt wurde, eine grosse Bedeutung für die Ausbildung der Schnelligkeit. Allerdings dürfen die energetischen Grundlagen, wie der hohe ATP- und Glykogen-Gehalt in der Muskulatur als Energielieferant sowie die Fähigkeit der schnellen Freisetzung nicht negiert werden.

Kritisiert wird in diesem Zusammenhang vordergründig die lange Zeit primär an den Prinzipien des konditionellen Trainings orientierte Gestaltung des Schnelligkeitstrainings (z. B. Steuerung von Belastung und Erholung vordergründig nach den Regeln des Gesetzes der Reizanpassung). So werden die Pausenzeiten an den Richtzeiten für die Wiederauffüllung der Energiedepots ausgerichtet (vgl. Bauersfeld & Voss 1992, S. 14). Diese einseitige Ausrichtung des Trainings entspricht jedoch nicht den tatsächlichen Anforderungen an ein Schnelligkeitstraining.

Die Trainingsreize, die eine Verbesserung der Schnelligkeit zum Ziel haben, müssen nach diesen Erkenntnissen unter der Beachtung der Gesetzmäßigkeiten von neuronalen und neuromuskulären Prozessen gesetzt werden.

Schnelligkeitstraining ist in diesem Sinne eher ein Training der Koordination, somit sind Erkenntnisse des Bewegungslernens mit einzubeziehen.

Ein Training der Schnelligkeit unterscheidet sich daher deutlich von einem Training der eher energetisch bedingten konditionellen Fähigkeiten (vgl. Weigelt, 1997, S. 8ff). Trotzdem müssen einige konditionelle Aspekte des Schnelligkeitstrainings in diesem Zusammenhang mit betrachtet werden.

8.6.1 Schnelligkeit unter Belastungsbedingungen

In der trainingswissenschaftlichen Literatur der letzten Jahre herrschte Konsens darüber, dass Schnelligkeit und Technik auf der einen Seite und Ermüdung auf der anderen sich gegenseitig negativ bedingen.

Wie bereits oben näher erläutert wurde, gibt es enge Assoziationen zwischen dem Techniktraining und dem Training der Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster. Es wird in den meisten trainingswissenschaftlichen und medizinischen Publikationen gefordert, Technik- und Schnelligkeitstraining in einem ermüdungsfreien Zustand durchzuführen (u. a. Grosser & Neumaier, 1982; Liesen, Ludemann, Schmengler, Föhren-Bach & Mader, 1985; Schnabel, 1986; Letzelter, 1988; Weineck, 1984).

In den letzten Jahren wurden diese Aussagen zunehmend kritisch und differenzierter hinterfragt. Es wird beispielsweise die Notwendigkeit gesehen, Technik- und Schnelligkeitstraining auch unter hohen konditionellen Belastungen durchzuführen, vor allem in den Sportarten, in welchen die sportliche Technik im Wettkampf genau diesen Belastungen ausgesetzt ist (vgl. Olivier, Augste, Keim & Klippel, 1999). So differenziert Neumaier (1997, S. 216), dass ein Ziel im Techniktraining auch eine Stabilisierung gegen Ermüdungsprozesse sein kann. Außerdem darf nicht grundsätzlich von leistungsnegativen Effekten durch vorgeschaltete Belastungen ausgegangen werden. So berichtet beispielsweise Allmann (1985, S. 294 ff), dass ein kurzes aber intensives Maximalkrafttraining unmittelbar vor einem Schnelligkeitstraining positive Nachwirkungen auf die Muskulatur zu haben scheint. Praktische Erfahrungen des Autors zeigen, dass die neuromuskuläre Leistungsbereitschaft gesteigert war und dies auch von den Trainierenden subjektiv gespürt wurde. Auch Pöhlmann (1986, S. 43) verweist darauf, dass vorgeschaltete konditionelle Belastungen unter Umständen einige begünstigende Momente beinhalten. So wird von einem erhöhten Aktivierungszustand berichtet, einer teilweise präziseren Selbsteinschätzung und einer intraindividuellen Abnahme der Streuung bestimmter Bewegungsparameter.

Olivier (1996, S. 41) konstatiert, dass aufgrund des allgemein unscharfen Ermüdungsverständnisses die Ermüdung nicht als geeignetes Konstrukt zu Erklärung der Effekte von konditionellen Belastungen auf ein nachgeschaltetes Technik- oder Schnelligkeitstraining herangezogen werden kann. Er wählt einen Ansatz, nach welchem die tatsächlichen Einflüsse vorgeschalteter konditioneller

Belastungen eruiert werden sollen. Dieser wird weiter unten noch ausführlich dargestellt.

Eine Reihe von Untersuchungen deutet darauf hin, dass vorgeschaltete konditionelle Belastungen eher keine oder positive Effekte auf die Schnelligkeit und Ausführungsleistung haben. Berthold & Schellenberger (1988, S. 140ff) stellten beispielsweise nach einer intensiven Schnelligkeitsausdauerbelastung eine deutlich erhöhte Bewegungsgeschwindigkeit bei Torschüssen im Fußball fest. Auch Saß, Vietinghoff & Stoll (1997, S. 11f.) fanden nach hohen konditionellen Belastungen positive Effekte auf die Handlungsschnelligkeit und -genauigkeit bei Fuß- und Handballspielern.

8.6.2 Zur Platzierung eines Schnelligkeitstrainings innerhalb einer Trainingseinheit

Indem davon ausgegangen wird, dass schnelle Bewegungen in Form von Engrammen gespeichert werden, lassen sich einige Parallelen bezüglich der Forderungen zur Belastungsgestaltung im Techniktraining feststellen. Vor allem hinsichtlich der Pausengestaltung sind diese an Lern- und Behaltensaspekten orientierten Trainingsmodelle wirksamer als die an energetischer Ermüdung orientierten Modelle. Nicht zuletzt formulieren Bauersfeld & Voss (1992, S. 82), dass zwischen dem Schnelligkeitstraining zur Verbesserung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster und dem Training zur Verbesserung der sportlichen Technik eine enge Verbindung hergestellt werden muss.

Schnelle Bewegungen werden, legt man obige Lern- und Behaltensmodelle zu Grunde, gelernt. Es handelt sich also um die

„Bildung und Festigung von spezifischen synaptischen Bahnungen und Verschaltungen im neuronalen Netz des ZNS.“

(Neumaier, 1997, S. 218)

Als ineffektiv anzusehen ist das Training aus diesem Grund dann, wenn die für eine korrekte Bewegungsausführung notwendigen synaptischen Bahnungen nicht mehr präzise genug erfolgen können oder wenn der sich anschließende Konsolidierungsprozess gestört wird. Neumaier (1997, S. 218) führt an, dass nach Belastungen vermutlich aufgrund der Erschöpfung von Transmittersubstanzen Ersatzsynapsen mobilisiert werden, die eine Bildung unerwünschter (langsamer oder falscher) neuronaler Verschaltungen motivieren. Bei der Ausbildung der Schnelligkeit muss jedoch prinzipiell auf eine stets maximal schnelle Ausführung geachtet werden. Ermüdungsbedingte Veränderungen in der Muskelinnervation nach Belastungen sind im am EMG abgeleiteten Muskel sichtbar.

Über den tatsächlichen Einfluss vorgeschalteter konditioneller Belastungen auf ein Schnelligkeitstraining existieren bislang wenig wissenschaftlich fundierte Hinweise. Lehnertz (1990, S. 32) erklärt hierzu, dass im vorbelasteten Zustand die Anzahl der nicht optimal gelungenen Versuche größer ist und damit

„die Wahrscheinlichkeit der Synapsenfehlprogrammierung vermehrt gegenüber der Optimierung der Programme ist.“

In der Trainingswissenschaft wird gefordert, dass das Schnelligkeitstraining allen stark ermüdenden Belastungen voran gestellt werden muss. Dies wird damit begründet, dass ein solches Training prinzipiell unter optimalen Motivations- und Leistungsbedingungen statt zu finden hat. Werden diese Anforderungen nicht gewährleistet, kann es zur Ausbildung eines Bewegungsstereotyps auf niedrigerem Niveau kommen (vgl. u.a. Schnabel et al., 1997, S. 257; Weineck, 1994, S. 465). Und es wurde lange Zeit davon ausgegangen, dass optimale Leistungsbedingungen nur in erholtem Zustand möglich sind. Allerdings gibt es hierzu unterschiedliche Ergebnisse.

Berthold & Schellenberger (1988, S. 139f.) untersuchten die Ausprägung der Schnelligkeit im Anschluss an eine Schnelligkeitsausdauerbelastung. 54 Prozent der Probanden zeigten eine Verbesserung, während lediglich 28 Prozent eine reduzierte Schnelligkeitsleistung nach der Belastung zeigten.

Bei der Verbesserung der Schnelligkeit unter dem Aspekt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster handelt es sich um ein

„Einschleiftraining von Engrammen“

wie Martin (1991, S. 69) im Zusammenhang mit dem Techniktraining formuliert. Dies hat Konsequenzen für die Platzierung eines Schnelligkeitstrainings innerhalb einer Trainingseinheit. Ermüdende Vorbelastungen reduzieren die Effektivität des Trainings durch mögliche Synapsenfehlprogrammierungen. Jegliche Nachbelastungen dagegen sind der Konsolidierung der kreisenden Erregungen (dynamischen Engramme) abträglich. Denn jede andere Tätigkeit stört nach einem Schnelligkeitstraining die Verfestigung der dynamischen Engramme, es kann sogar dazu kommen, dass sie erlöschen (vgl. Martin, 1991, S. 73).

Hutton, Stevens & Stevens (1972) beschreiben eine Konsolidierungstheorie, die besagt, dass plötzliche, starke Stimuli die Ausbildung einer Gedächtnisspur stören können und damit dem Lernerfolg abträglich sind. Aus diesem Grund, folgert Neumaier (1997, S. 219), sollte ein Technik- oder Schnelligkeitstraining eher den abschließenden Teil einer Trainingseinheit darstellen.

Allerdings kann diese These andererseits auch nicht pauschalisiert werden, wie Neumaier (1997, S. 219) einräumt. Denn eigentlich dürften nur diejenigen Nachbelastungen darauf Einfluss nehmen, die der im Schnelligkeitstraining realisierten Bewegung strukturell ähneln oder gleich sind. Konsolidierungsneutral sind demnach die Bewegungen, bei denen verschiedene bzw. andere Engramme aktiviert werden.

Diese Annahmen haben eine gewisse Analogie zur anerkannten Interferenz-Theorie über das Behalten von Fertigkeiten. Eine ihrer Subhypothesen besagt, dass Ereignisse vor oder nach dem Üben einer Aufgabe deren Gedächtnisspur zerstören. Ausserdem können bestimmte Ereignisse eine inhibitorische Barriere für

das erneute Aufrufen dieser Gedächtnisspur aufrufen, wobei die Spur selbst noch intakt bleibt (vgl. Cratty, 1979, S. 400).

Aus diesen Ausführungen wird deutlich, dass es sinnvoll ist, wie schon Bauersfeld & Voss (1992, S. 85f.) fordern, die Ausbildung der Schnelligkeit in gesonderten Trainingseinheiten vorzunehmen.

Olivier (1996) untersuchte auf dem Hintergrund der vorangestellten Aussagen den Einfluss konditioneller Belastungen auf die sportliche Technik. Dieser Ansatz soll im Folgenden skizziert werden.

8.6.3 Der Ansatz von Olivier

Olivier (1996) bezweifelt, dass intensive konditionelle Belastungen vor einer Techniktrainingseinheit grundsätzlich der Effektivität hinsichtlich der Verbesserung der sportlichen Technik abträglich sind. Er stellt sich damit den traditionellen Positionen entgegen, die stets forderten, dass ein Techniktraining dem Konditionstraining vorgelagert sein soll und dass ein Neulernen von Bewegungen nur im Stadium niedriger metabolischer Intensität möglich sei und ein Techniktraining im Stadium völliger Regeneration angesiedelt werden müsse.

Begründet wurden diese Ansichten in der klassischen trainingswissenschaftlichen Literatur mit dem Verweis auf die enge Beziehung zwischen Techniktraining, motorischem Lernen und der Verbesserung der konditionellen Leistungsvoraussetzungen. Dort wird davon ausgegangen, dass das Erlernen von Bewegungen oder Techniken einen ausgeruhten Charakter erfordert. Aus diesem Grund wurden Technik/Taktik und Kondition stets separat trainiert (vgl. Saß et al., 1997, S. 4). Denn während im Konditionstraining die Ermüdung eine wichtige Rolle spielt, ist diese beim motorischen Lernen der Leistungsverbesserung abträglich.

Olivier (1996, S. 41) geht nun aber davon aus, dass der Begriff Ermüdung grundsätzlich zu undifferenziert sei. Gemeinhin wird Ermüdung als die Ursache für eine Verminderung der Leistungsfähigkeit verstanden. Eine Leistungsminderung wird als Folge von Ermüdung obligatorisch vorausgesetzt. Neuere Untersuchungsergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass konditionelle Belastungen, welche eine Ermüdung bedingen, zum Teil leistungspositive Effekte mit sich bringen. Weder ein allgemeines Ermüdungsverständnis, noch die Betrachtung der Ermüdung in bezug auf einzelne Teilsysteme dienen der schlüssigen Erklärung zum Einfluss konditioneller Belastungen auf ein Techniktraining. Zahlreiche Befunde zeigen, dass nach konditionellen Belastungen Leistungs- und Funktionssteigerungen des ZNS möglich sind. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass konditionelle Belastungen ausschließlich leistungsnegative Effekte haben.

Aus diesem Grund stellt der Autor ein Belastungs-Beanspruchungs-Konzept vor. Die Grundthese dieses Konzepts besagt, dass Belastungen in Abhängigkeit individueller Voraussetzungen zu verschiedenen Beanspruchungen führen. Es werden hierzu verschiedene Belastungsarten beschrieben. Es sind dies die konditionellen Belastungen, die durch die Bereitstellung und Abgabe von Energie

durch muskuläre Belastungen definiert werden, und die informatorischen Belastungen, die durch die Aufnahme, Verarbeitung und Abgabe von Informationen determiniert werden (vgl. Olivier, 1996, S. 43).

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept steht dabei in engem Zusammenhang mit dem ressourcentheoretisch-verhaltensökonomischen Verständnis von Belastungsbewältigung. Mit Ressourcen, erklärt Olivier in Anlehnung an Bornemann (1942; 1959), sind die Mittel gemeint, die das Individuum einer Belastung entgegensetzen kann.

Basierend auf diesen Überlegungen formuliert Olivier (1996, S. 45) seine Forschungsfrage:

„Zu welchen Teilbeanspruchungen führen konditionelle Belastungen, und wie wirken sich diese Teilbeanspruchungen auf das sportmotorische Lernen und Techniktraining aus?“

Hierzu stellt der Autor ein sogenanntes Drei-Faktoren-Modell vor. Der erste Faktor ist die neuromuskuläre Beanspruchungsgröße, in diesem Fall das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau. Definiert wird dieses durch die derzeitige Ausprägung der Schnellkraft in den durch die konditionellen Belastungen beanspruchten Muskelgruppen. Die Schnellkraft wird hierbei in Anlehnung an Bührle (1989, S. 18) und Schmidtbleicher (1987, S. 358) als die Fähigkeit des neuromuskulären Systems verstanden, auf einem vorgegebenen Weg oder in einer festgelegten Zeit einen möglichst hohen Kraftstoß zu produzieren.

Der zweite Faktor ist die zentralnervöse Beanspruchungsgröße und wird als zentralnervöses Aktivierungsniveau bezeichnet. Er wird durch den tonischen unspezifischen Erregungszustand neuronaler Strukturen des ZNS bestimmt.

Der dritte Faktor schließlich ist die sportmotorische Lernaufgabe. Dazu gehören die Merkmale der sportmotorischen Lernaufgabe, die zu den spezifischen Anforderungen an das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau und das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau führen.

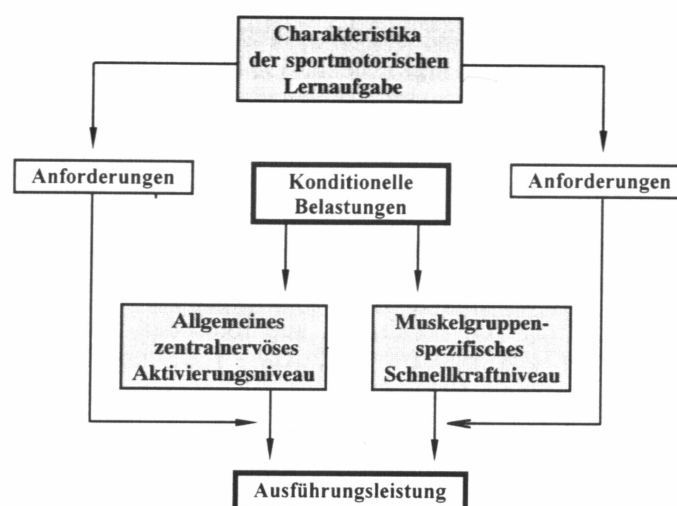


Abbildung 24: Schematische Darstellung des Drei-Faktoren-Modells zum Einfluss konditioneller Belastungen auf Ausführungsleistungen bei sportmotorischen Lernprozessen nach Olivier (1996, S. 50)

Wie in Abbildung 24 dargestellt, führen unterschiedliche konditionelle Belastungen zu verschiedenen Veränderungen des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus und des muskelgruppenspezifischen Schnellkraftniveaus. Hierdurch kann es entweder zu positiven, negativen oder zu keinem Einfluss auf die Ausführungsleistung kommen.

Im Folgenden sollen einzelne Ergebnisse, die für die Thematik der vorliegenden Arbeit relevant sind, vorgestellt werden.

8.6.3.1 Ergebnisse zum Einfluss konditioneller Belastungen auf das Schnellkraftniveau

In Anlehnung an Schmidbleicher (1987, S. 359) wirken folgende Faktoren auf Schnellkraftleistungen limitierend (Olivier, 1996, S. 57ff), diese werden nochmals skizziert, um die funktionalen Zusammenhänge zu erläutern:

- Die individuellen anthropometrischen Merkmale des Athleten: Sie wirken sich einerseits auf die Leistungsfähigkeit aus, unterliegen andererseits jedoch kaum einer Veränderung durch konditionelle Belastungen.
- Die externen Bedingungen und situativen Besonderheiten. Diese werden ebenfalls nicht, mit Ausnahme des Ermüdungsgrades, durch konditionelle Belastungen verändert.
- Der Muskelquerschnitt: Er wird durch die Anzahl und die Größe der kontraktile Proteine - Aktin und Myosin - determiniert. Dadurch wird u.a. auch die Ergiebigkeit der myogenen Energiespeicher bestimmt. Durch konditionelle Belastungen werden diese durchaus beeinflusst. (Anmerkung des Verfassers: In diesem Zusammenhang muss nochmals erwähnt werden, dass azyklische Schnellkraftleistungen durch höchste Krafteinsätze bei kurzer Dauer charakterisiert sind. Demnach werden diese ausschließlich durch anaerobe-alkalotazide Energiebereitstellungsprozesse determiniert.)
- Das Innervationsverhalten der Muskulatur: Dieses wird zentralnervös und neuromuskulär bestimmt. Daher muss angenommen werden, dass es durch konditionelle Belastungen Beeinträchtigungen erfährt.
- Auch die Muskeltemperatur muss als Einflussfaktor des Schnellkraftniveaus grundsätzlich berücksichtigt werden. Dieser Faktor unterliegt Veränderungen nach konditionellen Belastungen.

Die Untersuchungen von Olivier (1996) brachten zusammenfassend folgende Ergebnisse. Belastungen, die durch eine hohe metabolische Beanspruchung (ATP ↓, KP ↓, pH-Wert ↓) und einer stärkeren Beanspruchung der FT-Fasern zur muskulären Ermüdung führten, gingen mit einer stärkeren Reduktion des Schnellkraftniveaus einher.

Submaximale fahrradergometrische Langzeitausdauer I (LZA I) Belastungen (ca. 30 Minuten) führten überraschenderweise zu einem Anstieg des Schnellkraftniveaus der Beinextensoren (Olivier, 1996, S. 149). Der Autor erklärt diesen Befunde, dass eine alleinige KP-Reduktion auf ca. 50 Prozent ohne nennenswerte ATP- und pH-Wert Absenkungen, zu keiner Verminderung des

Schnellkraftniveaus führen. Die positiven Effekte werden auf eine stärkere Temperaturerhöhung der beanspruchten Muskelgruppen zurückgeführt.

8.6.3.2 Ergebnisse zum Einfluss konditioneller Belastungen auf das Allgemeine Zentralnervöse Aktivierungsniveau

Das Allgemeine Zentralnervöse Aktivierungsniveau (AZAN) kann die körperliche Leistungsfähigkeit sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Aus physiologischer Sicht kommt der formatio reticularis hierbei einer Schlüsselrolle zu, da sie bei diesen Aktivierungsprozessen regulierend wirkt. Zudem wird das AZAN auch durch höherliegende Regionen bestimmt, wie beispielsweise dem Limbischen System, welches motivationsmodulierende Aufgaben hat und auch dem Thalamus, der für Aufmerksamkeitsprozesse verantwortlich zeichnet (vgl. Olivier, 1996, S. 151ff). Ein optimal hohes AZAN hat auch für Schnelligkeitsleistungen eine leistungssteigernde Funktion, weshalb Olivier's Ergebnisse zu diesem Einflussfaktor im folgenden dargestellt werden sollen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen weisen darauf hin, dass konditionelle Belastungen durch kurze, aber hochintensive Beanspruchungen mit einem Anstieg des Allgemeinen Zentralnervösen Aktivierungsniveaus verbunden sind. Dabei scheint die Dauer der Belastung eine eher untergeordnete Rolle zu spielen. Modulierend ist offensichtlich allein die induzierte Beanspruchungsintensität des Herz-Kreislauf-Systems. Es wurden auch Hinweise darauf gefunden, dass verschiedene konditionelle Belastungen zwar zu gleichen direkten zentralnervösen Beanspruchungen führten, aber unterschiedliche Erholungsverläufe zeigten (vgl. Olivier, 1996, S. 182ff).

Die Untersuchungen von Olivier werden auch durch Ergebnisse von Lehmann (1999) bestätigt. Er untersuchte die Reaktionsleistungen als Funktion informationsverarbeitender Prozesse bei Karatekämpfern und Fechtern. Es wurde festgestellt, dass die Reaktionsleistungen mit zunehmender konditioneller Belastung besser wurden. Als Ursache für die Verbesserung der informationellen Leistungen bei steigender konditioneller Belastung beschreibt der Autor die damit einhergehende Erhöhung des zentralnervösen Aktivierungsniveaus.

Resümierend kann festgestellt werden, dass Untersuchungen in mehreren Sportarten bereits zeigten, dass nach konditionellen Belastungen keine aktuellen Leistungsminderungen, sondern Leistungsverbesserungen im technisch-koordinativen Bereich auftreten. In diesem Zusammenhang stellte Lehmann (2000, S. 108) jedoch fest, dass es wichtig sei zu wissen, unter welchen konditionellen Belastungsanforderungen besonders günstige und unter welchen negative Einflüsse auf informationelle Leistungen zu erwarten sind.

Gerade hinsichtlich der Schnelligkeit spielen diese Erkenntnisse eine wichtige Rolle. Denn gerade im Judo sind schnelle, präzise und situationsadäquate Handlungen bei Belastungen sehr unterschiedlicher Intensität und unter verschiedenster metabolischer Zustände zu erbringen.

8.7 Zusammenfassung

In der Trainingswissenschaft wird davon ausgegangen, dass zwischen der azyklischen Bewegungsschnelligkeit und der Krafftähigkeit enge Beziehungen bestehen. So wird postuliert, dass die Hauptreserve zur Verbesserung der Beschleunigungsfähigkeit eine Erhöhung der Krafftähigkeit sei. In besonderem Maße würde dies für die von der Schnellkraft determinierten potentiellen schnellen neuromuskulären Innervationsmuster im Judo gelten.

Die Startkraft und die Explosivkraft gelten als Teilfähigkeiten der Schnellkraft. Die erste Form der Schnellkraft zeigt sich in Bewegungen gegen einen unbedeutenden äußeren Widerstand mit kurzer Bewegungsamplitude. Bei Bewegungen gegen einen bedeutenden äußeren Widerstand äußert sich die zweite Form der Schnellkraft. Hier wirken sowohl die Startkraft als auch die Explosivkraft leistungsbegrenzend. Im Bereich von 15 bis 20 Prozent der individuellen Maximalkraft wird die Bewegungsgeschwindigkeit von der organisatorischen Operationalität der zentralnervösen Innervationsmuster bestimmt. Erst im Bereich zwischen 20 und 70 Prozent der Maximalkraft wird die Bewegungsgeschwindigkeit von der Schnellkraft, die sich gerade in schnellen Bewegungen gegen relativ geringe Widerstände (relativ gering bedeutet jedoch nicht niedrig) äußert, determiniert. Bei 70 Prozent der Maximalkraft schließlich wird die Bewegungsgeschwindigkeit durch die Fähigkeit zu explosiven Krafteinsätzen bestimmt.

Es gilt allgemein eine 200 ms-Grenze bei schnellkräftigen Bewegungen. Demnach werden Schnellkraftleistungen, die unterhalb dieser Grenze liegen, vorrangig über die Ausprägung der Explosivkraft bestimmt, während bei einer Dauer von über 200 ms die Schnellkraftleistung vom dynamisch realisierbaren Kraftmaximum, also der Maximalkraft abhängt.

Ein Grundprinzip im Kraft- und Schnellkrafttraining ist die Übereinstimmung zwischen Trainings- und Wettkampfbelastung. Das Ausmaß und die Richtung des Bewegungsablaufes muss mit den Verhältnissen im Wettkampf übereinstimmen. Begründet wird dies mit der Gewährleistung eines optimalen Transfers der Trainingsleistung in den Wettkampf. Dass die Übungen zur Verbesserung der Schnellkraftfähigkeiten weitestgehend der dynamischen Struktur der Wettkampfübung entsprechen wird von einer ganzen Reihe von Autoren gefordert.

Ein häufig auftretendes Problem im Krafttraining ist das der Übertragung. Denn mit steigendem Leistungsniveau sind Übertragungseffekte durch unspezifische Trainingsmittel ausgeschlossen. Als Ansatzpunkt in diese Richtung kann das vieldiskutierte Konzept des langfristig verzögerten Trainingseffektes von Verchoschanskij (1988) herangezogen werden. Parallel zum umfangsorientierten Krafttraining wird im ersten Trainingsabschnitt ein Technikerwerbstraining mit geringer Intensität durchgeführt. Es dient dem Einschleifen störungsresistenter Verschaltungen im Gedächtnis zur Automatisierung der Bewegung. Der zweite Trainingsabschnitt ist dadurch charakterisiert, dass unter erhöhter Kraftleistungsfähigkeit die Technik durch bewegungsintensives

Technikerwerbstraining vervollkommnet wird. Das verbesserte Schnellkraftniveau muss im Technikanwendungstraining in wettkampfnaher Form angewandt werden. Technik und Schnelligkeit müssen gemeinsam ausgebildet werden. Nach Weigelt (1997, S. 161) sind Schnelligkeitsleistungen komplexe Handlungsvollzüge, die ihre Grundlage in der Qualität einzelner Bewegungen oder eines Bewegungsverbundes haben. Er beschreibt, dass ein Schnelligkeitstraining ein spezielles Bewegungslernen ist. In diesem Zusammenhang liegen die größten Ressourcen in der Herausbildung von Schnelligkeitsleistungen im Bereich der koordinativen Anteile, da die konditionellen Anteile durch genetische Disposition präformiert sind. Weiter ist ein Schnelligkeitstraining stets unter den Stichworten

„möglichst schnell und möglichst genau“

durchzuführen (vgl. Weigelt, 1997, S. 162). Hierzu fordern auch Bauersfeld & Voss (1992, S. 86), dass ein Schnelligkeitstraining immer mit der technisch und technisch-taktischen Ausbildung verbunden werden muss.

Neumaier (1997, S. 219) liefert in diesem Zusammenhang in Anlehnung an Martin et al. (1991, S. 83) folgende Aussage:

„Die bisherigen Ausführungen machen deutlich, dass spezifische konditionelle Belastungen, insbesondere durch intensive, aber kurze Schnellkraft- und Schnelligkeitsübungen der anschließend für die Technikrealisierung benötigten Muskulatur bei richtiger Dosierung auch mit dem Technikerwerb (Neulernen) kombiniert oder diesem vorgeschaltet werden können.“

Fasst man die oben genannten Aspekte zusammen, so kann konstatiert werden, dass Schnelligkeit und Technik voneinander nicht getrennt werden können und daher parallel entwickelt werden müssen. Unterstrichen wird diese Forderung schließlich durch das von Lehmann & Müller-Deck (1989, S. 299) vorgestellte Strukturmodell leistungsrelevanter konditioneller Leistungsvoraussetzungen im Judo. In diesem Modell werden die Schnelligkeit und die Schnellkraft den speziellen technikgebundenen konditionellen Leistungsvoraussetzungen zugeordnet.

Auch gibt es Wechselbeziehungen zwischen den konditionellen Fähigkeiten und der Schnelligkeit. Die Trainingsreize, die eine Verbesserung der Schnelligkeit zum Ziel haben, müssen unter der Beachtung der Gesetzmäßigkeiten von neuronalen und neuromuskulären Prozessen gesetzt werden, und nicht nach den Gesetzmäßigkeiten der konditionellen Fähigkeiten. Schnelligkeitstraining ist in diesem Sinne eher ein Training der Koordination, somit sind Erkenntnisse des Bewegungslernens mit einzubeziehen.

Ein Training der Schnelligkeit unterscheidet sich daher deutlich von einem Training der eher energetisch bedingten konditionellen Fähigkeiten. Trotzdem müssen einige konditionelle Aspekte des Schnelligkeitstrainings in diesem Zusammenhang mit betrachtet werden.

Es wird beispielsweise die Notwendigkeit gesehen, Technik- und Schnelligkeitstraining auch unter hohen konditionellen Belastungen durchzuführen, vor allem in den Sportarten, in welchen die sportliche Technik im Wettkampf genau

diesen Belastungen ausgesetzt ist. So kann es auch ein Ziel im Techniktraining sein, eine Stabilisierung gegen Ermüdungsprozesse herbeizuführen. Außerdem darf nicht grundsätzlich von leistungsnegativen Effekten durch vorgeschaltete Belastungen ausgegangen werden.

Eine Reihe von Untersuchungen deutet darauf hin, dass vorgeschaltete konditionelle Belastungen eher keine oder positive Effekte auf die Schnelligkeit und Ausführungsleistung haben.

Aus diesem Grund sollte ein Technik- oder Schnelligkeitstraining eher den abschließenden Teil einer Trainingseinheit darstellen. Allerdings kann diese These auch nicht pauschalisiert werden. Denn eigentlich dürften nur diejenigen Nachbelastungen auf die Schnelligkeit menschlicher Selbstbewegungsakte Einfluss nehmen, die der im Schnelligkeitstraining realisierten Bewegung strukturell ähneln oder gleich sind. Konsolidierungsneutral sind demnach die Bewegungen, bei denen verschiedene Engramme aktiviert werden. Diese Annahmen haben eine gewisse Analogie zur anerkannten Interferenz-Theorie über das Behalten von Fertigkeiten. Eine ihrer Subhypothesen besagt, dass Ereignisse vor oder nach dem Üben einer Aufgabe deren Gedächtnisspur zerstören. Ausserdem können bestimmte Ereignisse eine inhibitorische Barriere für das erneute Aufrufen dieser Gedächtnisspur aufrufen, wobei die Spur selbst noch intakt bleibt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Olivier (1996) weisen darauf hin, dass konditionelle Belastungen durch kurze, aber hochintensive Beanspruchungen mit einem Anstieg des Allgemeinen Zentralnervösen Aktivierungsniveau verbunden sind. Dabei scheint die Dauer der Belastung eine eher untergeordnete Rolle zu spielen. Modulierend ist offensichtlich allein die induzierte Beanspruchungsintensität des Herz-Kreislauf-Systems.

In einer trainingswissenschaftlich orientierten Arbeit muss auch auf den Aspekt des Trainings eingegangen werden. Aus einem interdisziplinären Verständnis heraus, kann die Betrachtung der Trainingsmöglichkeiten bzw. -methoden heuristisch wertvolle Hinweise für das Verständnis der Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster liefern. Aus diesem Grund soll das nächste Kapitel der vorliegenden Arbeit der Ausbildung von schnellen neuromuskulären Innervationsmuster gewidmet werden.

9 Zur Ausbildung von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits dargestellt, inwieweit die motorische Schnelligkeit in Beziehung zu anderen motorischen und kognitiven Fähigkeiten steht. Diese zahlreichen Wechselwirkungen müssen gerade im Training berücksichtigt werden. Mit der Betrachtung des Trainings der motorischen Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster wird ein weiterer Zugang gewählt, der die Komplexität weiter aufschlüsseln soll.

In diesem Kapitel werden grundlegende Prinzipien, sowie unterschiedliche Methoden des Schnelligkeitstrainings dargestellt und skizziert, die in direktem Bezug zur Verbesserung der Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster stehen.

9.1 Grundlegende Prinzipien zur Verbesserung der Schnelligkeit unter dem Aspekt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster

Martin et al. (1991, S. 171) beschreiben, dass das Schnelligkeitstraining wie kein anderes Training der motorischen Hauptbeanspruchungsformen bestimmten, streng einzuhaltenden Voraussetzungen unterliegt, welche die Wirksamkeit optimieren bzw. sicherstellen sollen. Weigelt (1997, S. 75) detektierte hierzu aus trainingswissenschaftlicher Sicht drei zentrale Problempunkte:

1. Da Schnelligkeitsleistungen an spezifische Bewegungstechniken gebunden sind, führt die Erhöhung der Ausführungsgeschwindigkeit zu technischen Instabilitäten.
2. Die wiederholte Ausführung von Bewegungen mit gleicher Geschwindigkeit führt andererseits zu Stereotypenbildung und kann zur Stagnation beim Training der dynamischen Parameter führen.
3. Zur Erhöhung der Ausführungsgeschwindigkeit ist eine hohe Erregbarkeit des Nervensystems Voraussetzung, wird diese Erregung durch intensive Körperübungen erhöht oder aufrechterhalten, besteht jedoch die Gefahr einer schnellen Ermüdung, welche wiederum einen Geschwindigkeitsabfall mit sich bringt.

Indem diese Problempunkte beachtet werden, wird die Sicherung der Effektivität des Schnelligkeitstrainings gewährleistet. Dies betrifft vor allem die Auswahl der Methode, der Übungen sowie die Gestaltung der Pausen.

Im Schnelligkeitstraining besteht eine hierarchische Struktur, welche im Folgenden beschrieben werden soll.

9.1.1 Die hierarchische Struktur des Schnelligkeitstrainings

In dieser Arbeit werden schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster als Grundlage für Schnelligkeitsleistungen verstanden. Solche schnellen neuromuskuläre Innervationsmuster sind elementare Leistungsvoraussetzungen. Elementare Leistungsvoraussetzungen wirken aber erst im komplexen Zusammenwirken mit anderen Leistungsfaktoren. Dieser Zusammenhang zwischen elementaren und komplexen Schnelligkeitsfähigkeiten soll noch einmal mit Weigelt's Definition hervorgehoben werden. Weigelt (1997, S. 30) definiert die Schnelligkeit u. a. (1) mit der Fähigkeit elementare schnelle Zeitprogramme (hier: schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster) zu realisieren und (2) und mit der Fähigkeit der optimierten Realisierung elementarer schneller Zeitprogramme (hier: schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster) im Verbund eines generalisierten Bewegungsprogramms. Hierauf aufbauend entwickelte Weigelt (1997, S. 75ff) ein trainingswissenschaftliches Modell des Schnelligkeitstrainings. Er bezeichnet sein hierarchisch gegliedertes Modell des Schnelligkeitstrainings als das Drei-Stufenmodell. Dieses soll im folgenden leicht modifiziert vorgestellt werden und in Beziehung zu den vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmustern im Judo gebracht werden.

9.1.2 Stufe 1: Elementares Schnelligkeitstraining

Die erste Stufe entspricht dem elementaren Schnelligkeitstraining. Es geht hier um die optimierte Ausbildung der neuromuskulären Voraussetzungen, also um die Ausbildung schneller neuromuskulärer Innervationsmuster. Auf die Thematik der vorliegenden Arbeit bezogen, bedeutet dies die optimale Ausbildung eines schnellen Armzuges, Armdruckes, Platzwechsels sowie einer schnellen Beinstreckung- und Körperlängsachsendrehung. Dies sind die wesentlichen Elemente innerhalb einer Judotechnik, die möglichst schnell durchgeführt werden sollen. Bei diesen Bewegungen können entsprechende schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster ausgebildet werden. Es werden nun einzelne Trainingsmöglichkeiten und Beispiele gegeben, wie die entsprechenden schnellen neuromuskulären Innervationsmuster in der Zweikampfsportart Judo eine Verbesserung erfahren können.

Bei der Verbesserung der an der Schnellkraft orientierten Armzug- und Armdruckbewegungen muss die Wettkampfübung im Vordergrund stehen (vgl. Zatsiorskij, 1996, S. 234). Das bedeutet, dass sämtliche Übungen die Bewegungsrichtung der Wettkampfbewegung in ihrer räumlichen und zeitlichen Charakteristik und des Muskeleinsatzes enthalten müssen (vgl. Grosser, 1991, S. 132). Möglich sind hierbei Zugübungen am Kabelgerät, am Armkraftzugerät (AKZ), oder Anriss- und Druckübungen am gesicherten Partner (Uchi-Komi).

Für die Verbesserung der Platzwechselbewegung (azyklische Aktionsschnelligkeit) eignen sich sowohl Spezial- als auch Wettkampfübungen. Bei den Spezialübungen handelt es sich um die Übungen, deren Bewegungs- und/oder

Belastungsstrukturen teilweise mit der Wettkampfhandlung übereinstimmen (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 178). Bei der Auswahl der Übungen ist stets darauf zu achten, dass die neuromuskulären Prognosestrukturen erreichbar sind. Als mögliche Übungsformen kommen zum einen das Tandoku-Renshu (Imitationsübungen), zum anderen verschiedene Partnerübungen (Uchi-Komi) in Frage. Dabei gilt es jeweils, das anzusteuern schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster (hier: das vermutete „Platzwechsellmuster“) akzentuiert mit maximaler Intensität auszuführen. Eine weitere Möglichkeit ist das supramaximale Training durch den Einsatz erleichterter Bedingungen.

Die Beinstreckbewegung und die Körperlängsachsendrehung sind wie die Armzug- und Armdruckbewegung an der Schnellkraft orientiert. Das bedeutet, dass zur Verbesserung dieser Bewegungen Methoden zur Anwendung kommen, die einen kraftbetonten Charakter besitzen. Nach Zatsiorskij (1996, S. 234) muss bei der Verbesserung der schnellen Beinstreckbewegung und der Körperlängsachsendrehung die Wettkampfübung, evtl. unter Einbeziehung von Zusatzlasten, stehen.

Diese Forderung ist im Zusammenhang mit schnellen neuromuskulären Innervationsmuster sehr wichtig. Denn wenn sich der Widerstand bei der Trainingsübung vom Widerstand der Wettkampfbewegung unterscheidet, bestehen sowohl Unterschiede in der Kraftentwicklung als auch in den Mustern der elektrischen Muskelaktivität (vgl. Zatsiorskij, 1996, S. 171). Es werden folglich Engramme gebildet, die für die Zielbewegung nicht relevant sind (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 48).

Als Trainingsmöglichkeit zur Verbesserung der schnellen Beinstreckbewegung und der Körperlängsachsendrehung bieten sich Wurfrandoris (freies Üben des Wurfes) an (vgl. Lehmann & Müller-Deck, 1989, S. 308). Hier wird die wurftechnische Bewegung vollständig und akzentuiert durchgeführt, der Partner also geworfen. Die Intensitäten werden variiert. So kann der Trainingspartner einen höheren Widerstand leisten oder es kann ein Übungspartner gewählt werden, der ein höheres Körpergewicht hat.

Ebenfalls zur Verbesserung der schnellen Beinstreckbewegung dient das Werfen von speziellen Wurf puppen. Auch diese können in ihrem Gewicht unterschiedlich ausgewählt und differenziert werden. Für die Verbesserung der Körperlängsachsendrehung bieten sich schnellkräftige Übungen zur Verbesserung der Rumpfdrehmuskulatur an.

9.1.3 Stufe 2: Komplexes Schnelligkeitstraining

Nach dem elementaren Schnelligkeitstraining folgt das komplexe Schnelligkeitstraining. Dort sollen die im elementaren Schnelligkeitstraining erworbenen Schnelligkeitsleistungen in die komplexe sportartspezifische Technik integriert werden. In diesem Zusammenhang ist der Übertragungscharakter der

schnellen neuromuskulären Innervationsmuster zielgerichtet auszunutzen (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 66).

Nach dem aktuellem Stand der Forschung ist anzunehmen, dass im komplexen Schnelligkeitstraining ein erhebliches Potential zur Verbesserung von Schnelligkeitsleistungen liegt. Zur Unterstützung dieser Annahmen sollen die Ergebnisse von Lohmann & Voss (1987) dargestellt werden. Bei Untersuchungen an Hoch- und Weitspringern wurde gefunden, dass nur sehr wenige Springer, die über ein kurzes Zeitprogramm verfügten, auch in der Lage waren, dieses in die Wettkampfbewegung einzubinden. Es muss also neben der Ausbildung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster, welche evtl. bestimmten genetischen und ontogenetischen Dispositionen unterworfen sind, der Einbindung dieser Innervationsmuster in die spezifische Technik mehr Beachtung geschenkt werden. Hier bekommt die Aussage, wonach Schnelligkeitstraining auch Techniktraining sei, eine wichtige Bedeutung, denn der mangelnden Übertragung des schnellen neuromuskulären Innervationsmusters liegt oft eine schlechte Bewegungstechnik zugrunde (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 68).

Im komplexen Schnelligkeitstraining geht es also um das Einbinden der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster als Bestandteil der wurftechnischen Bewegung in die sportliche Bewegungstechnik. Als Übungsbeispiel hierzu dient das schnelligkeitsbetonte Techniktraining. Hierbei wird die gesamte Wurfbewegung unter Einsatz unterschiedlicher Trainingsmethoden maximal schnell durchgeführt. Die einzelnen schnellen neuromuskulären Innervationsmuster (Armdruck bzw. Armzug, Platzwechsel und Beinstreckung bzw. Körperlängsachsendrehung) werden aneinandergereiht. Auch hier gilt, dass Korrekturen bei diesen komplexen Bewegungen nicht innerhalb der einzelnen neuromuskulären Innervationsmuster möglich sind, sondern ursächlich in der Folge der neuromuskulären Innervationsmuster getätigt werden können (vgl. Bernstein, 1988, S. 82ff).

9.1.4 Stufe 3: Training der Handlungsschnelligkeit

Auf der dritten Stufe schließlich folgt die komplexe Ausbildung der Handlungsmuster der Sportart, was in dem Stufenmodell von Weigelt als Training der Handlungsschnelligkeit bezeichnet wird. Diese Form der Schnelligkeit spielt besonders in den Kampfsportarten eine wichtige Rolle. Sie beinhaltet die Verbesserung sowohl der kognitiven, als auch der motorischen Komponenten (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 75). Es geht hier um die Verbesserung der Kampfhandlung durch die Einbettung der erworbenen Schnelligkeitsleistungen in den komplexen Handlungsverbund unter der besonderen Bedingung der Schnelligkeitsoptimierung. Dies geschieht beispielsweise durch solche Übungsformen, die vom Sportler die Wahrnehmung und die Analyse der Situation sowie das Treffen der Entscheidung unter Zeitdruck erfordern.

Um diese Verhältnisse weiter verständlich zu machen, muss ein Blick auf den Zusammenhang von Strategie und Taktik mit der Schnelligkeit und der Technik geworfen werden. Der Forderung von Freiwald, Engelhardt & Döring (1995):

„Kondition allein reicht nicht!“

ist in den Zweikampfsportarten unbedingt zuzustimmen. Untersuchungen von Lehmann (1997, S. 12) zeigten, dass nicht immer der konditionell bessere Kämpfer die bessere Wettkampfleistung zustande bringt. Die Techniken müssen unter der Beachtung von taktischen Gesichtspunkten angewendet werden, damit sie zum Erfolg führen. Allerdings ist das konditionelle Niveau eine wichtige Voraussetzung für den effektiven Einsatz von technisch-taktischen Handlungen. Kern (1989, S. 23) formuliert hierzu, dass die motorischen Fähigkeiten (Konditionskomponente) nur dann zum Erfolg führen, wenn sie durch angemessene Fertigkeiten (Fertigkeitskomponente oder Technik) im geeigneten Moment (Taktikkomponente) optimal in sportliche Leistung umgesetzt werden. Im Judo gilt dies insofern, als dass die wurftechnische Bewegung (Technik) zum richtigen Zeitpunkt (Taktik) schnell und präzise angewandt werden muss. Selbst eine optimal schnell angesetzte Bewegung führt im Judo nicht zum Erfolg, wenn der richtige Zeitpunkt für die Technik verpasst wurde. Gerade in den Zweikampfsportarten ist es nicht möglich, für jede Situation eine eigene Technik zu haben, da es sehr viel Freiheitsgrade gibt (vgl. Schnabel et al., 1997, S. 85). Das bedeutet, dass ein optimal ausgebildeter Athlet wenige Techniken zu unterschiedlichen Situationsklassen beherrschen muss, die wettkampfstabil zur Anwendung gebracht werden können. Zu diesem Zweck werden bei Topathleten sogenannte Handlungskomplexe ausgebildet, welche an kybernetisch-spieltheoretischen Konzeptionen angelehnt sind und als Richtschnur für vernünftiges Handeln und Verhalten dienen (vgl. Tschiene & Barth, 1997, S. 90 ff).

Unter einem Handlungskomplex versteht man das Technikrepertoire eines Judokas in dessen Mitte eine Haupttechnik oder Spezialtechnik steht. Diese Technik wird dann mit anderen Handlungen und Techniken verbunden. Schnabel et al. (1997, S. 85) definieren einen technisch-taktischen Handlungskomplex als ein strategisches Modell zweckmäßig verknüpfter Angriffs- und Verteidigungshandlungen mit mehreren verzweigten Handlungsketten, für die sich der Sportler in Abhängigkeit von den Verhaltensweisen des Gegners entscheidet. Die Abbildung 25 zeigt graphisch dargestellt einen Handlungskomplex im Ringen. In diesem Beispiel wird das Fassen für einen doppelten Beinausheber im Freien Ringkampf gezeigt.

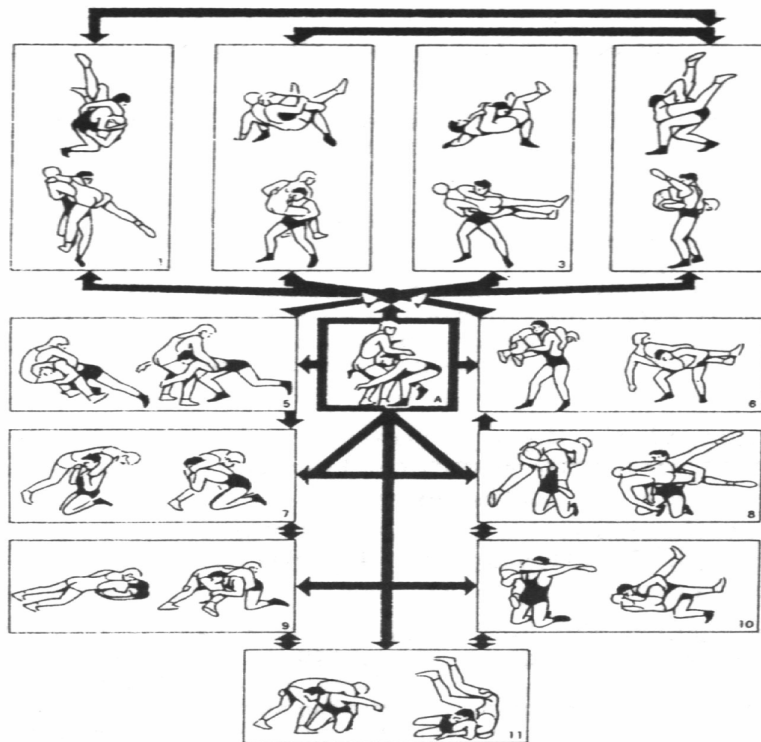


Abbildung 25: Technisch-taktischer Handlungskomplex im Ringen (aus: Schnabel et al., 1997, S. 86)

Beim Training der Handlungsschnelligkeit steht die Ausformung der Spezialtechniken im Zusammenhang mit der Erarbeitung von unterschiedlichen technisch-taktischen Verhaltensmustern innerhalb eines Handlungskomplexes im Vordergrund (vgl. Schubert, Kirchgässner & Barth, 1976, S. 430). Bei der Auswahl der Übungen ist das Postulat der Schnelligkeitsoptimierung zu beachten. Das bedeutet, dass möglichst bald auf schnelle Bewegungsausführungen geachtet werden muss, damit es zu keiner Ausbildung von langsamen neuromuskulären Innervationsmustern kommt (vgl. Kühn, 1991, S. 309).

9.2 Ein Trainingsmodell zur Schnelligkeit im Judo

Ausgehend von dem oben dargestellten Drei-Stufen-Modell soll nun ein Beispiel für die Entwicklung der Schnelligkeit im Judo in tabellarischer Form dargestellt werden.

Tabelle 6: Das Drei-Stufen-Modell des Schnelligkeitstraining im Judo (mod. nach Bauersfeld & Voss, 1992; Weigelt, 1997)

Ausbildungsstufe	Methodische Hinweise	Übungsformen
Stufe 1: Elementares Schnelligkeitstraining;	Training der elementar schnellen Zielbewegung in einer relativ einfachen, aber verwandten Bewegung.	Ausführung schneller Armzug-, Armdruck-, Platzwechsel- und Beinstreckbewegungen bzw. Körperlängsachsendrehung im Bereich

<p>Entwicklung einer prognostischen Armzug-, Armdruck-, Platzwechsel- und Beinstreckbewegung.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Organisierung der elementar schnellen Zielbewegung durch gezielten Einsatz von Trainingsübungen. - Entwicklung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster in relativ kurzen, akzentuiert gestalteten Trainingsabschnitten. - Realisierung von mindestens 50 Prozent der Wiederholungen im Zielbereich. - Maximale Bewegungsintensität und hohe Ausführungsqualität. - Relativ niedriger Belastungsumfang. 	<p>der prognostischen Geschwindigkeiten unter erleichterten Bedingungen, z. B. Bergab ziehen, bergab drücken, leichtere Partner etc.</p> <p>Trainingsabschnitte von sechs bis acht Wochen Dauer (später kürzere Zeiträume als Erinnerungsreiz möglich). 140 bis 300 Wiederholungen in diesem Zeitintervall. Maximal zwei Trainingseinheiten pro Woche.</p> <p>Belastungsgefüge: Intensität: 100Prozent und mehr. Dauer: fünf bis acht Wiederholungen pro Serie Umfang: drei bis fünf Serien pro Einheit Dichte: fünf bis zehn Minuten Serienpause.</p> <p>In einem achtwöchigen Intervall sollte eine einwöchige Erholungsphase eingefügt werden.</p>
<p>Stufe 2: Ausprägung des Zielprogramms in der sportartspezifischen Technik (Wurftechnik).</p>	<p>Ausprägung des schnellen neuromuskulären Zielmusters erst nach der Entwicklung des schnellen neuromuskulären Innervationsmusters in der einfachen Bewegung. Bereits teilweise „automatische“ Übertragung des schnellen neuromuskulären Innervationsmusters auf die spezielle Bewegung. Das schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster als Hauptaktion steht im Mittelpunkt, Bedingungen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maximale Geschwindigkeitsanforderungen. - Mindestens 50 Prozent der Wiederholungen sollen im Bereich der Prognosestrukturen liegen. - Räumliche Bewegungsmerkmale, die der Ausprägung des 	<p>Durchführung von speziellen Bewegungsformen (Armzug-, Armdruck-, Platzwechsel- und Beinstreckbewegungen bzw. Körperlängsachsendrechung) mit optimaler Geschwindigkeit in die Gesamttechnik einbinden.</p>

	<p>schnellen neuromuskulären Innervationsmuster dienen, werden mit speziellen Technikübungen gezielt entwickelt.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Übungen, welche geringere Anforderungen an das schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster stellen, sollen denen mit höheren Geschwindigkeitsanforderungen voran gestellt werden. 	
<p>Stufe 3: Beachtung des schnellen neuromuskulären Innervationsmusters im Technik- und Taktiktraining (Handlungsschnelligkeit)</p>	<p>Die Verbesserung der Kampfhandlung wird durch die Einbettung der erworbenen Schnelligkeitsleistungen in den komplexen Handlungsverbund unter der besonderen Bedingung der Schnelligkeitsoptimierung erreicht.</p> <p>Motorische Fähigkeiten (Konditionskomponente) führen nur dann zum Erfolg, wenn sie durch angemessene Fertigkeiten (Fertigkeitskomponente oder Technik) im geeigneten Moment (Taktikkomponente) optimal in sportliche Leistung umgesetzt werden.</p>	<p>Übungsformen, die vom Sportler die Wahrnehmung und die Analyse der Situation sowie das Treffen der Entscheidung unter Zeitdruck erfordern. Kampfsituationstraining.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schulung von Lösungsmöglichkeiten in Standardsituationen durch Anwendung von spezifischen Techniken. Es soll die situationsangemessene Auswahl zwischen alternativen Techniken (Aussendifferenzierung) verbessert werden („Für jede Situation eine eigene Technik“) - Ausbildung der Anwendungsvariabilität der eigenen Spezialtechniken in wiederkehrenden Standardsituationen. Das gleiche motorische Grundmuster an inkonsistente Umgebungsbedingungen anpassen (Innendifferenzierung) („Die gleiche Technik an verschiedene Situationen anpassen.“). - Ausbildung von Kampfhandlungen zur Bearbeitung von Kampfsituationen im Sinne des Herstellens einer neuen Situation oder des Zerstörens der bestehenden Situation. - Entsprechende Situationen mit einem möglichst hohen Bewegungstempo trainieren. Der Aspekt der Schnelligkeit sollte in jedem Techniktraining berücksichtigt werden. Hierzu sollen die Aufgaben zunehmend unter Zeitdruck sowie unter steigender psychischer und physischer Belastungen, auch unter Ermüdungsbedingungen durchgeführt werden. Dies geschieht ausserdem stets

		unter dem Aspekt der Ausformung der Spezialtechniken (individuelle Kampfkonzeption) im Zusammenhang mit der Erarbeitung von unterschiedlichen taktischen Verhaltensmustern .
--	--	--

Im nun folgenden Teil werden die Methoden vorgestellt, die einer Optimierung des Schnelligkeitscharakters unter dem Postulat schneller neuromuskulärer Innervationsmuster zum Einsatz kommen können.

9.3 Methoden des Schnelligkeitstrainings

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Methoden des Schnelligkeitstrainings vorgestellt. Unter einer Methode versteht man ein System von Prinzipien und Regeln, Handlungsorientierungen für die Arbeitsweise, Handlungsfolge und das Verhalten in der Tätigkeit zur Realisierung bestimmter Ziele (Schnabel & Thieß, 1993, S. 574). Dabei stellen sie Mittel und Wege dar, die der Veränderung der objektiven Realität dienen und zur Verwirklichung bestimmter Zwecke eingesetzt werden. In der Trainingswissenschaft beziehen sich Methoden stets auf die Verbesserung der sportlichen Leistungsfähigkeit bzw. ihrer determinierenden Subsysteme. Im Folgenden werden Methoden vorgestellt, die dem Ziel der Verbesserung der Schnelligkeit unter Berücksichtigung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster dienen.

9.3.1 Zur Auswahl des Belastungsgefüges

In der Trainingswissenschaft werden die Methoden zur Verbesserung der sportlichen Leistungsfähigkeit häufig in Anlehnung an die klassischen Trainingsmethoden zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit benannt. Zu Recht weist daher Steinhöfer (1993, S. 44) darauf hin, dass die Ausdauertrainings-Grundmethoden nicht unproblematisch sind und daher häufig auch nicht auf alle motorischen Fähigkeiten übertragen werden dürfen.

Für die Verbesserung der Schnelligkeit gelten andere Prinzipien, da ein Schnelligkeitstraining unter der Berücksichtigung schneller neuromuskulärer Innervationsmuster immer auch ein Lerntraining ist. Aus trainingspragmatischen Gründen ist es dennoch sinnvoll, ein Belastungsgefüge in Anlehnung an die konditionell determinierten Leistungsfähigkeiten zu bestimmen. Denn das Belastungsgefüge ist eine allgemein anerkannte Form, um die Belastungsnormative zu definieren.

Für das Schnelligkeitstraining kommen zwei Methoden in Frage. Beide werden in der folgenden Tabelle 7 illustriert.

Tabelle 7: Trainingsmethoden zur Verbesserung der Schnelligkeit (mod. nach Hohmann et al., 2002, S. 95)

TRAININGS-METHODEN	BELASTUNG	INTENSITÄT	TEMPO	WIEDER-HOLUNGEN	SERIEN	PAUSE
EINZEL-WIEDERHOLUNGEN	Einfache sportart-spezifische Bewegungen	100 Prozent	Maximal	10 – 12	1	> 30 sec
SERIEN-METHODE	Einfache sportart-spezifische Bewegungen	100 Prozent	Maximal	6 - 10	3 - 5	> 2 min

Bei der Methode der Einzelwiederholungen wird jeweils eine Bewegung maximal schnell durchgeführt. Diese Methode bietet sich beim Training der komplexen Schnelligkeit oder der Handlungsschnelligkeit an. Dahingegen kommt die Serienmethode, bei welcher die Bewegung mehrfach hintereinander ausgeführt wird, im elementaren Schnelligkeitstraining zum Einsatz.

9.3.2 Training unter erleichterten Bedingungen

Eine Erleichterung der äußeren Bedingungen dient in erster Linie dazu, die entsprechende Bewegung schneller auszuführen als unter normalen Bedingungen. Dabei stellt diese Methode im Prinzip eine Variante der Kontrastmethode dar. Denn hier wird die Wettkampfübung unter variablen Bedingungen (speziell: erleichterte Umstände) angewandt.

Durch die vermutete bzw. zum Teil bereits nachgewiesene Übertragungsmöglichkeit, ist es dem Sportler dann auch möglich, unter wettkampfspezifischen, normalen Bedingungen die Bewegung mit erhöhter Geschwindigkeit auszuführen (vgl. Matwejew, 1981, S. 171; Grosser, 1991, S. 104). Damit wird in gewisser Hinsicht auch der Forderung von Tschiene (1989, S. 13) entsprochen, welcher Trainingsmittel fordert, die

„die räumlich-zeitlichen-energetischen Merkmale der Wettkampfübung mit zukünftiger Leistung.“

beinhalten. Diese Forderung muss nach dem heutigen Erkenntnisstand besonders für das Schnelligkeits- und Techniktraining gelten.

Bei der Ausbildung von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern im Sinne des elementaren Schnelligkeitstrainings wird stets die Sicherung prognostischer bzw. höchster Geschwindigkeiten gefordert. Allerdings muss hierbei auch bedacht werden, dass die Erleichterungen nur so weit gestaltet werden dürfen, wie sie Geschwindigkeiten produzieren, die der Sportler auch unter normalen Bedingungen erreichen kann (vgl. Tabachnik, 1985). Die Rahmenbedingungen müssen folglich so gestaltet werden, dass neuromuskuläre realistische Prognosestrukturen

erreichbar sind bzw. das Erreichen dieser Intensitäten gewährleistet ist (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 49; Schnabel et al., 1997, S. 251). Dahinter steht auch die oft geäußerte methodische Forderung:

„speed is mostly developed by speed“.

Hierbei geht es nicht um die Suche nach neuen Übungen, es müssen vielmehr die (alten) Übungen unter diesem Zielaspekt neu gestaltet werden. Denn der positive Transfer dieser Schnelligkeitsleistungen in die Wettkampfbewegung ist nur möglich, wenn die Identität und die kinetischen und dynamischen Strukturen die gleichen sind (vgl. Tabachnik, 1985; Verchoschanskij, 1996).

Dies erfordert häufig gerätetechnische Lösungen. So werden im Judo beispielsweise Wurfserien auf einer schrägen Ebene ausgeführt (vgl. Gold, 1998, S. 53ff). In Tabelle 8 sind Möglichkeiten aufgezeigt, welche die Sicherung der Rahmenbedingungen zum Erreichen der prognostischen Geschwindigkeiten ermöglichen.

Tabelle 8: Möglichkeiten zur Sicherung von Übungsbedingungen für die Ausbildung der Schnelligkeit

- leichtere Geräte (Bälle, Wurfgeräte, Wurf puppen, leichtere Trainingspartner, Boxen mit leichteren Handschuhen)
- kleinere Geräte (Bälle, Geräteeinstellungen im Geräteturnen, dünnere Barrenholme)
- Körpergewichtsentlastung (Hilfsgeräte, Sprungspinne, Absprunghilfen, Frequenztrainer)
- Veränderungen der Wettkampfbedingungen (Spielfeldgröße, Netzhöhe, Streckenlänge, Gewicht und Abmessungen von Wettkampfgeräten, Bergabwürfe auf schiefen Untergrund)
- Vorgabe prognostischer Geschwindigkeiten (Laufband, Motorergometer, EMS)

Durch den Einsatz dieser Übungen kann der Sportler die Übungen schneller ausführen als unter normalen Umständen. Er baut ein neues schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster auf. Nach Bauersfeld & Voss (1992, S. 50) spiegeln sich diese qualitativen Veränderungen in der neuromuskulären Steuerung und Regelung in einem veränderten zeitlichen Innervationsmuster wieder. Hinsichtlich der Ausführungsquantität fordert Matwejew (1981, S. 172), dass das Verhältnis von 1:1 zwischen supramaximalen und normalen Bedingungen eingehalten wird. Bauersfeld & Voss (1992, S. 56) fanden in ihren Untersuchungen, dass Programmänderungen in Richtung kurzes Zeitprogramm immer dann erreicht wurden, wenn mehr als 50 Prozent der Wiederholungen im Zielbereich lagen. Hieraus fordern die Autoren, dass mindestens 60 Prozent „richtiger“ Wiederholungen notwendig sind, damit die Innervationscharakteristik tatsächlich qualitative Verbesserungen erfährt.

Bei Untersuchungen an Turnerinnen zeigten Bauersfeld & Voss (1992, S. 50), dass das unter erleichterten Bedingungen erworbene neue schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster auch unter Normalbedingungen reproduziert wurde. Die Arbeit gegen verringerte Widerstände dient der Verbesserung der Innervationscharakteristik der an der Bewegung beteiligten Muskeln.

Sedlacek, Kostial, Kampmiller & Dremmelova (o. J.) untersuchten die unterschiedlichen Auswirkungen eines supramaximalen Trainings bei Sprintern. Die Ergebnisse dieser Autoren werfen einige kritische Fragen auf.

Ihre Ergebnisse zeigten, dass ein Training unter erleichterten Bedingungen, in diesem Fall mit dem „Speedy“, die Bewegung verfälscht. Die Sportler agierten passiv, was sich in einer vergrößerten Schrittlänge, bei gleichbleibender Frequenz zeigte. Aus diesem Grund muss eine optimale Kraft angewandt werden, um diese negativen Einflüsse zu vermeiden. Allerdings ist das Eruiieren dieser optimalen Kraft kein einfaches Problem. Es liegen bislang keine Forschungsergebnisse vor, inwiefern solche Erkenntnisse auf die azyklische Schnelligkeit übertragen werden können.

9.3.3 Die Nutzung des Nachwirkungseffektes bei Belastungs- und Geschwindigkeitsvariation

Matwejew beschrieb bereits im Jahr 1981, dass die Geschwindigkeit sportlicher Bewegungsleistungen unter dem Einfluss einer vorhergehenden Ausführung der gleichen oder einer analogen Bewegung mit Zusatzlasten zeitweilig erhöht werden kann. Als Ursache beschreibt Matwejew Resterregungen der Nervenzentren, Erhaltungen der motorischen Einstellung und andere Spurenprozesse, welche die folgenden motorischen Handlungen intensivieren.

In der Praxis stellt sich die Methode zunächst als disziplinspezifische Übung unter erschwerten Bedingungen dar. Im Anschluss daran wird die Übung unter normalen Bedingungen ausgeführt. Grosser (1991, S. 104) beschreibt folgendes methodisches Vorgehen: Eine erschwerte Übung, anschließend zwei bis drei Übungen unter normalen Bedingungen. Matwejew (1981, S. 171) berichtet, dass durch diese Methode zeitweilige Verkürzungen der Bewegungszeiten erreicht werden.

Nach Verchoschanskij (1995, S. 81) liegt der Sinn der Ausführungserschwerung der Wettkampfübung in der Intensivierung der Kraftkomponente in der ganzheitlichen Bewegungsstruktur. Bei der Anwendung dieser Methode muss jedoch nicht unbedingt die gesamte Bewegung durchgeführt werden d. h. der von Verchoschanskij postulierte ganzheitliche Aspekt ist nicht zwingend. Da sowohl die Armzugbewegung, die Armdruckbewegung und die Bein Streckbewegung bzw. Körperlängsachsenschwung von der Schnellkraft determiniert werden, scheint die Anwendung der Methode des Nachwirkungseffektes bei der Verbesserung dieser vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster denkbar. Und zwar im

Hinblick auf die postulierte Intensivierung der Kraftkomponente im Sinne einer vermuteten gesteigerten intramuskulären Koordinationsfähigkeit.

Bei der Ausbildung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster muss diese Methode demnach differenziert betrachtet werden. Denn je größer der Widerstand in der Wettkampfübung ist, desto größer ist der Einfluss der Kraftfähigkeiten. Bei der Verbesserung des Platzwechsels dürften die Zusatzlasten weniger effektiv sein bzw. dürfte hierbei die von Grosser (1991, S. 103) aufgezeigte Grenze von höchstens fünf Prozent des Eigengewichtes nicht überschreiten.

Um die Entstehung von Bewegungstereotypen zu vermeiden, scheint die Nutzung des Nachwirkungseffektes im Sinne einer Variation in der Ausführungsgeschwindigkeit und in der Übungsauswahl ein gewisses Potential zu besitzen.

Hinsichtlich der Variation der Ausführungsgeschwindigkeit bei Übungen zur Verbesserung des Kraftniveaus liegen kontrovers diskutierte Standpunkte vor. Vertreter des Prinzips der langsamen Ausführungsgeschwindigkeit sehen den Vorteil ihrer Methode darin, dass der Athlet die Last allein durch seine Muskelkraft heben muss und andere externe Faktoren, wie beispielsweise das Ausnutzen der kinetischen Energie der Last, ihm bei der Bewegungsausführung nicht helfen (vgl. Winett, 2000). Hierzu führt Winett (2000) an, dass der Schlüssel, um Kraft aufzubauen, in der Intensität liegt, also wie stark der Muskel ausbelastet wird. Die Intensität soll nicht über die Wiederholungszahlen oder die Last gesteuert werden, sondern über die Ausführungsgeschwindigkeit. Denn je langsamer die Ausführungsgeschwindigkeit ist, umso kleiner ist das Momentum und die Intensität der Übung ist dadurch erhöht.

O'Shea (2000) illustriert als Vertreter der schnellen Ausführungsgeschwindigkeiten anhand einer Kraft-Geschwindigkeitskurve, dass entweder das Heben einer kleineren Last mit hoher Geschwindigkeit oder das Heben einer maximalen Last mit geringen Geschwindigkeiten optimale Kraftwerte liefert. Das bedeutet, dass ein Training zur Verbesserung der Kraft, der Geschwindigkeit oder beidem bestrebt sein muss, den mittleren Anteil der Kurve nach rechts zu verschieben. Der Hauptzweck von Übungen, die mit hoher Geschwindigkeit durchgeführt werden liegt nach O'Shea (2000) darin, den Athleten zu befähigen, maximale muskuläre Kraft bei immer höheren Geschwindigkeiten aufzubringen. Anhand verschiedener Untersuchungen belegt der Autor, dass nur ein Training mit hohen Gewichten dazu führt, die FT-Fasern zu rekrutieren. O'Shea führt ausserdem an, dass nur hochintensive explosive Bewegungen einen hohen Prozentsatz von FT-Fasern aktivieren.

Vom Standpunkt des Athleten, der eine Hypertrophie anstrebt, scheint Winett Recht zu haben. Um optimale sportliche Leistungen zu erzielen liegt O'Shea wohl richtig. Um diese Überlegungen zusammenzufassen kann nach den bereits weiter oben aufgeführten Ausführungen konstatiert werden, dass ein langsames Training den Athleten dazu befähigt, bei langsamen Bewegungen sein Kraftpotential besser auszuschöpfen und ein schnelles Ausführen der Trainingsübungen den Athleten in

die Lage versetzt, bei schnellen Bewegungen sein Kraftpotential einzusetzen. Hier gilt das Prinzip der Ausbildungsspezifika.

9.3.4 Differentielles Lernen

Schöllhorn stellte 1999 einen theoretischen Ansatz vor, dessen praktisches Umsetzen zum Überdenken der klassischen Struktur des Trainings anregt und neue Impulse für das Verhältnis von Qualität und Quantität im Training liefert.

Schon seit langer Zeit wird im Bereich des Techniktrainings der Widerspruch kritisiert, dass eine (schnelle) Bewegung eingeschliffen werden soll, auf der anderen Seite jedoch auch situativ die Fähigkeit zur Variabilität behalten soll (vgl. Zanon, 1997). Auch weisen Untersuchungen in der Mehrzahl der Sportarten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Erfolg und Trainingsumfang im Techniktraining auf (vgl. u. a. Emrich & Pitsch, 1998; Richartz & Brettschneider, 1996; Zastrow, 1996).

Ausgehend von drei Phänomenen stellt Schöllhorn (1999, S. 9ff) ein Prinzip des differentiellen Lernens vor, welches im Folgenden skizziert wird.

Zur Bedeutung von Fehlern.

Je komplexer ein System ist, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten von nichtlinearen Phänomenen. Der Mensch als komplexes biologisches System unterliegt nahezu permanent dem Auftreten von Schwankungen und Intermittenzen, die als Fehler betrachtet werden können. In dieser Hinsicht muss beachtet werden, dass gerade für das Auftreten von Adaptationen Störungen der Homöostase, also das Auftreten von Differenzen notwendig ist. Da es jedoch keinem noch so guten Sportler gelingt, jede Bewegung identisch auszuführen, ist es entsprechend schwierig, eine Bewegung als richtig oder falsch zu bewerten.

Zur Bedeutung von Einschleifprozessen.

Wie bereits erwähnt, ist die Wahrscheinlichkeit zweier identischer Bewegungen gering. Durch die hohe Anzahl von Wiederholungen der zu übenden Bewegung existiert gleichzeitig ein hohes Maß an Streuung um die Bewegung herum. Mehr oder weniger zufällig wird der Athlet schließlich auf seine „optimale“ Bewegung stoßen. Dabei ist es noch ungeklärt, ob der Erfolg durch die Anzahl an Wiederholungen oder durch die Größe der Streuung erreicht wird. Wenn er im Bereich der Streuung liegt, so ist hier ein Ansatz für die weitere Gestaltung eines effektiven Trainingsprozesses.

Zur Bedeutung von Ziel- und Idealtechniken.

Ausgangspunkt ist hier das Prinzip der Individualität. Denn dieses Prinzip ist sowohl bei Anfängern als auch bei Fortgeschrittenen zu beobachten. Wenn für einen Athleten die Idealtechnik berechnet werden würde, so kann es sein, dass diese Technik später entweder veraltet sein könnte, oder sie im Laufe seines

Lebens nicht mehr zu seinem Körper oder seiner Person passt. Ungeachtet hiervon ist es aufgrund der biologischen Schwankungen und der damit verbundenen Adaptationsprozesse bei biologischen Systemen und gleichzeitig der Unschärferelationen ihrer immanenten nichtlinearen Wechselwirkungen nicht möglich, Techniken als richtig oder falsch zu bezeichnen. Der Sportler müsste stets neu vermessen werden, woraus sich ungeahnte logistische Probleme ergeben würden.

Das Konzept des differentiellen Lernens macht sich die Notwendigkeit von Schwankungen bzw. Fehlern zunutze. Es stellt eine Verallgemeinerung des variablen Übens nach Schmidt (1985) dar. Hier geht es jedoch nicht nur um die Konsolidierung eines generalisierten motorischen Programms, sondern vielmehr um die variable und differenzierte Anwendung. Das differentielle Lernen soll es dem Sportler ermöglichen, sein individuelles Optimum selbst zu finden und beinhaltet damit das Lernen in Gegensätzen.

Für das Training der Schnelligkeit ergibt sich hierbei für den Athleten die Chance unter verschiedensten Bedingungen, die im Judo durchaus gegeben sind, die beste und schnellstmögliche Ausführung seiner sportlichen Technik anzuwenden. Die praktische Relevanz des differentiellen Lernens im Schnelligkeitstraining ergibt sich im besonderen im Training der Handlungsschnelligkeit.

Als systematische Anhaltspunkte dienen beim differentiellen Lernen folgende Modifikationsmöglichkeiten (vgl. Schöllhorn, 1999, S. 10):

- a) das Variieren von Anfangs- bzw. Endbedingungen einer Bewegung
- b) das Ändern der Merkmalsumfänge
- c) das Wechseln der Bewegungsverläufe in Dauer und Rhythmus.

Damit wird versucht, über eine grosse Variabilität eine größere Stabilität zu erreichen. Das variable Üben verlagert sich nach Schöllhorn (1999, S. 11) vom Auffinden bis hin zum Stabilisieren und von der vielfältigen Geometrie (räumliche Gestalt) über die Geschwindigkeit (raum-zeitliche Gestalt) zur variablen Beschleunigung einer Bewegung.

Intendiert wird, dass die gestreute Darbietung von Übungen durch das Anbieten von Alternativen dem System die Chance zum Vergleich gibt und damit zur Selektion. Das Konzept des differentiellen Lernens kann in erster Linie im Training der Handlungsschnelligkeit effizient angewandt werden. Denn hier können die unterschiedlichen Bausteine einer wurftechnischen Bewegung gemeinsam mit den schnellen neuromuskulären Innervationsmustern in ihrer Variabilität verbessert werden.

9.4 Zusammenfassung der Empfehlungen zum Schnelligkeitstraining

Obwohl in der vorliegenden Arbeit die Betrachtung des Trainings der motorischen Schnelligkeit unter dem Konstrukt der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster nur peripher betrachtet wird, wurde mit der Betrachtung ein weiterer Zugang gewählt. Aus trainingswissenschaftlicher Sicht bestehen im Schnelligkeitstraining drei zentrale Problempunkte:

1. Da Schnelligkeitsleistungen an spezifische Bewegungstechniken gebunden sind, führt die Erhöhung der Ausführungsgeschwindigkeit zu technischen Instabilitäten.
2. Die wiederholte Ausführung von Bewegungen mit gleicher Geschwindigkeit führt andererseits zu Stereotypenbildung und kann zur Stagnation beim Training der dynamischen Parameter führen.
3. Zur Erhöhung der Ausführungsgeschwindigkeit ist eine hohe Erregbarkeit des Nervensystems Voraussetzung, wird diese Erregung durch intensive Körperübungen erhöht/aufrechterhalten, besteht jedoch die Gefahr einer schnellen Ermüdung, welche wiederum einen Geschwindigkeitsabfall mit sich bringt.

Dabei wird die Schnelligkeit mit der Fähigkeit elementare schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster zu realisieren und mit der Fähigkeit der optimierten Realisierung elementarer schneller neuromuskulärer Innervationsmuster innerhalb einer sporttechnischen Bewegung verstanden. Um die motorische Schnelligkeit zu verbessern wurde ein Drei-Stufen-Modell vorgestellt.

Die erste Stufe entspricht dem elementaren Schnelligkeitstraining. Es geht hier um die optimierte Ausbildung der neuromuskulären Voraussetzungen, also um die Ausbildung schneller neuromuskulärer Innervationsmuster. Es folgt das komplexe Schnelligkeitstraining. Dort sollen die im elementaren Schnelligkeitstraining erworbenen Schnelligkeitsleistungen in die komplexe sportartspezifische Technik integriert werden. Der Übertragungscharakter der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster ist zielgerichtet auszunutzen. Auf der dritten Stufe schließlich folgt die komplexe Ausbildung der Handlungsmuster der Sportart, was als Training der Handlungsschnelligkeit bezeichnet wird. Dies beinhaltet die Verbesserung sowohl der kognitiven, als auch der motorischen Komponenten.

Um schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster auszubilden, können verschiedene Methoden eingesetzt werden. Bei der Ausbildung von schnellen neuromuskulären Innervationsmustern im Sinne des elementaren Schnelligkeitstrainings wird stets die Sicherung prognostischer bzw. höchster Geschwindigkeiten gefordert. Dazu werden die Übungsbedingungen erleichtert. Durch den Einsatz dieser Übungen kann der Sportler diese schneller ausführen als unter normalen Umständen. Die Erleichterungen dürfen nur so weit gestaltet werden, wie sie Geschwindigkeiten produzieren, die der Sportler auch unter normalen Bedingungen erreichen kann. Eine weitere Möglichkeit ist die vorherige erschwerte Ausübung der Bewegung. Hierbei soll ein Nachwirkungseffekt genutzt werden. Nach Verchoschanskij (1995, S. 81) liegt der Sinn der

Ausführungserschwerung der Wettkampfübung in der Intensivierung der Kraftkomponente in der ganzheitlichen Bewegungsstruktur.

Schon seit langer Zeit wird im Bereich des Techniktrainings der Widerspruch kritisiert, dass schnelle Bewegung eingeschliffen werden sollen, auf der anderen Seite jedoch auch situativ die Fähigkeit zur Variabilität behalten sollen. Beim differentiellen Lernen wird genau dies mitbeachtet. Hier geht es um die variable und differenzierte Anwendung von sporttechnischen Bewegungen. Das differentielle Lernen soll es dem Sportler ermöglichen, sein individuelles Optimum selbst zu finden und beinhaltet damit das Lernen in Gegensätzen.

10 Überleitung zum empirischen Teil

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob schnelle Bewegungen im Judo durch spezifische schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster abgebildet werden. Im empirischen Teil geht es nun darum, schnelle Armzugbewegungen im Judo zu untersuchen. Es wurden die von Bauersfeld & Voss (1992) vorgestellten Phänomene zu den von ihnen gefundenen Zeitprogrammen bereits skizziert. Da diese nur bei einfachen Bewegungen wie beispielsweise dem Nieder-Hochsprung bei den unteren Extremitäten gefunden wurden, sollen diese auch bei komplexeren Bewegungen, wie der Armzugbewegung in den oberen Extremitäten während einer Wurfbewegung im Judo, überprüft werden. Dazu sollen die Charakteristika schneller Zugprogramme im Judo untersucht werden. Folgende Fragen sollen angegangen werden.

1. Wie lange dauert eine Zugbewegung?

In der Literatur wird davon ausgegangen, dass Bewegungen mit einer Gesamtdauer von unter 200 ms gesteuert werden, also ohne Feedback-Prozesse ablaufen. Wenn nun herausgestellt werden kann, dass Zugbewegungen kürzer sind, so können schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster vermutet werden. Auch soll festgestellt werden, ob eine hohe Endgeschwindigkeit oder eine Zeitminimierung während einer Zugbewegung bei den an der Untersuchung teilgenommenen Probanden angesteuert wird.

2. Inwiefern treffen die von Bauersfeld & Voss (1992) vorgestellten Charakteristika zu den von ihnen detektierten Zeitprogrammen bei den Nieder-Hoch-Sprüngen bei Armzugbewegungen im Judo zu?

Indem diese Charakteristika verifiziert oder falsifiziert werden, können die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster nach dem Muster von Bauersfeld & Voss (1992) bestätigt oder verworfen werden.

Hierzu gehören die Überprüfung, ob ein hoher Explosivkraftquotient mit einer kurzen Dauer der Zugbewegung negativ korreliert und ob ein hoher Startkraftquotient negativ mit einer kurzen Dauer der Zugbewegung korreliert. Auch soll der Frage nachgegangen werden, ob die Zugbewegungen auch bei hohen Wiederholungszahlen eine hohe Stabilität bezüglich der Gesamtdauer der Zugbewegung haben.

3. Stellt die EMG-Aktivität ein valides Kriterium dar, um die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster beurteilen zu können?

Bei Bauersfeld & Voss (1992, S. 18) werden die EMG-Kurven der Zeitprogramme im EMG zur Beurteilung der Qualität herangezogen. Bei den Untersuchungen von Bauersfeld & Voss (1992) zeigte sich, dass das EMG bei Sportlern mit einem kurzen Zeitprogramm ausgeprägtere Vorinnervationen in der leistungsbestimmenden Muskulatur aufwies, als bei Personen mit einem langen Zeitprogramm. Dies zeigte sich in einem steileren und längeren Anstieg der

Amplitude. Als Vorinnervation wird der Bereich definiert, in welchem der Muskel bereits aktiv ist, die Bewegung aber noch nicht begonnen hat. Der initiale steile Anstieg und die Aktivitätskonzentration in der ersten Arbeitsphase der Bewegung waren bei Bauersfeld & Voss (1992) ein Beleg für eine gute qualitative Struktur der Zugbewegung. Mehrere Studien zu dieser Thematik besagen, je steiler der Anstieg und je größer die Amplitude im EMG, umso mehr ist der leistungsbestimmende Muskel aktiv. Die EMG-Aktivität wird durch die Fläche unter der EMG-Kurve im gleichgerichteten Elektromyogramm operationalisiert. Im Rahmen dieser Arbeit gilt es herauszufinden, inwieweit die EMG-Aktivität in der beanspruchten Muskulatur negativ mit der Gesamtdauer der Zugbewegung korreliert ist. In einem zweiten Teil soll festgestellt werden, ob die EMG-Aktivität während der Vorinnervation negativ mit der Dauer der Zugbewegung korreliert.

4. Gruppenvergleiche

Primäres Ziel dieses Teils der Untersuchung ist es, herauszufinden, inwiefern anthropometrische Merkmale, in diesem speziellen Fall die unabhängigen Variablen Gewicht bzw. die Zugehörigkeit zu einer Gewichtsklasse, einen Einfluss auf das zeitliche Muster der Zugbewegung hat. In einem zweiten Gruppenvergleich soll eruiert werden, ob erfolgreicherer Athleten kürzere Bewegungszeiten aufweisen, ob die Schnelligkeit einen Voraussetzungscharakter zum Erreichen von Spitzenleistungen hat. Also ob die unabhängige Variable, die Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Leistungsklassen einen Einfluss auf die Bewegungszeiten bei der untersuchten Armzugbewegung hat.

11 Empirische Untersuchung

Im empirischen Teil werden die schnellen Bewegungen und die vorgestellten Theorien und Probleme aus dem ersten Teil der Arbeit, anhand von Zugbewegungen im Judo eruiert. Bei der hier im experimentellen Abschnitt zu untersuchenden Bewegung handelt es sich um die Zugbewegung im Judo. Ausgehend von den Charakteristika der bei Bauersfeld & Voss (1992) vorgestellten Zeitprogramme wird untersucht, ob diese auch bei Zugbewegungen der oberen Extremitäten vorzufinden sind.

11.1 Untersuchungsgegenstand und Forschungsdesign

In diesem Kapitel werden der Gegenstand und der Aufbau der empirischen Untersuchung dargestellt.

11.2 Die zu untersuchende Zugbewegung beim Judo

Bei der rechten Standardfassart (Rechtsauslage: das rechte Bein des Kämpfers ist vorn) greift der Angreifende mit seiner linken Hand entweder oberhalb des rechten Ellbogengelenks des Verteidigers oder in das Jackenende auf der Höhe des Handgelenks. Die rechte Hand greift entweder im Nacken des Verteidigers oder am Revers vor der Brust desselben. Bei Eindrehtechniken nach vorn wird über diesen Griff zunächst unter der zeitlichen Einhaltung der verschiedenen Wurfphasen versucht, über einen Zug nach vorn, das Gleichgewicht zu brechen.

Beim Judo ist diese Einleitung der Bewegung wegen der großen Bedeutung, das Gleichgewicht des Gegners zu brechen, leistungslimitierend und muss mit größtmöglicher Geschwindigkeit unter dem Aspekt der Zeitminimierung geschehen. Aufgrund der äußerst kurzen Zeitspanne wird bei dieser Zugbewegung ein schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster vermutet.

Um möglichst standardisierte und objektive Bedingungen zu erhalten und jegliche, zum Teil auch unbewusste Verteidigungshandlungen durch den Verteidiger zu vermeiden, wurde zu diesem Zweck ein Zugapparat gebaut, der einen Verteidiger mit seinen körperlichen Eigenschaften simulieren soll.

11.3 Darstellung des Untersuchungsdesigns

Die Untersuchungen zur Zugbewegung im Judo wurden im Biomechaniklabor des Instituts für Sportwissenschaft an der Universität Tübingen durchgeführt. Die Messung bestand aus drei Teilen.

Zunächst folgte eine isometrische Maximalkraftmessung zur Zugkraft des Probanden. Anschließend wurden die Elektroden für die EMG-Messungen an den festgelegten Ableitpunkten angebracht. Im zweiten Teil der Messreihe mussten die Probanden nach einer Eingewöhnungsphase mit einer Erklärung des Zugapparates und ausreichenden Pausen fünf maximal schnelle Zugbewegungen an einem speziell konstruierten Zugapparat mit Wiederholungspausen von zwei Minuten ausführen. Der dritte Teil schließlich bestand aus Messungen zur Ermüdungsresistenz und Stabilität der Zugbewegung. Über einen Zeitraum von fünf Minuten mussten die Probanden alle 15 Sekunden eine maximal schnelle Zugbewegung ausführen.

Die Datenaufnahme erfolgte mittels einer Kraftmessdose, eines Längengebers und einer EMG-Messanlage.

11.3.1 Die isometrische Maximalkraftmessung

Um den Einfluss der Start- und der Explosivkraft (als Teilkomponenten der Schnellkraft definiert) beurteilen zu können, wurde jeder Proband einer Maximalkraftmessung unterzogen. Bei dieser Messung lagen die Probanden bäuchlings auf einem Turnkasten. Unter dem Kasten wurde mit einem Haken eine Kraftmessdose auf einer Holzplatte montiert. Der Turnkasten lag auf dieser Holzplatte, um eine geschlossene kinematische Kette zu erhalten. An der Kraftmessplatte wurde ein Griff eingehängt.

Die Kraftmessdose stammt von der Firma BURSTER, Typ 8524. In diesem Zug-Druck Sensor sind Dehnungsmessstreifen appliziert, die bei einer Krafteinwirkung eine zur Messgröße direkt proportionale Brückenausgangsspannung abgeben. Der Sensor erfasst Messbereiche von 0 bis 500 N.

Über die Messsoftware DIADEM und eine AD-Karte wurde die isometrische Maximalkraft mittels einer Kraft-Zeit-Kurve aufgezeichnet.

11.3.2 Der Zugapparat

Der Zugapparat wurde aus Buchenholz angefertigt. Er stellt einen Kippkörper dar. Um einem Judogegner möglichst ähnlich zu sein, hat er in Ruhe durch den distal angebrachten Stützpfosten ein stabiles Gleichgewicht. Um den Kippkörper in eine labile Gleichgewichtsposition zu bringen, muss er über die Horizontale heraus gezogen werden. Dies geschieht durch die Zugbewegung an den lateral seitlich angebrachten Holzgriffen, die fest an den Basiskörper angebracht sind. Die Probanden mussten engst möglich zu dem Basiskörper greifen, damit jede Zugbewegung standardisiert verläuft und keine Unterschiede durch variierende Hebelwirkungen zu verzeichnen sind. Gleichzeitig wurden die Griffe der Körperhöhe der Probanden angepasst. Als Kriterium galt hier stets die Schulterhöhe, die Griffe wurden folglich immer auf gleicher Höhe mit der Schulter

des jeweiligen Probanden angebracht. Durch Steckverbindungen konnte dies realisiert werden.

Um die Realitätsnähe beizubehalten und der Wettkampfübung zu entsprechen, wurde der Kippkörper mit Gewichten an den distal an der Rückseite des Basiskörpers angebrachten Rundstücken wie bei einer Hantelstange beschwert. Der Zugapparat selbst hat eine Masse von 20 Kilogramm. Das Gewicht wurde nun immer der Gewichtsklasse der Testperson angepasst. Dabei galt, dass rund zwei Drittel der anzuhängenden Gewichtsscheiben auf der Höhe des Körperschwerpunktes angebracht wurden.

Beispielsweise bekam ein Proband, der in der Gewichtsklasse bis 66 Kilogramm kämpft (und dieses Gewicht auch zum Augenblick der Messung hat), Hantelscheiben mit einem Gesamtgewicht von 46 Kilogramm auf den Kippkörper. 31 Kilogramm wurden auf den oberen Rundstücken angebracht.

Damit sich die Probanden in einer geschlossenen kinematischen Kette befinden, war der Zugapparat auf eine ein mal ein Meter große Holzplatte montiert. Bei der Zugbewegung mussten sich die Probanden mit dem vorderen Fuß auf einen standardisierten Punkt stellen. Dieser war der Situation nachempfunden, die ein Judoka bei der Zugbewegung zur Einleitung einer Eindrehtechnik nach vorne einnimmt. Bei der Zugbewegung selber bekamen die Probanden stets den Hinweis so schnell und kräftig zu ziehen, wie sie es tun, wenn sie eine Eindrehtechnik vorbereiten wollen.

Um die Geschwindigkeit der Zugbewegung zu messen, wurde auf der anderen Seite des Kippkörpers mittels eines fixierten Hakens ein Längengeber eingehängt.

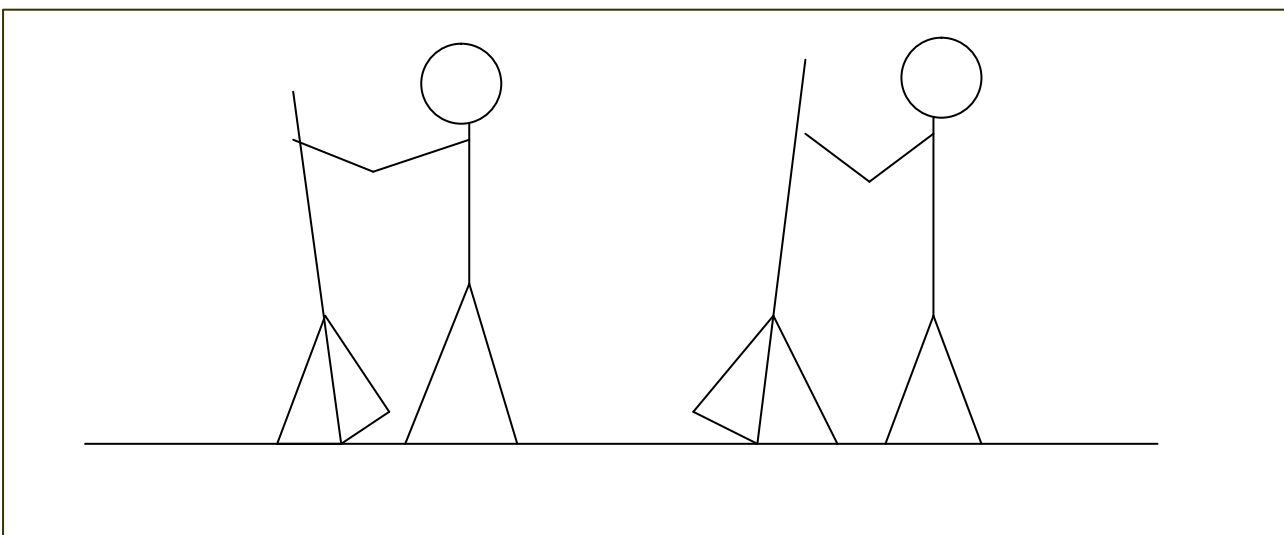


Abbildung 26: Schematische Darstellung der Armzugbewegung am selbst konstruierten Zugapparat

11.3.3 Der Längengeber

Bei dem an dem Zugapparat befestigten Längengeber handelt es sich um den Typ SG3000. Mit diesem Seillängengeber wurden die Weg- und Geschwindigkeitsmessungen der Zugbewegung realisiert. Er funktioniert nach dem Prinzip eines Potentiometers und liefert eine Spannung von Null (ausgefahren) bis zehn Volt (eingefahren). Eine AD-Wandlerkarte vom Typ DT2821 (Firma DATA TRANSLATION) mit einer Abtastrate von 1000 Hz übersetzte das analoge Weg-Zeit-Signal in ein zeitdiskretes quantisiertes Signal. Über die Messsoftware DIADEM wurde das Signal verarbeitet und analysiert.

11.3.4 Das EMG-System

Der Messplatz bestand aus einem 8-Kanal-Oberflächen-EMG-System (MYOSYSTEM 2000) der Firma Noraxon Neurodata (Berlin-Wien). Bei den Oberflächenelektroden handelte es sich um EKG-Kinder-Einmalelektroden (blue sensor, disposable electrodes) der Firma Medicotest A/S Danmark Typ P-00-S.

Die Auswertung erfolgte auf einem handelsüblichen Pentium-PC mit der Software MYOSOFT 2000 1.0 for WINDOWS der Firma NORAXON.

Um die Elektromyographie zu verstehen wird in einem Exkurs diese Messtechnik näher erläutert.

11.3.4.1 Die Elektromyographie (EMG)

Die elektrische Messmethodik erlaubt die quantitative Beschreibung neuronaler Prozesse, indem sie elektrische Vorgänge, die an der Hautoberfläche über einer Muskelgruppe ableitbar sind, in der Regel in bipolaren Längsableitungen, graphisch darstellt. Die hierbei gemessenen Biopotentiale sind als räumliche und zeitliche Summation von Aktionspotentialen zu verstehen (vgl. Strasser, 1999, S. 1). Ursächlich verantwortlich für die Entstehung des extrazellulären EMG-Signals zeichnet nach Senner & Schaff (1999, S. 161) die sogenannte passive Volumenleitung. Denn die elektrische Aktivität in den Muskelfasern, das sogenannte intrazelluläre Aktionspotential, wird durch das umgebende Gewebe in abgeschwächter Form weitergeleitet. Die auf der Hautoberfläche extern angebrachten Elektroden zeichnen dieses Aktionspotential auf. Die Änderungen im myoelektrischen Signal der Muskeln basieren im Wesentlichen auf der Rekrutierungs- und Feuerrate der motorischen Einheiten in den untersuchten Muskeln (vgl. Le Veau & Andersson, 1992, S. 70).

Die aus der Elektromyographie gewonnenen Daten erlauben Aussagen zum Innervationsverhalten der abgeleiteten Muskeln. Und hierbei besonders über die Dauer, die Zeitabfolge und den Grad des Aktivitätsniveaus einzelner Muskeln. Sie liefern damit Informationen über die der Bewegung zugrunde liegenden neuromuskulären Prozesse und den ursächlichen neurophysiologischen Vorgängen (vgl. Roth, 1989).

In Bezug zu den schnellen neuromuskulären Innervationsmustern liefern sie direkte Zusammenhänge über die Geschwindigkeit und die Kräfteinsatzmuster der abgeleiteten Muskeln. Und damit zu einer möglichen zeitlichen und dynamischen Struktur der im ZNS gespeicherten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster (vgl. Wollny, 1993, S. 112).

11.3.4.1.1 Das EMG-Signal

Das EMG-Signal liefert die Summation der Aktionspotentiale der einzelnen motorischen Einheiten, welche gleichzeitig aktiv sind und in der Nähe der Elektroden lokalisiert sind. Des Weiteren sind Aussagen über die rekrutierten motorischen Einheiten möglich (vgl. Winter, 1990, S. 207). Tatsächlich beschreibt auch Pollmann (1993, S. 50), dass ein hoher korrelativer Bezug zwischen dem EMG und der Kraft existiert. Damit kann festgehalten werden, dass die wichtigsten Informationen, die einem EMG entnommen werden können, die folgenden sind:

- a) ist der untersuchte Muskel aktiv oder nicht
- b) welche relative Aktivität weist der untersuchte Muskel auf.

Das EMG-Signal wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Dazu gehören die Größe und die Anordnung der Elektroden relativ zur Muskelfaserung, sowie die Distanz der Elektroden zu den aktiven Muskelfasern. Eine zusammenfassende Übersicht dieser Einflussgrößen findet sich in Tabelle 9. Es zeigt sich also, dass das EMG-Signal ein rein stochastisches Signal ist. Aus diesem Grund muss zunächst einmal definiert werden, welche Antworten dem EMG entnommen werden sollen. In dieser Hinsicht werden drei Kategorien definiert (vgl. Gerlemann & Cook, 1992, S. 44 f.).

Zunächst einmal können dem EMG zeitliche Informationen entnommen werden. Damit kann eruiert werden, ob der Muskel während einer bestimmten Aktivität gearbeitet hat bzw. wann er arbeitete. Schwierigkeiten in dieser Fragestellung bestehen darin, dass es oftmals nicht klar ersichtlich ist, wann ein Muskel kontrahiert bzw. sich wieder entspannt. Aus diesem Grund werden häufig Triggersignale als Referenz bei Untersuchungen mit herangezogen.

Tabelle 9: Faktoren, welche die Signalinformation der Elektromyographie beeinflussen

Faktor	Einfluss
Neuronale Aktivierung	<ul style="list-style-type: none"> - Feuerrate des Aktionspotentials der motorischen Einheiten - Die Anzahl der rekrutierten motorischen Einheiten - Die Synchronisierung der feuernenden motorischen Einheiten
Muskelfaserung	<ul style="list-style-type: none"> - Die Leitgeschwindigkeit der Muskelfasern

Muskelanatomie	<ul style="list-style-type: none"> - Die Orientierung und Verteilung der Muskelfasern mit ihren motorischen Einheiten. - Die Dicke der Muskelfasern. - Die totale Anzahl der motorischen Einheiten.
Elektronengröße und Anordnung	<ul style="list-style-type: none"> - Die Anzahl der motorischen Einheiten innerhalb der Muskelfasern, die von den Elektroden aufgezeichnet werden können. - Die Anzahl der motorischen Einheiten innerhalb der Muskelfasern, die von den Elektroden aufgezeichnet werden in ihrer Relation zur Lage der Muskelfasern.
Elektroden-Elektrolyt-Verbindung	<ul style="list-style-type: none"> - Material und Präparation der Elektroden, sowie ihre Lage. - Das Anwachsen des Elektrodenwiderstandes mit abnehmender Frequenz (high-pass filter).
Bipolare Elektroden Anordnung	<ul style="list-style-type: none"> - Der Effekt der Distanz der Elektroden und ihre Bandbreite (bandpass filter). - Die Anordnung der Elektroden in ihrer Relation zur Achse der Muskelfasern.

Am häufigsten sind Fragestellungen über die erbrachte Kraft eines Muskels. Hier werden die quantitativen Messungen über die Feuerrate der motorischen Einheiten in Relation zu der erbrachten Kraft in Beziehung gesetzt (vgl. Gerlemann & Cook, 1992, S. 44). Allerdings darf hier nicht immer eine lineare Abhängigkeit angenommen werden, wie die weiteren Ausführungen in den nächsten Kapiteln darstellen werden. Mit der zunehmenden Intensität einer Kontraktion werden immer mehr motorische Einheiten rekrutiert und die Feuerrate steigt in ihrer Frequenz an. Dies spiegelt sich wider in einem immer dichter werdenden Spektrum mit höheren Amplituden im EMG.

Der dritte Hauptbereich schließlich beschäftigt sich mit den Ermüdungsprozessen. Zahlreiche Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, dass ermüdungsbedingte Kraftabnahmen sich in einem Absinken der hohen Frequenzen im EMG zeigen. Daneben ist eine Zunahme der tiefen Frequenzen zu beobachten.

11.3.4.1.2 Zur Analyse des elektromyographischen Signals

Um genaue Auskünfte zu entsprechenden Fragestellungen geben zu können, muss das myoelektrische Signal quantifiziert werden. Dies ist notwendig, damit

Vergleiche zwischen Muskeln, Individuen und unterschiedlichen Aktivitäten angestellt werden können. In diesem Sinne wird gemeinhin die Amplitude des EMG-Signals als indirekte Referenz zur Beurteilung der Kontraktionskraft verwendet (vgl. Le Veau & Andersson, 1992, S. 70). Da hierzu jedoch keine Eins-zu-Eins-Beziehung besteht, muss ein Referenzwert ermittelt werden, der es erlaubt, unterschiedliche Verläufe zwischen Muskeln oder Aktivitäten zu vergleichen. Hierzu muss das Signal zunächst normalisiert bzw. kalibriert werden.

Eine häufig verwendete Methode hierzu ist die maximale freiwillige isometrische Anspannung (isometric maximal voluntary contraction = MVC). Die anschließend ermittelten Signale im EMG werden auf diesem Wert basierend als Prozentwerte ausgedrückt. Eine grundlegende, auch kritisch zu beäugende Annahme für die Verwendung von MVC ist, dass der Kraftwert direkt mit dem myoelektrischen Signal in Verbindung gesetzt werden kann. Hierzu werden bezüglich der Linearität bzw. Non-Linearität jedoch unterschiedliche Befunde diskutiert. Für die Untersuchungen von dynamischen Bewegungen, wie es in der vorliegenden Arbeit der Fall ist, scheint die Verwendung von MVC nicht sinnvoll zu sein, da die Ergebnisse von isometrischen Kontraktionen nicht auf dynamische Kontraktionen übertragen werden können.

Studien, welche isotonische Kontraktion zum Untersuchungsobjekt haben, müssen demnach auch isotonische Kontraktionen zur Kalibrierung verwenden. Das bedeutet, dass die Prozedur, mit der die Aktivität normalisiert werden soll, möglichst nahe an der Bewegung liegen soll, die untersucht wird (vgl. Le Veau & Andersson, 1992, S. 73).

11.3.4.1.3 Die Amplitude

Bei unveränderter Elektrodenposition und Innervationsstärke behält ein Potential immer die gleiche Form. Die Amplitude ist dabei außer vom Abstand der aktiven Fasern in unmittelbarer Nähe auch von der Zahl der innervierten Fasern abhängig (Ludin, 1993, S. 53). Veränderungen der Elektrodenpositionen am Muskelbauch bewirken nach Gollhofer, Schmidtbleicher & Horstmann (1989, S. 58) keine Veränderungen in der typischen Verlaufscharakteristik des EMG-Musters, sondern in erster Linie eine Abnahme der Signalamplitude.

Oberflächen-EMG's haben bei maximalen Willkürkontraktionen eine maximale Amplitude von peak zu peak von 5 mV. Ableitungen mittels Nadelelektroden können auch größere Amplituden mit Werten von bis zu 10 mV aufweisen (vgl. Winter, 1990, S. 197).

Die Amplitude scheint ein Indikator zu sein, um die isometrische Muskelspannung beurteilen zu können. So steigt diese bei Zunahme der Muskelspannung an (vgl. Winter, 1990, S. 207). Es wurden sowohl lineare Beziehungen zwischen der EMG-Amplitude und der Muskelspannung gefunden (vgl. Lippold, 1952), als auch nichtlineare Beziehungen (vgl. Zuniga & Simmons, 1969; Rau, 1973).

Diese nichtlinearen Zusammenhänge zwischen der Kraft und dem EMG können allerdings auch dadurch zustande kommen, dass bei großer Kraftentfaltung

Hilfsmuskeln aktiviert werden, die im IEMG (=integriertes EMG: Ermittlung der mittleren Aktivität des abgeleiteten Signals durch elektronische Integration) nicht auftauchen (vgl. Noth, 1989, S. 15). Bei Le Veau & Andersson (1992, S. 70) finden sich Hinweise, nach denen Muskeln, die nahezu aus den gleichen Muskelfasern bestehen, lineare Beziehungen zwischen dem EMG und der Kraft aufweisen, während Muskeln mit einer gemischten Faserung nichtlineare Beziehungen aufweisen. Lawrence & de Luca (zit. in Le Veau & Andersson, 1992, 70) wiesen diese nichtlinearen Zusammenhänge für den M. Biceps Brachii und den M. Deltoideus nach.

Linear verhält sich die Amplitude bei dynamischen Bewegungen. Le Veau & Andersson (1992, S. 72) begründen diesen Umstand mit den Zusammenhängen zwischen der Längenspannung und der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung. Ausserdem verändert sich die relative Lage der motorischen Einheiten zu den an der Oberfläche angebrachten Elektroden.

Komi (1973) berichtet von einem Experiment an einer isokinetischen Kraftmaschine, welches der Frage nach der maximalen Spannung während Dehnungs- und Verkürzungszyklen nachging. Die EMG-Amplitude blieb sowohl bei nachlassender Spannung während der konzentrischen Aktivität, als auch bei ansteigender Spannung während der exzentrischen Phase gleich. Winter (1990, S. 209) schließt aus diesen Ergebnissen, dass die Amplitude den Zustand der Aktivität der kontraktiven Elemente belegt, dieser jedoch nicht gleich der aufgenommenen Muskelspannung sein muss.

Insgesamt gesehen formuliert Noth (1989, S. 15) als Faustformel, dass im nicht ermüdeten Muskel eine nahezu lineare Beziehung zwischen integrierter EMG-Aktivität und Muskelkraft besteht. Hartung & Haverkamp (1989, S. 51) erklären, dass die Skelettmuskulatur bei ansteigenden statischen Belastungen mit einer Amplitudenerhöhung und nicht mit einer Frequenzverschiebung reagiert. Müller (1985) und Schmidtbleicher (1987) fanden zwischen dem Anstieg der EMG-Aktivität und dem Kraftanstieg bei explosiven Kontraktionen hohe Korrelationskoeffizienten ($r=0,74$ bzw. $r=0,76$).

11.3.4.1.4 Das EMG bei schnellen Bewegungen

Cabri (1989) untersuchte unter isokinetischen Bedingungen die geschwindigkeitsabhängige Veränderung für das Kraftmoment, die maximale Amplitude sowie das integrierte EMG (IEMG) am M. Vastus Lateralis. Bei ansteigenden konzentrischen Kontraktionsgeschwindigkeiten nimmt der Quotient aus Input/Output höhere Werte an. Erklärt wird dies mit einer höheren Rekrutierung der motorischen Einheiten bei hohen Geschwindigkeiten.

Noth (1989, S. 12) erklärt, dass bei einer Beurteilung der zeitlichen Beziehung zwischen Aktionspotential und Spannungsentwicklung an Latenzverschiebungen gedacht werden muss. Diese können bei sehr schnellen Bewegungen bis zu 50 ms dauern (vgl. Le Veau & Andersson 1992, S. 117). Aus diesem Grund gibt der Zeitverlauf des EMG nicht unbedingt den Zeitverlauf der Kraft wieder. Bei schnellen

Bewegungen darf das EMG folglich nicht als Maß für die Zeitdauer der entwickelten Muskelkraft herangezogen werden. Allerdings liefert es wichtige Informationen über den Zeitablauf der Muskelaktivität. Le Veau & Andersson (1992, S. 111) erklären, dass bei ballistischen Muskelaktivitäten im EMG generell ein grosser initialer Anstieg im Onset festzustellen sei.

Indirekte Rückschlüsse beim Vollzug schneller Bewegungen (schneller neuromuskulärer Innervationsmuster) bei relativ einfachen oder elementaren Bewegungsabläufen können nach Wittekopf, Bauersfeld, Behrend & Kroppe (1991, S. 206 ff) aus der Analyse der peripher erfassten EMG-Innervationsmuster erfasst werden. Im Oberflächenelektromyogramm weisen die Zeitprogramme von Bauersfeld & Voss (1992) typische Innervationscharakteristika (Vorinnervationsphasen, steiler Aktivitätsanstieg, Reflexaktivität, Innervationshemmung, Agonisten-Antagonisten-Hemmung) auf.

Nach einem sechswöchigen körperrgewichtsentlastenden Training stellten Wittekopf et al. (1991, S. 206ff) im EMG-Muster die in Abbildung 27 dargestellten Veränderungen fest. Dabei fällt die Veränderung der relativen Dauer der Vorinnervation (VI) und die Vorverlagerung der reflexinduzierten Aktivitätsmaxima (MRI), sowie die ausgeprägte zeitliche Synchronität der Aktivitätsmaxima beider untersuchter Muskeln.

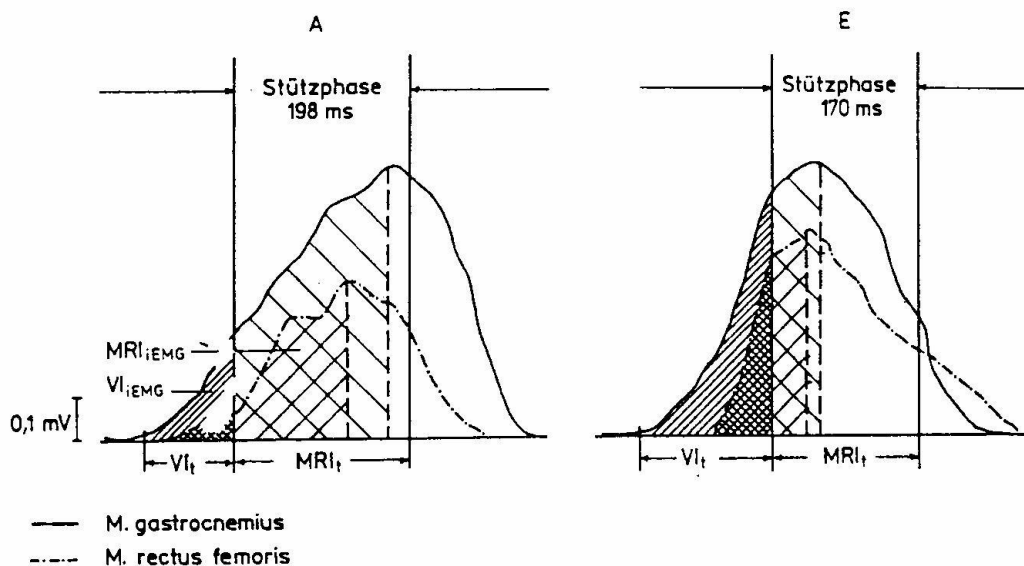


Abbildung 27: Veränderungen des M. Gastrocnemius und des M. Rectus Femoris vom Übergang aus dem langen in ein kurzes Zeitprogramm (aus: Wittekopf et al., 1991, S. 206ff)

Gerade bei der Untersuchung schneller Bewegungen müssen bestimmte Bedingungen stets erfüllt sein. LeVeau & Andersson (1992) fordern diesbezüglich bestimmte Voraussetzungen. Ein wichtiger Punkt ist hierbei die Wahl der korrekten Ableitpunkte.

11.3.4.1.5 Zur Präparation der Ableitpunkte

Von großer Bedeutung ist beim Oberflächen-EMG die Wahl der korrekten Ableitpunkte. Gollhofer & Schmidtbleicher (1989, S. 76) beschreiben, dass der Ableitort in der Regel im Bereich über der größten Muskelmasse liegt. Denn die motorischen Endplatten eines Muskels liegen meist im mittleren Drittel eines Muskels. Nach Zipp (1988) soll die Lage des Ableitmittelpunktes so gewählt sein, dass er einen geringen Abstand zur Nutzsignalquelle hat und gleichzeitig einen großen Abstand zu möglichen bioelektrischen Störquellen aufweist. In diesem Zusammenhang steht vor allem das Übersprechen einzelner Muskelgruppen, der sogenannte cross talk, zur Diskussion. Gemeint wird hier das unerwünschte Einstreuen von EMG-Signalen aus benachbarten Muskeln. Myoelektrische Signale bei einem tastbar entspannten Muskel und bei gleichzeitiger Aktivität benachbarter Muskeln gelten als Hinweis für einen solchen cross talk (vgl. Zipp, 1989, S. 71). Da ein solches Übersprechen myoelektrischer Signale praktisch nicht auszuschließen ist, wird zur Einschränkung dieser Störquelle bei bipolaren Ableitungen, wie sie in der Oberflächenelektromyographie üblich sind, ein möglichst kleiner Elektrodenabstand empfohlen.

Weitere Störquellen sind bewegungsbedingte Artefakte. Bewegungsartefakte entstehen durch mechanische Einwirkungen auf das Ableitsystem. Zu diesen gehören nach Zipp (1989) Kabelbewegungsartefakte, Elektrodenbewegungsartefakte und Hautbewegungsartefakte.

Kabelbewegungsartefakte werden durch Relativverschiebungen der Systeme des Ableitkabels hervorgerufen. Elektrodenbewegungsartefakte entstehen durch mechanische Störungen der Phasengrenzschicht zwischen Ableitmaterial und elektrolytischem Kontaktvermittler. Die Hautbewegungsartefakte sind durch mechanische Krafteinwirkungen bedingt und entstehen durch das Verschieben der Haut bei Kontraktionen (vgl. Zipp, 1989, S. 69). Aus diesem Grund formulierte Zipp (1989) bestimmte Leitregeln bei der Anwendung der Elektromyographie:

Leitregeln zur Reduzierung des Kabelbewegungsartefaktes (nach Zipp, 1989, S. 69 f.):

- a) Ableitkabel mittels eines elastischen Netzverbandes am Körper fixieren.
- b) Verringerung der Kontaktimpedanzen durch Entfernung der oberflächlichen Hautschicht.

Leitregeln zur Reduzierung der Elektroden- und Hautbewegungsartefakte:

- a) Ableitkabel elektrodennah zugentlasten und an der Beugeseite der Gelenke verlegen.
- b) Bei Beschleunigungskräften Elektroden mit kleiner Masse wählen.

Leitregeln zur Verminderung des Elektrodenbewegungsartefaktes:

- a) Das Ableitmaterial soll Silber/Silberchlorid sein.
- b) Der Kontaktvermittler soll Chlor-Ionen enthalten.

Leitregeln zur Vermeidung des Hautbewegungsartefaktes:

- a) Der Kontaktvermittler soll eine hohe Konzentration an NaCl enthalten. Zwischen Elektrodenapplikation und dem Messbeginn soll eine Wartezeit von ca. 15 Minuten liegen.
- b) Entfernung der Hornschicht der Haut und Verwendung eines hautverträglichen Kontaktvermittlers.

Gollhofer & Schmidtbleicher (1989) räumen ein, dass in 90 Prozent aller Fälle Artefakte auf einer ungenügenden Präparation der Ableitstelle beruhen. Hierbei nimmt die Hautpräparation eine exponierte Stellung ein.

In Anlehnung an die Empfehlungen von Zipp (1989), Hartung & Haverkamp (1989) und Gollhofer & Schmidtbleicher (1989) müssen bei der Vorbereitung elektromyographischer Messungen zusammenfassend die Hinweise aus Tabelle 10 beachtet werden.

Tabelle 10: Katalog zur Vorbereitung der Datenerhebung mittels der Oberflächenelektromyographie

Leitregeln und Katalog zu Präparation der Ableitpunkte:

- 1) Entfernung der Haare an den Ableitstellen sowie der umliegenden Bereiche mit einem Rasierer.
- 2) Dekornifikation der oberflächlichen Hornhautschicht durch nicht zu grobes Schmirgelpapier.
- 3) Reinigung der Haut von Fett- und Schmutzablagerung mit konzentriertem Alkohol.
- 4) Befestigung der Oberflächenelektroden und der Ableitkabel anhand anatomischer Bezugspunkte.
- 5) Überprüfung der Elektrodenapplikation und der Ableitkabel auf Störungseinflüsse durch Bewegen der Kabel und passives Bewegen der Muskel- und Hautpartien.
- 6) Überprüfung eines möglichen cross talks indem der entspannte Muskel auf Signale getestet wird.
- 7) Beginn der Datenerhebung.

Ebenfalls berücksichtigt werden müssen weitere nichtbiologische Störgrößen. Hierzu gehört das Einstrahlen von Netzbrummen im 50 Hz Bereich durch technische Wechselfelder, die von spannungsführenden Leitungen, Spulen und Transformatoren ausgehen. Bei der Parallelisierung mit anderen elektronischen Messgeräten muss demnach auf eine gute Isolation geachtet werden (vgl. Zwick & Konrad, 1994, S. 15).

11.3.4.1.6 Zur Festlegung der Ableitpunkte

Bei der Verwendung der Oberflächenelektromyographie können nur die Muskeln abgeleitet werden, die nicht von anderen Muskeln überlagert werden. Die Auswahl der Ableitpunkte in der Oberflächenelektromyographie ist in der Literatur nur unzureichend behandelt. So sind die Angaben, an welchen Stellen die Elektroden angebracht werden sollen, sehr uneinheitlich. Einige Autoren schlagen vor, die Ableitung an der Stelle vorzunehmen, an welcher die höchsten Amplituden zu erwarten sind, am sogenannten motorischen Punkt. Basmajian & De Luca (1985) andererseits erklären jedoch, dass an dieser Stelle nicht die höchsten Amplituden zu erwarten wären.

In weiteren zahlreichen Untersuchungen wurden Muskeln danach untersucht, an welcher Stelle sie den höchsten EMG-Output liefern (vgl. z. B. Zuniga et al., 1970). In keiner Arbeit wurden jedoch optimale Lokationen zur Befestigung der Elektroden identifiziert. Basmajian & De Luca (1985) geben als bevorzugte Region die Hälfte der Strecke zwischen dem Zentrum der Innervationszone und dem Sehnenansatz an.

Um die richtigen Areale zu finden orientiert man sich meist an geographischen Begebenheiten mittels markanter anatomischer Besonderheiten. In jedem Fall sollte gewährleistet sein, dass die Elektroden in Längsrichtung der Muskelfaserung positioniert werden (vgl. Zwick & Konrad 1994, S. 25). Laut SENIAM sollte der Interelektrodenabstand maximal 2 cm betragen.

In dem von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Projekt SENIAM werden Empfehlungen zur Festlegung der Ableitpunkte gegeben. Zunächst soll der Proband in eine Startposition gebracht werden, welche es erlaubt, via Palpation die optimale Stelle zur Ableitung zu tasten. Bei der Auswahl der Ableitpunkte muss gerade bei der Untersuchung von dynamischen Bewegungen auf einen stabilen Halt geachtet werden. Des Weiteren muss bei der Anordnung der Elektroden auf das eventuelle Vorhandensein von cross talks gedacht werden. SENIAM hat zu diesem Zweck die Ableitpunkte von 27 Muskeln festgelegt. Bei den dort gemachten Angaben werden stets zwei anatomische Bezugspunkte gegeben. Nun muss zwischen den beiden eine Linie gezogen werden. Auf dieser Linie werden die beiden Elektroden angebracht. Bei diesen Empfehlungen werden folgende Hinweise als wichtig herausgehoben. Zum einen sollten die Elektroden auf der Hälfte zwischen der motorischen Endplatte und dem Sehnenansatz angebracht werden. Andererseits werden die Ableitpunkte so festgelegt, dass ein möglichst maximaler Abstand zu den benachbarten Muskeln gegeben ist. In der folgenden Tabelle werden die Muskeln mit ihren unterschiedlichen Ableitpunkten, wie sie in der einschlägigen Literatur vorgeschlagen werden, dargestellt, die in der vorliegenden Arbeit abgeleitet werden sollen. In erster Linie waren dies Delagi & Perotto (1989), Soderberg (1992) und die Empfehlungen aus dem Projekt SENIAM. Die Lokalisierungsrichtlinien umfassen Angaben über den Verlauf der Muskelfasern, den Ort der grössten Muskelmasse, die Richtung der Ableitlinie

anhand anatomischer Bezugspunkte sowie die Lage der Ableitmittelpunkte relativiert auf die anthropometrischen Voraussetzungen der Versuchspersonen. In Tabelle 11 sind zunächst die Muskeln aufgeführt, die bei der Armzugbewegung eine leistungsdeterminierende Rolle spielen.

Tabelle 11: Zusammenstellung der Ableitpunkte zu den Muskeln, die bei der Armzugbewegung wirken und im Oberflächen-EMG ableitbar sind

<u>Muskeln, die bei der Armzugbewegung wirken</u>	
Muskel	Vorgeschlagene Ableitpunkte
Der Deltamuskel, M. Deltoideus (pars acromialis et spinalis)	Pars acromialis: Mittelpunkt einer Linie vom Akromion zur Oberarmmitte Pars spinalis: Zwei Fingerbreiten vom dorsalen Rand des Akromion in Richtung auf die Achselhöhle (Delagi & Perotto, 1989 S. 36f., S. 38f.). Pars acromialis: Ein Viertel der Strecke von Akromion in Richtung des laterale Epikondylus des Oberarmknochens (Soderberg, 1992, S. 27) Pars acromialis: Elektroden werden angebracht auf dem größten Muskelbauch auf einer Linie vom Akromion zum lateralen Epikondylus des Ellbogen (SENIAM).
Der breite Rückenmuskel, M. Latissimus Dorsi	Drei Fingerbreiten von der Achselfalte nach distal und nach medial (Delagi & Perotto, 1989, S. 24).
Der zweiköpfige Armmuskel, M. Biceps Brachii	Stärkste Vorwölbung des Muskels im Bereich des Oberarms (Delagi & Perotto, 1989, S. 40 f). Auf einer Linie zwischen dem Akromion und Sehnhenscheide des Biceps in der fossa cubitae (Soderberg, 1992, S. 27).

11.4 Zusammenfassung

In der empirischen Untersuchung wird die Armzugbewegung im Judo analysiert. Hierzu wurde ein Kippkörper konstruiert, der einen passiv agierenden Judoka darstellt und mit einem Längengeber versehen ist. Dieser Längengeber übermittelt Daten zum Weg-Zeit-Verlauf der Bewegung. Die Probanden wurden während der Ausführung der Zugbewegung elektromyographisch abgeleitet. Mittels des EMG versprach man sich quantifizierbare Angaben über die Zugbewegung machen zu können.

Um die Kraftabhängigkeit analysieren zu können, wurden die Versuchspersonen einer Maximalkraftmessung mit Hilfe einer Kraftmessplatte unterzogen.

12 Durchführung der Untersuchungen

Ausgehend von dem in der Arbeit vorgestellten Konzept der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster soll im empirischen Teil eine ausführliche Untersuchung der vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster im Judo bei Armzugbewegungen erfolgen.

Um den Programmcharakter der Zugbewegungen zu verifizieren, werden die Charakteristika der Zeitprogramme, wie sie von Bauersfeld & Voss (1992) beschrieben wurden, einerseits nach ihrer Gültigkeit in bezug auf die Armzugbewegung im Judo hin überprüft, andererseits sollen auch die Abhängigkeit von Kraftvoraussetzungen und das Ermüdungsverhalten analysiert werden.

Gerade bei schnellen Bewegungen wird in den Informationsverarbeitungsansätzen vermutet, dass sie nach dem „open loop“ Prinzip ablaufen. Denn aufgrund des Zeitbedarfs für die afferenten Informationsverarbeitungsprozesse sind Rückmeldungen erst nach dem Ende der Bewegungstätigkeit verfügbar. Im Verlauf der Realisierung schneller Bewegungen befindet sich der Sportler in einem „quasi-deafferentierten“ Zustand (Roth, o. J.). Also muss die Bewegung bereits vor der Initialisierung als schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster, deren Ausprägungsgrad durch die Qualität neuromuskulärer Steuer- und Regelprozesse bestimmt wird (als neuromuskuläres System werden die spinalen Nervenleitbahnen des Rückenmarks sowie die peripheren motorischen Einheiten zusammengefasst (Noth, 1994) abgebildet sein. Während der Realisierung kann nicht mehr regelnd eingegriffen werden.

Bezugnehmend auf die vorliegende Arbeit werden im Judo für die einzelnen Phasen einer wurftechnischen Bewegung die folgenden schnellen neuromuskulären Innervationsmuster vermutet:

1. Armzugmuster (AZM)
2. Armdruckmuster (ADM)
3. Platzwechsellmuster (PWM)
4. Wurfmuster (BSM)

Für die von Bauersfeld & Voss (1992) gefundenen Zeitprogramme gelten die folgenden Kriterien:

1. Sie laufen sehr schnell ab. Die Dauer liegt unterhalb der Zeitspanne, in welcher noch während der Bewegung Rückkoppelungsprozesse und damit Korrekturen möglich sind. Allgemein werden Zeiträume zwischen 200 ms und 300 ms als Grenze angesehen. Das liegt zum einen daran, dass die spinalen Feedback-Systeme eine gewisse Zeit brauchen, bis sie das Kleinhirn erreichen und zusätzlich der „Fehler“ der Bewegung erst noch erkannt werden muss.
2. Die Geschwindigkeitskurve einer schnellen Bewegung ist durch einen kurzen und steilen Anstieg gekennzeichnet. Der vertikale Verlauf ist durch eine Eingipfeligkeit (time to peak) charakterisiert. Das bedeutet, dass die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit sehr kurz ist.

3. Im EMG zeigen vor allem kurze Zeitprogramme bzw. schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster ausgeprägte Vorinnervationsphasen. Des Weiteren zeigt das Innervationsmuster einen steilen Anstieg der Hauptaktivität und eine Aktivitätskonzentration in der ersten Hälfte der Arbeitsphase der Bewegung.

Bauersfeld & Voss (1992) stellten bei ihren Untersuchungen folgende Erscheinungen bezüglich der detektierten Zeitprogramme bzw. schnellen neuromuskuläre Innervationsmuster im Nieder-Hochsprung fest.

1. Zeitprogramme (bzw. neuromuskuläre Innervationsmuster) sind kraftunabhängig.

Bauersfeld & Voss (1992, S. 33) fanden keine Korrelationen zwischen der Maximalkraft und der Stützzeit bei Nieder-Hoch-Sprüngen von Probanden mittlerer und hoher Qualifikation. Kurze Zeitprogramme (Bodenkontaktzeiten unter 170 ms) wurden auch von Probanden mit schlechteren Maximalkraftfähigkeiten realisiert. Für die Autoren waren dies Hinweise, dass Zeitprogramme unabhängig von der Maximalkraft sind. Voss (2000) spricht in diesem Zusammenhang von einer relativen Unabhängigkeit, indem er davon ausgeht, dass die Zeitprogramme durch ein Maximalkrafttraining allein nicht zu verbessern sind. Allerdings zeigen die Untersuchungen von Bauersfeld & Voss (1992) auch, dass Probanden ab einer Maximalkraft von 6000 N der Beine ausschließlich im kurzen Zeitprogramm liegen. Die Annahme der Maximalkraftunabhängigkeit von Zeitprogrammen wird unter anderem von Köstermeyer & Weineck (1999) und Richter (1996) angezweifelt. Auch bei der Durchsicht der trainingswissenschaftlichen Literatur gibt es Hinweise darauf, dass die Maximalkraft, sie wird oft als Basisfähigkeit für die Kraftfähigkeiten bezeichnet, eine limitierende Größe bei schnellen und schnellkräftigen Bewegungen darstellt.

Es herrscht in der Trainingswissenschaft weitestgehend Konsens darüber, dass bei der Schnellkraft, die bei Bewegungen gegen Widerstände oberhalb von 30 Prozent der Maximalkraft wirkt, eine Abhängigkeit von der Maximalkraft besteht. Diese ist umso größer, je höher der zu überwindende Widerstand ist.

Bei der Überwindung von mittleren Widerständen (z. B. beim Kugelstoßen) wird die Leistung durch die maximale Geschwindigkeit der Kraftentfaltung limitiert (Hohmann et al., 2002, S. 80). Bührle & Schmidtbleicher (1981) bezeichnen dies als die Explosivkraft, die nach Verchoschanskij (1977) oberhalb von 20 Prozent der isometrischen Maximalkraft mit dieser gleichgesetzt werden kann. Bei ballistischen Bewegungen gegen geringere Widerstände wird die Leistung von der initialen Kraftentfaltung limitiert, der sogenannten Startkraft (Hohmann et al., 2002, S. 80). Diese Fähigkeit wurde 1971 von Verchoschanskij erstmals diskutiert und beschreibt einen hohen Kraftanstieg in der Anfangsphase der Muskelspannung. Bührle (1985) bezieht dies auf die ersten 30 ms des Kontraktionsvorganges.

Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 225) setzen bei schnellkräftigen Bewegungen eine 200 ms-Grenze. Schnellkraftleistungen, die unterhalb dieser Grenze liegen,

werden über die Ausprägung der Explosiv- und Startkraft bestimmt, während bei einer Dauer von über 200 ms bis 250 ms die Schnellkraftleistung von der Maximalkraft abhängt.

Dabei wird die Schnellkraft als die Fähigkeit verstanden, einen möglichst hohen Impuls in möglichst kurzer Zeit zu entfalten (vgl. Hohmann et al., 2001, S. 80). Die Maximalkraft stellt den höchsten realisierten Kraftwert dar, der bei maximaler Willkürkontraktion gegen einen unüberwindlichen Widerstand erreicht wird (Schmidtbleicher, 1992, S. 302).

Die Aussagen zum Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Schnellkraft müssen weiter differenziert werden. Denn je höher der zu überwindende Widerstand ist und je länger die Bewegung dauert, desto größer ist der Einfluss der Maximalkraft auf das Schnellkraftniveau (vgl. u.a. Hartmann & Tünnemann, 1993, S. 71; Schmidtbleicher, 1994).

Bei der Armzugbewegung, der Armdruckbewegung und der Beinstreckbewegung bzw. Körperlängsachsrotation im Judo wird gegen hohe Widerstände gearbeitet, da neben dem Widerstand des Gegners auch zum Teil dessen Körpergewicht überwunden werden muss. Es kann vermutet werden, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der Ausprägung der oben genannten Schnellkraftfähigkeiten Explosivkraft und Startkraft und der Gesamtdauer der Bewegung gegeben ist.

2. Zeitprogramme (bzw. neuromuskuläre Innervationsmuster) sind übertragbar

Nach Bauersfeld & Voss (1992) werden strukturähnliche Bewegungen auf der Grundlage der gleichen Zeitprogramme gesteuert. Es wird davon ausgegangen, dass das ZNS den Handlungsantrieb und die Strategie zur Realisierung der Bewegung entwickelt. Illert (1993, S. 114) beschreibt hierzu das Programm bzw. Innervationsmuster als neurale Repräsentation der geplanten Bewegung. Die Abfolge der neuronalen Signale spezifizieren die effektorischen Systeme, die zeitliche Sequenz und die Stärke der Aktivierung. Die spezifizierten Muskelgruppen werden schließlich durch die Neuronensysteme aktiviert, welche die Kontraktion und die Erschlaffung koordinieren.

Als theoretische Grundlage für die Übertragbarkeit dient die Vermutung, dass Bewegungen nicht in Form von großen komplizierten Innervationsmustern für alle gesteuerten Bewegungen abgebildet sind, sondern als elementare Innervationsmuster. Diese werden im Bedarfsfall durch übergeordnete Steuer- und Regelmechanismen abgerufen und sind für eine Vielzahl komplexer Bewegungen nutzbar – und somit übertragbar (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992).

In elektromyographischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass das typische zeitliche Innervationsmuster in der individuell vorhandenen Qualität bei unterschiedlichen Übungen, die jedoch ähnliche Strukturen aufweisen, immer wieder auftrat (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 28ff). Aus diesen Befunden

schließen die Autoren auf die Übertragbarkeit von Zeitprogrammen bei strukturähnlichen Bewegungen.

Aber der Nachweis der Übertragbarkeit über das gleiche Innervationsmuster lässt noch keine Rückschlüsse zu. Es lässt sich nur feststellen, dass es Innervationsmuster für unterschiedliche Bewegungen gibt, die sich in ihrer zeitlichen Struktur ähneln.

Für die im Judo vermuteten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster bedeutet dies, dass ein einmal erworbenes schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster bei unterschiedlichen wurftechnischen Bewegungen, die eine ähnliche Struktur aufweisen (z. B. alle Hüfttechniken), wirksam wäre.

3. Zeitprogramme (bzw. neuromuskuläre Innervationsmuster) weisen eine hohe Stabilität auf

Einmal ausgebildete Zeitprogramme weisen eine hohe Stabilität und Ermüdungswiderstandsfähigkeit auf. Selbst nach hohen Wiederholungszahlen wird das individuelle Zeitprogramm in seiner zeitlichen Struktur nicht verlassen. Bauersfeld & Voss (1992) fanden selbst bei hohen Wiederholungszahlen (300 Nieder-Hoch-Sprünge), dass Personen im kurzen Zeitprogramm dieses nicht verließen. Auch die Probanden im langen Programm verließen ihre qualitative Struktur, beschrieben durch die Stützdauer, nicht.

Bei den zu dieser Thematik untersuchten Probanden blieb der Leistungsabfall bei den gemessenen Bodenkontaktzeiten von Versuchspersonen mit einem kurzen Zeitprogramm im Bereich von 20 Prozent. Bei den Probanden im langen Zeitprogramm bei rund 19 Prozent (vgl. Bauersfeld & Voss, 1992, S. 36).

Richter (1996) untersuchte 52 Erstklässler und 64 Fünftklässler. Diese mussten Nieder-Hoch-Sprünge absolvieren. Dabei zeigten sich im Vergleich der Bodenkontaktzeiten des linken und des rechten Fußes erhebliche Unterschiede. Diese betragen im Schnitt 27,1 ms. Weineck & Köstermeyer (1998, S. 23) werten diese Ergebnisse, dass in diesem Fall nicht davon gesprochen werden kann, dass ein stabiles azyklisches Zeitprogramm existiert.

Mit Ausnahme der Übertragbarkeit soll die Kraftunabhängigkeit, ein Begriff, der im weiteren Verlauf der Arbeit noch operationalisiert werden wird, und die Stabilität der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster bei hohen Wiederholungszahlen in der empirischen Untersuchung überprüft werden. Doch bevor die empirischen Ergebnisse präsentiert werden, sollen die Gütekriterien einer wissenschaftlichen Arbeit vorgestellt werden und in Bezug zur vorliegenden Arbeit gesetzt werden.

12.1 Die Gütekriterien

Damit eine wissenschaftliche Untersuchung auch verlässliche Ergebnisse liefert, müssen gewisse Gütekriterien berücksichtigt werden.

12.1.1 Die Objektivität

Um die Objektivität zu bewahren, müssen die Testgeräte und die Rahmenbedingungen konstant gehalten werden. Auch soll der Einfluss des Testleiters ausgeschlossen werden.

Das Testgerät ist im Biomechanik-Labor des Instituts für Sportwissenschaft an der Universität Tübingen fest installiert. Die Holzkonstruktion wirkt als Kippkörper und ist über Scharniere fest mit einer Bodenplatte verbunden. Der Kippkörper selbst wird zusätzlich mit Gummiseilen, die an der Decke eingehakt sind, fixiert.

Durch das genaue Vorschreiben der Fuß- und Armstellung werden die äußeren Rahmenbedingungen für jeden Probanden konstant gehalten. Die Anweisung zur Bewegungsdurchführung durch den Versuchsleiter ist festgelegt: „Ziehe so schnell wie Du kannst!“ Aufgrund der festen Installation und der standardisierten Arbeitsschritte ist das Gütekriterium Objektivität gegeben.

12.1.2 Die Reliabilität

Unter der Reliabilität wird der Grad der Genauigkeit verstanden, mit welcher ein Test bei gegebener Objektivität die zu messenden Merkmale erfasst. Das bedeutet, dass bei wiederholten Testungen derselben Person unter völlig gleichen Bedingungen die Ergebnisse reproduzierbar sind. Die Bestimmung der Reliabilität ist immer nur in Annäherungen möglich, da „völlig vergleichbare, aber voneinander unabhängige Testungen in der Praxis nicht durchführbar sind.“ (Amelang & Bartussek, 1996, S. 130).

Eine Möglichkeit zur Sicherung der Reliabilität ist die Test-Retest-Methode. Hier wird die Testaufgabe den Probanden zweimal vorgegeben. Je geringer die Testabweichungen zwischen dem ersten und dem zweiten Test sind, desto ähnlicher sind die beiden Messwertreihen. Probleme ergeben sich allerdings aus dieser Methode, dass gewisse Lern-, Übungs-, Gewöhnungseffekte eintreten können.

Die Test-Retest-Methode wurde auch in der vorliegenden Untersuchung angewandt. Aus diesen Voruntersuchungen ergab sich, dass das vorliegende Design eine ausreichend hohe Reliabilität aufweist.

12.1.3 Die Validität

Bei jeder wissenschaftlichen Untersuchung ist es unerlässlich zu wissen, was man gerade misst und welche Schlüsse aufgrund der Testergebnisse gezogen werden können. Dabei beschreibt die Validität, oder auch Gültigkeit, den Grad der Genauigkeit mit dem ein Test auch tatsächlich die Merkmale erfasst, für die er entwickelt wurde. Hierzu werden verschiedene Validitätsarten unterschieden.

Die Inhaltsvalidität bezieht sich darauf, dass die gestellte Bewegungsaufgabe die zu erfassende Bewegungsaufgabe auch tatsächlich abbildet. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Messapparat nach dem Vorbild eines passiv agierenden

Judogegners konstruiert. Dabei werden die Größenmerkmale jeweils an die einzelnen Probanden angepasst und auf diese Weise standardisiert. Der Haltepunkt, von welchem der Proband ziehen muss, wird auf die Schulterhöhe der Versuchsperson eingestellt. Durch den konstruierten Kippkörper wird außerdem die Trägheit, aus welcher heraus der Gegner in eine labile Gleichgewichtslage gebracht werden muss, simuliert.

In den Voruntersuchungen wurden die Probanden nach der Äquivalenz des Zugapparates zu einem eigentlichen Gegner befragt. Die Probanden stellten eine große Ähnlichkeit zur eigentlichen Zugbewegung gegen einen passiv agierenden Judogegner fest.

Die konkurrente und prädiktive Validität fordern, dass der Test mit den Kriterien, die er diagnostiziert oder vorhersagen will, genügend hoch korreliert (Amelang & Bartussek, 1996, S. 143). Dies setzt voraus, dass das Kriterium selbst valide ist und damit eindeutig erfasst und definiert werden kann. Bei der zu untersuchenden Armzugbewegung ist das der Fall. Der schnelle Armzug dient dem Gleichgewichtbrechen durch das Heranziehen des Gegners. Und dieser Armzug kann am Armzugerät hinreichend genau simuliert werden.

Die Konstruktvalidität schließlich beschreibt das Ziel der theoretischen und empirischen Rechtfertigung. Hier soll gewährleistet werden, dass von den Testergebnissen auf das interessierende Konstrukt geschlossen werden kann. Die Konstruktvalidität ist ebenfalls durch den Untersuchungsaufbau hinreichend gesichert.

12.2 Beschreibung der Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 27 Versuchspersonen teil. Aufgrund der spezifischen Fragestellungen schieden Freizeitjudoka als Versuchsteilnehmer aus. Auch waren Frauen nicht in die Messungen miteinbezogen, da die Frage nach der Geschlechtsspezifität nicht Gegenstand der Untersuchung war. Dieses Konstrukt hätte durchaus einen Einfluss auf die Ergebnisse haben können.

Die Tabelle 12 zeigt einen Überblick über die Versuchspersonen.

Tabelle 12: Die Versuchspersonen

Probandennummer	Leistungs-Niveau	Gewichts-Klasse	Alter	Trainingsalter	Trainingseinheiten pro Woche
n = 27			Median = 22,5	Median = 12,88	Median = 3,62
1	2	1	20	12	4
2	3	2	27	18	3
3	2	3	26	18	3
4	2	1	18	8	3

5	6	1	17	6	3
6	1	3	21	15	6
7	3	2	19	11	4
8	3	4	28	8	3
9	3	3	20	8	3
10	4	1	23	10	3
11	2	2	18	8	4
12	2	1	22	15	2
13	2	3	20	12	3
14	6	1	40	30	2
15	5	1	26	15	4
16	4	3	20	10	3
17	1	3	23	9	12
18	2	3	21	11	3
19	3	4	26	12	3
20	3	3	20	12	3
21	3	2	20	9	3
22	5	3	17	9	4
23	2	2	17	11	4
24	3	2	28	20	3
25	4	1	23	16	3
26	1	1	18	12	4
27	6	1	30	18	2

Als eine Trainingseinheit gelten Einheiten von 90 Minuten. Das Trainingsalter bezeichnet den Zeitraum, wie lange die Versuchspersonen bereits Judo betreiben.

Bezüglich der Unterscheidung des Leistungsniveaus sowie der Gewichtsklassenzugehörigkeit wurden folgende Schlüssel verwendet. Diese Schlüssel wurden bei den Gruppenvergleichen verwendet.

Tabelle 13: Der Leistungs- und Gewichtsklassenschlüssel.

Leistungsniveauschlüssel		Gewichtsklassenschlüssel	
1	1. Bundesliga	1	bis 66
2	2. Bundesliga	2	bis 73
3	Regionalliga	3	bis 81
4	Verbandsliga	4	bis 90
5	Landesliga		
6	Bezirksliga		

12.3 Aufbau und Gang der Untersuchungen

Im folgenden Teil wird der Aufbau der Untersuchungen dargestellt. Daneben wird aufgezeigt, welche Hypothesen die einzelnen Schritte der Messungen verifizieren bzw. falsifizieren sollen.

1. Datenstammbblatt ausfüllen.

Das Datenstammbblatt liefert deskriptive Daten zu den einzelnen Probanden. Das Original ist dem Anhang A beigelegt.

2. Hautpräparation.

Um verlässliche Ergebnisse in den Messungen mit der Elektromyographie zu erhalten, müssen standardisierte Arbeitsschritte eingehalten werden. Genauere Ausführungen finden sich im Kapitel zur Elektromyographie in der vorliegenden Arbeit. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Haut der Probanden wie folgt auf die EMG-Messungen vorbereitet.

1. Entfernen der Haare an den Kontaktstellen mittels eines Rasierers.
2. Dekornifikation der oberflächlichen Hornhautschicht mit speziellem Schmirgelpaper.
3. Reinigung der Haut an den Kontaktstellen von Fett- und Schmutzablagerungen mit Waschbenzin.
4. Anlegen der Elektroden an den Kontaktstellen (M. Biceps Brachii, M. Latissimus Dorsi) und Anlegen der Referenzelektrode am Ellbogen.
5. Zugentlastung der Ableitkabel.
6. Überprüfung der Ableitkabel auf Störungseinflüsse.

3. Einstellen des Zugapparates auf die Erfordernisse des Probanden.

Der Zugapparat stellt das Gerät dar, welches einen Gegner im Judo simulieren soll. Die Trägheit des menschlichen Körpers wurde dadurch nachgestellt, dass der Zugapparat einen Kippkörper darstellt. Es muss also erst eine gewisse Kraft aufgebaut werden, bevor das labile Gleichgewicht erreicht ist und der simulierte Gegner der zweiten Wurfphase zugeführt werden kann.

Folgende Kriterien zur Standardisierung werden hierzu gewählt:

Griffe: auf Höhe der Schulter des Probanden.

Gewicht: Einstellen des Gewichtes des Zugapparates mittels Hantelscheiben auf die Gewichtsklasse des Probanden.

Die Gewichtsklassen wurden wie folgt differenziert: bis 60 Kilogramm, bis 66 Kilogramm, bis 73 Kilogramm, bis 81 Kilogramm, bis 90 Kilogramm.

Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Linkskämpfer mit dem linken Bein vorn steht und seinen linken Fuß auf die eingezeichnete dafür vorgesehene Stelle stellt. Als Zuggriff dient dabei der rechte Griff des Zugapparates. Bei einem Rechtskämpfer werden die Seiten entsprechend gewechselt.

Am Zugapparat selbst ist ein Längengeber befestigt, der mit einem Rechner und der Messsoftware DIADEM verbunden ist. Mit dem Längengeber werden die

Bewegungszeiten gemessen. Über die erste und zweite mathematische Ableitung können damit zusätzlich die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Armzugbewegung ermittelt werden.

4. Ermittlung der isometrischen Maximalkraft des Zugarms mittels einer Kraftmessdose.

Da ein Teil der Untersuchung sich mit den von Bauersfeld & Voss (1992) aufgestellten Phänomenen zu den von ihnen beschriebenen Zeitprogrammen beschäftigt, soll die postulierte Kraftunabhängigkeit eruiert werden.

Aus diesem Grund wurde die Maximalkraft über einarmiges Ziehen in Bauchlage von einem Kasten gegen eine Kraftmessdose gemessen. Über die Auswertung dieser Daten wurden außerdem der Explosiv- und der Startkraftquotient ermittelt.

5. Ausführen von fünf schnellen Zugbewegungen

Die Probanden sollten zunächst Zugbewegungen zur Probe durchführen, um sich an das Gerät zu gewöhnen. Diese geschehen zunächst in einer selbstgewählten Geschwindigkeit, damit auch ein Aufwärmeeffekt erzielt wird.

Vor der eigentlichen Messung sollen maximal fünf schnelle Zugbewegungen durchgeführt werden. Nach einer Pause von drei Minuten findet die Untersuchung statt. Die Pause muss hinreichend lang sein, damit die Zugbewegungen mit maximaler Intensität und Geschwindigkeit durchgeführt werden können.

Dazu müssen die biologischen Bedingungen berücksichtigt werden. Im Allgemeinen wird im Training der Schnellkraft eine Pausenlänge von mehr als drei Minuten angegeben. In diesem Zeitraum haben sich sowohl die Neurotransmitter als auch in jedem Falle die ATP-Speicher wieder aufgefüllt (vgl. z. B. Zatsiorskij, 1996, S. 233 ff).

Im experimentellen Teil sollten die Versuchspersonen fünf Zugbewegungen durchführen. Dabei musste darauf geachtet werden, eine möglichst hohe Anfangsgeschwindigkeit zu erzielen. Die Pausen zwischen den Bewegungen dauerten drei Minuten.

12.3.1 Voruntersuchungen

Um die Zuverlässigkeit des Zugapparates zu testen, wurden an vier Probanden erste Voruntersuchungen durchgeführt. Primäres Ziel dieser Untersuchungen war es, etwaige Fehler im Set-Up des Aufbaus zu detektieren und festzustellen, dass eine Nachmessung bei gleich bleibenden Bedingungen dieselben Ergebnisse bringt wie der Ausgangstest. Denn die Reliabilität selbst wird beschrieben als die Stabilität der Variablenwerte im Zeitablauf bei konstanten Umgebungsbedingungen (vgl. Schaich, 1990, S. 7).

Die Voruntersuchungen lagen in einem Zeitabschnitt von einer Woche. Die Probanden hatten die Aufgabe, fünf schnelle Zugbewegungen unter standardisierten Bedingungen durchzuführen. Zur Standardisierung gehörten unter

anderem die Festlegung des Zugwiderstandes, sowie der an die Körpergröße der Versuchspersonen angepasste Aufbau des Zugapparates. Nach einer Woche wurden die Tests unter den gleichen Bedingungen wiederholt.

12.3.2 Datenauswertung

Der mit einem Längengeber ausgestattete Zugapparat lieferte seine Daten an die Messsoftware DIADEM. Nachdem die Daten mit nichtparametrischen Splines einer ersten Glättung unterzogen wurden, konnten die ersten beiden Ableitungen ermittelt werden. Die erste Ableitung lieferte die Geschwindigkeit der Bewegungen, während die zweite Ableitung die Beschleunigung festhielt. Nach einer weiteren Mittelwertglättung wurden folgende Parameter gemessen.

1. Dauer der Bewegung (t): Hier sollte die genaue Dauer der Zugbewegung ermittelt werden.
2. Dauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (t bis v max): Zeitdauer, bis die maximale Geschwindigkeit erreicht wird.

12.3.3 Ergebnisse der Voruntersuchung

Hinsichtlich der Dauer der Bewegung wurden folgende Werte ermittelt.

Tabelle 14: Vergleich der Mittelwerte zur Dauer der Zugbewegung.

Vergleich der Mittelwerte bei der Dauer der Bewegung			
	Erste Messung [sec]	Zweite Messung [sec]	Differenz
Proband 1	0,28	0,28	0
Proband 2	0,3	0,28	-0,02
Proband 3	0,27	0,26	-0,01
Proband 4	0,27	0,27	0

Zwischen beiden Tests wurden bei den Probanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Dauer der Zugbewegung gefunden. Lediglich Proband vier verbesserte sich bei der zweiten Messreihe um 0,004 Sekunden. Allerdings muss hierbei an einen Gewöhnungseffekt gedacht werden, da der Proband sich selbst dazu äußerte, während der zweiten Testreihe „besser gezogen“ zu haben.

Der Test-Retest-Reliabilitätskoeffizient liegt bei 0.74. Damit besteht ein hoher Zusammenhang zwischen den beiden gemessenen Werten. Es kann daher von einer hohen Reliabilität des Untersuchungsaufbaus ausgegangen werden.

Die eruierten Unterschiede sind gering und beruhen voraussichtlich primär auf Gewöhnungseffekten. Um diese Gewöhnungseffekte auszuschalten, wurde beschlossen, die Probanden an der Hauptuntersuchung einige Male zur Probe ziehen zu lassen, um sie an die Gegebenheiten des Zugapparates zu gewöhnen.

12.4 Analysen zur Dauer der Gesamtbewegung

12.4.1 Ziel der Untersuchung und Eingangshypothese

Der schnellkräftige Armzug dient der Einleitung einer Wurfbewegung, indem das Gleichgewicht des Partners gebrochen wird und eine labile Gleichgewichtssituation geschaffen wird, die im weiteren Verlauf der Wurfbewegung von der zweiten Phase, dem Platzwechsel, genutzt wird. Primäres Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, zu untersuchen, ob es sich bei den im Judo vorliegenden Armzugbewegungen um schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster im Sinne von Bauersfeld & Voss (1992) handelt, welche die dazu spezifischen Charakteristika aufweisen.

Von einem schnellen neuromuskulären Innervationsmuster bzw. einer Steuerung der Bewegung wird nach der aktuellen Forschungslage dann ausgegangen, wenn die Gesamtdauer der Bewegung Feedback-Informationen nicht zulässt. Nach dem aktuellen Stand liegt diese Grenze bei ca. 200 bis 300 ms.

Diese Annahme basiert auf den Forschungsarbeiten von Keele & Posner (1968). Sie stellten fest, dass bei manuellen Zielbewegungen im Dunkeln gegenüber normalen Bedingungen nur für die kürzeste Zeit (in jener Arbeit bei 190 ms) keine Abnahme der Genauigkeit eintritt. Sie schlossen aus diesen Ergebnissen, dass die Mindestzeit für die Verarbeitung zumindest visueller Rückmeldungen zwischen 190 und 260 ms liegt.

Zwar gilt, dass Reaktionen auf innere Reize durch Reflexmechanismen schneller erfolgen können, nach 100 bis 150 ms (vgl. Heuer, 1978), doch gehören diese zum Innervationsmuster dazu, wie Schmidtbleicher & Gollhofer (1982) behaupten.

Publikationen von Young & Schmidt (1991), sowie Schneider & Schmidt (1995) zeigen auf, dass Bewegungen bzw. Teilbewegungen noch um ca. 500 ms ohne Feedback-Prozesse ablaufen. Der Fehler in einer Bewegung muss erst als solcher erkannt werden. Und dieser Fehlererkennungsmechanismus benötigt ebenfalls eine gewisse Zeit.

Sollten sich die Zeiten der Zugbewegungen im Bereich zwischen 200 und 300 ms befinden, so kann ein schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster angenommen werden. Potential liegt bei diesen Betrachtungen noch in der qualitativen Bewertung. Und zwar kann man nun Unterscheidungen vornehmen, ob es sich um ein kurzes oder um ein langes neuromuskuläres Innervationsmuster (analog dem kurzen und langen Zeitprogramm bei Bauersfeld & Voss (1992)) handelt, ob der Sportler zu langsam ist oder über eine ausreichende, perspektivische Schnelligkeit verfügt.

Bei Bauersfeld & Voss (1992) liegt diese Grenze bei 170 ms. Sprungbewegungen mit einer Bodenkontaktzeit unter dieser Grenze werden als kurze Zeitprogramme, Sprünge oberhalb dieser Grenze als lange Zeitprogramme bezeichnet. Kenntnisse

darüber können in der Praxis schließlich zur leistungsdiagnostischen Beurteilung von Athleten verwendet werden.

Bei der Armzugbewegung im Judo ist es wichtig, möglichst früh die maximale Geschwindigkeit zu erreichen, auch um einen gewissen Überraschungseffekt zu erzeugen. Die Frage ist also, ob die Geschwindigkeit kontinuierlich gesteigert wird, um dann eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit zu erhalten, oder ob schon zu Beginn der Bewegung möglichst früh die maximale Geschwindigkeit erreicht wird. Bei schnellen neuromuskulären Innervationsmustern wird davon ausgegangen, dass die Geschwindigkeitskurve durch einen kurzen und steilen Anstieg gekennzeichnet ist. Der vertikale Verlauf ist durch eine Eingipfeligkeit charakterisiert. Das bedeutet, dass die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit sehr kurz ist.

Es ist folglich anzunehmen, dass die Dauer der Gesamtbewegung mit der Zeit bis zum Erreichen der Höchstgeschwindigkeit positiv korreliert. Denn aufgrund der kurzen Bewegungszeiten bleibt dem Sportler nicht genug Zeit, kontinuierlich die maximale Geschwindigkeit zu erreichen. Es wird in diesem Zusammenhang keine Geschwindigkeitsmaximierung, sondern eine Zeitminimierung (vgl. Göhner, 1992, S. 44) angestrebt. Aus diesem Grund wird die folgende Hypothese formuliert.

Hypothese 1: Je kürzer die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit, desto kürzer die Dauer der Gesamtbewegung.

Daraus ergibt sich

H_0 = Es gibt keine hohe positive Korrelation zwischen der Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit und der Dauer der Gesamtbewegung.

H_1 = Es gibt eine hohe positive Korrelation zwischen der Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit und der Dauer der Gesamtbewegung.

12.4.2 Durchführung

Zunächst wurde den Probanden der Zugapparat vorgestellt. Nach einigen Probeversuchen und einer angemessenen Pause von zwei Minuten, damit eine Erschöpfung der energiereichen Phosphate und der Neurotransmitter ausgeschlossen werden konnte (vgl. Hohmann et al., 2002, S. 51ff, S. 87ff), sollten die Probanden „maximal schnell“ mit der linken Hand am Zugapparat ziehen. Jeder Proband musste fünfmal ziehen.

Über eine Analyse der Daten durch den Längengeber mit der Mess-Software DIADEM wurde die Gesamtdauer der Zugbewegung sowie die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit errechnet.

12.4.3 Zur Datenanalyse mit der Mess-Software DIADEM

Die über den Längengeber erhaltenen Daten wurden in einer Weg-Zeit-Kurve ausgewertet. Diese Kurve wurde mit Nichtparametrische Splines geglättet. Dieses Glättungsverfahren ergab nach eigens zu dieser Thematik durchgeführten Voruntersuchungen die genauesten Daten.

Bei diesen Testmessungen wurde ein Gewicht am Längengeber angebracht und gegen die Schwerkraft mehrmals nach unten fallen gelassen. Nun wurden die erhaltenen Werte (t bis zum v_0 ; bei v_0 war der Boden erreicht) durch verschiedene Verfahren geglättet. Das Glättungsverfahren, welches den geringsten Datenverlust ergab, wurde schließlich für die Analyse der Daten der Hauptuntersuchungen favorisiert. Es handelte sich hierbei um die nichtparametrischen Splines.

Aus der ersten Ableitung der jeweiligen Weg-Zeit-Kurve des Zugversuches wurde schließlich die Geschwindigkeit der Zugbewegung ermittelt. Der Beginn und das Ende der Zugbewegung wurden über die Ableitung aus der Weg-Zeit-Kurve ermittelt. Hierdurch wurde für jeden Versuch der Probanden die Gesamtdauer der Zugbewegung, sowie die Zeit bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit ermittelt.

12.4.4 Ergebnisse

Es wurden insgesamt 135 Zugversuche zu dieser Fragestellung ausgewertet. Im Sinne der spezifischen Fragestellung wurde trotz der zu erwartenden geringen Reliabilität jeweils der Bestversuch in bezug zur Gesamtdauer der Zugbewegung zur Datenanalyse herangezogen (vgl. Schmidtbleicher, 1980, S. 52). Die folgende Tabelle zeigt die diesbezüglichen Ergebnisse. Den kürzesten Zugversuch absolvierte Proband 17 mit einer Dauer von 89 ms. Den langsamsten der Proband 8 mit einer Dauer von 626 ms. Die kürzeste Dauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit weisen die Probanden 7 und 4 auf.

Tabelle 15: Übersicht über die Gesamtdauer der Zugbewegung und der Dauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit. Jeweils bester Versuch pro Proband

Proband	Bester Zugversuch t ges [s]	Bester Zugversuch t bis vmax [s]
17	0,089	0,006
14	0,091	0,005
27	0,091	0,005
23	0,092	0,005
7	0,093	0,005
21	0,093	0,005
26	0,093	0,004
18	0,095	0,004
10	0,100	0,006
20	0,100	0,006
4	0,102	0,003
12	0,102	0,003
5	0,103	0,006
11	0,104	0,004
2	0,106	0,004
9	0,107	0,006
24	0,110	0,007
22	0,114	0,006
19	0,120	0,005
3	0,149	0,006
16	0,182	0,011
6	0,190	0,009
15	0,454	0,032
13	0,502	0,021
1	0,564	0,028
25	0,580	0,026
8	0,626	0,024

Zehn Probanden blieben bei ihrem besten Zugversuch im Bereich zwischen 100 ms und darunter. Zwölf Probanden bewegten sich im Zeitraum zwischen 100 ms und 200 ms. Fünf Probanden blieben darüber. Die Mittelwerte, sowie die Standardabweichungen werden in der folgenden Tabelle dargestellt. Darüber hinaus wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen für die drei unterschiedlichen Gruppen, die sich aus der Betrachtung der Gesamtdauer der Zugbewegung ergaben, differenziert aufgelistet.

Bei der Betrachtung der Zeiten ist auffällig, dass sich fünf Probanden, die über einer Zeitdauer von 200 ms bleiben, mit extrem hohen Werten darstellen, d. h. als

Ausreißer gewertet werden können. Bei der Analyse der Ausreißer-Werte wurden folgende Ergebnisse gefunden:

Tabelle 16: Übersicht über die Extremwerte bei der Betrachtung der Gesamtdauer der Zugbewegung und der Zeitdauer bis zum Erreichen von v_{max}

			Fallnummer	Wert
BESTER ZUGVERSUCH	Größte Werte	1	27	,626
		2	26	,580
		3	25	,564
		4	24	,502
		5	23	,454
	Kleinste Werte	1	1	,089
		2	2	,091
		3	3	,091
		4	4	,092
		5	6	,

a Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 0 wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.

Als Ausreißer werden die Fälle gewertet, die über dem 75-Perzentil liegen. Somit können aus der Tabelle 16 die Fallnummern 23 bis 27 als Ausreißer gewertet werden und werden daher in der weiteren Untersuchung nicht mehr berücksichtigt. Die fünf fehlenden Werte werden mit den entsprechenden Mittelwerten ersetzt.

Tabelle 17: Überblick über die Extremwerte, Mittelwerte und die Standardabweichungen der besten Zugversuche aller Probanden

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
Bester Zugversuch	27	,089	,190	,11027	,024990	,001
Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit	27	,003	,011	,00550	,001635	,000
Gültige Werte (Listenweise)	27					

12.4.5 Prüfstatistik

Um die Hypothese 1 zu überprüfen wurden Korrelations- und Regressionsanalysen durchgeführt. Der Korrelationskoeffizient für Hypothese 1 beträgt $r = 0,76$.

Der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson liegt stets zwischen 1 und -1. Bei dem vorliegenden Wert von (gerundet) $r = 0,76$ kann von hohem positiven Zusammenhang gesprochen werden, denn bei Werten zwischen $0,7 < r < 1,0$ wird von einem hohen Zusammenhang gesprochen (vgl. Willimczik, 1999, S. 75).

Die Regressionsstatistik sieht wie folgt aus. Aus den Daten ist ersichtlich, dass es eine beinahe lineare funktionale Beziehung zwischen der Dauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit und der Dauer der Gesamtbewegung gibt.

Tabelle 18: Regressionsstatistik zur ersten Hypothese

		Bester Zugversuch	Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit
Bester Zugversuch	Korrelation nach Pearson	1	,767
	Signifikanz (2-seitig)	,	,000
	N	27	27
Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit	Korrelation nach Pearson	,767	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,
	N	27	27

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Abbildung 28 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den beiden untersuchten Parametern.

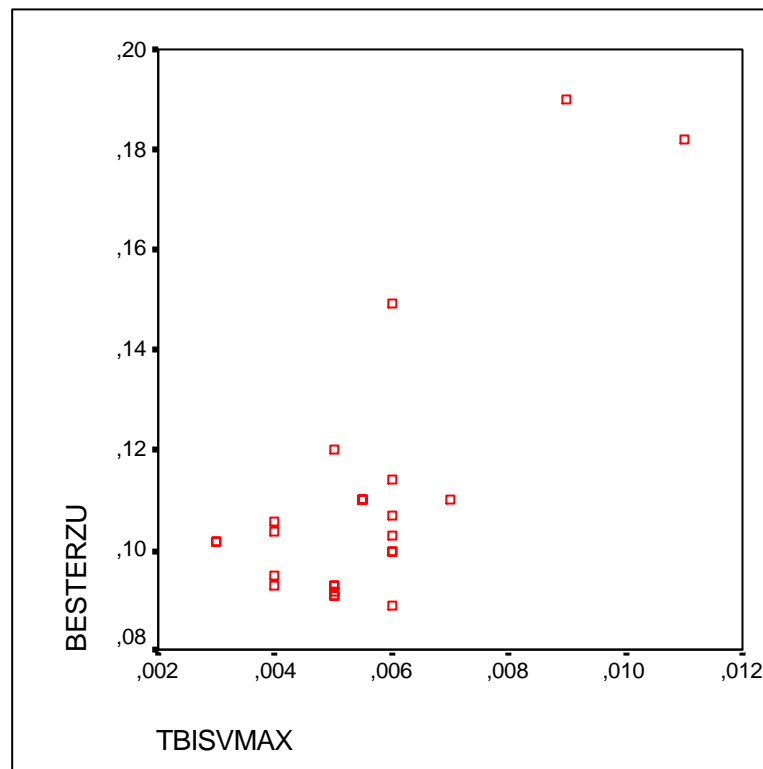


Abbildung 28: Der Zusammenhang zwischen der Dauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit und der Dauer der Zugbewegung

Aufgrund des hohen Korrelationskoeffizienten zwischen der Dauer bis zum Erreichen der Maximalgeschwindigkeit und der Dauer der Zugbewegung kann Hypothese 1 bestätigt werden.

12.4.6 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen den beiden untersuchten Parametern. Das Ziel eines Judoka muss bei der Zugbewegung daher sein, möglichst früh die maximale Geschwindigkeit zu erreichen. Wenn die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit den Wert von 60 bis 70 ms nicht überschreitet, so scheinen gute Voraussetzungen gegeben zu sein, eine kurze Dauer der Zugbewegung zu erzielen.

Bezüglich der qualitativen Bewertung können bei den vorliegenden Messungen drei Gruppen differenziert werden. Die Beste blieb im Bereich unter 100 ms, die zweite bleibt im Bereich zwischen 100 und 200 ms, während die dritte Gruppe stark abfällt. Dabei fällt auf, dass 22 der 27 Probanden unter der Grenze von 200 ms liegen. Demnach liegt bei diesen Probanden, legt man den aktuellen Stand der Forschungen zu Grunde, ein schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster,

welches ohne Feedback-Prozesse abläuft, vor. Denn bei einer Dauer von unter 200 ms können keine Feedback-Prozesse mehr greifen.

Es bleibt die Frage nach den fünf Ausreißern, die aufgrund der extremen Werte nicht weiter berücksichtigt wurden. Bei der genauen Betrachtung dieser vier Probanden können hierzu mögliche Erklärungen gefunden werden. Drei von ihnen haben vor der Untersuchung, wegen Verletzungen und privater Verpflichtungen längere Zeit mit dem Training pausiert. Das bedeutet, dass ihnen die Zugbewegung aufgrund mangelnder Praxis schwer gefallen ist. Eine weitere Conclusio könnte jedoch auch sein, dass bei diesen Probanden in der Entwicklung der Schnelligkeit noch erhebliches Potential vorliegt.

Allerdings zeigt sich, dass auch eine regressionsanalytische Betrachtung der Daten ohne die „Ausreißer“ einen hohen positiven Zusammenhang zwischen den beiden Größen ergibt und die Hypothese 1 zutrifft.

Für eine leistungsdiagnostische Betrachtung der Dauer der Zugbewegung im Judo kann festgestellt werden, dass gute prognostische Leistungen im Bereich von 100 ms liegen. In Anlehnung an Bauersfeld & Voss (1992) kann dieser Wert als Grenze zwischen kurzen und langen neuromuskulären Innervationsmustern verwendet werden. Demnach sind kurze neuromuskuläre Innervationsmuster durch eine Dauer von unter 100 ms gekennzeichnet. Darüber liegende können als lange neuromuskuläre Innervationsmuster bezeichnet werden.

12.5 Analyse der EMG-Messungen

12.5.1 Ziel der Untersuchung und Eingangshypothesen

Das EMG liefert quantitative Daten über das Innervationsverhalten der eingesetzten Muskulatur. Der initiale steile Anstieg und die Aktivitätskonzentration in der ersten Arbeitsphase sollen Belege für eine gute qualitative Struktur der Zugbewegung liefern. Mehrere Studien zu dieser Thematik besagen, je steiler der Anstieg und je größer die Amplitude im EMG, umso mehr ist der leistungsbestimmende Muskel aktiv (vgl. Kapitel 9.3.4.1.3.). Die EMG-Aktivität wird durch die Fläche unter der EMG-Kurve im gleichgerichteten Elektromyogramm operationalisiert.

Das wiederum kann sich in einer niedrigeren Dauer der Gesamtbewegung äußern, wie auch Bauersfeld & Voss (1992) in ihren Studien feststellten. Ob dies auch bei den zu untersuchenden Armzugbewegungen der Fall ist, soll an dieser Stelle untersucht werden. Demnach wird folgende Hypothese aufgestellt.

Hypothese 2: Die EMG-Aktivität während der Zugphase weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit der Gesamtdauer der Zugbewegung auf.

Daraus ergeben sich folgende Hypothesen:

H_0 = Die EMG-Aktivität während der Zugphase weist keine mittlere bis hohe negative Korrelation mit der Gesamtdauer der Zugbewegung auf.

H_1 = Die EMG-Aktivität während der Zugphase weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit der Gesamtdauer der Zugbewegung auf.

Um diese Überlegungen verifizieren zu können, die nach dem aktuellen Stand der Forschung charakteristisch für schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster sind, wird das gleichgerichtete, geglättete Elektromyogramm betrachtet.

Bei den Untersuchungen von Bauersfeld & Voss (1992) zeigte sich, dass das EMG bei Sportlern mit einem kurzen Zeitprogramm ausgeprägtere Vorinnervationen in der leistungsbestimmenden Muskulatur aufwies, als bei Personen mit einem langen Zeitprogramm (vgl. Kap. 6). Dies zeigte sich in einem steileren und längeren Anstieg der Amplitude. Als Vorinnervation wird der Bereich definiert, in welchem der Muskel bereits aktiv ist, die Bewegung aber noch nicht begonnen hat, in den Untersuchungen wurde dies mit einem Triggersignal verifiziert.

Die Vorinnervation bei den von den Autoren untersuchten exzentrisch-konzentrischen Nieder-Hochsprung Bewegungen bewirkt eine Verbesserung der Ansprechbarkeit der Muskelspindeln, was für die sofort wieder einzuleitende Absprungbewegung von großer Bedeutung ist. Außerdem kommt es zu einer erhöhten Stiffness und Elastizität des Muskels.

Die Vorinnervation bei der zu untersuchenden konzentrischen Zugbewegung hat eine andere Funktion. Denn, um den Widerstand bzw. das Gleichgewicht des Gegners zu brechen, muss erst eine Kraft aufgebaut werden. Erst wenn die innere Kraft die äußere übersteigt, kann der Gegner, bzw. im vorliegenden Fall der Zugapparat, bewegt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine verbesserte Vorinnervation, die sich durch höhere Amplituden auszeichnet, zu einer schnelleren Ausführung führt. Denn je früher die inneren Kräfte die äußeren übersteigen, könnte vermutet werden, desto schneller ist die Bewegung, was sich in einer verkürzten Dauer der Zugbewegung widerspiegelt. Und dieser Anstieg der inneren Kräfte wird mit der EMG-Aktivität gleichgesetzt.

Darauf aufbauend wird folgende Hypothese formuliert:

Hypothese 3: Die EMG-Aktivität während der Vorinnervation weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit der Gesamtdauer der Zugbewegung auf.

Daraus ergeben sich die folgende Nullhypothese und Alternativhypothese:

H_0 = Die EMG-Aktivität während der Zugphase weist keine mittlere bis hohe negative Korrelation mit der Gesamtdauer der Zugbewegung auf.

H_1 = Die EMG-Aktivität während der Zugphase weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit der Gesamtdauer der Zugbewegung auf.

12.5.2 Durchführung

Bei den EMG-Messungen wurden der M. Biceps Brachii und der M. Latissimus Dorsi abgeleitet. Aufgrund der Schwierigkeit (z. B. cross talks), die Mm. Deltoidae im Oberflächen-EMG abzuleiten, wurden diese Muskeln nicht berücksichtigt. Zur Auswertung der Hypothesen 2 und 3 wurde der jeweils beste Zugversuch der Probanden herangezogen.

12.5.3 Zur Datenanalyse mit der Software MYOSOFT

Zunächst wurde das Roh-EMG gleichgerichtet (full wave rectification) (Winter, 1987). Da das Interferenzmuster des EMG stochastische Eigenschaften hat und einige Amplitudenspitzen kaum reproduzierbar sind, sowie in der zufälligen Konstellation im Überlagerungsschema aller erfassten motorischen Einheiten liegen, soll über das gleichgerichtete Signal eine Hüllkurve gelegt werden (vgl. Gollhofer, 2000, S. 8). Diese „linear envelope“ bildet in Abhängigkeit verschiedener mathematischer Glättungsalgorithmen den Trend des Signals ab. Nach Gollhofer (2000, S. 8) kommen hierzu insbesondere die Verfahren des gleitenden Mittelwertes („moving average“, Kadaba, 1985) und des RMS-Wertes zum Einsatz („root mean square“, Basmajian, 1985) zum Einsatz. Zur Analyse der EMG-Kurven wurde in der vorliegenden Untersuchung der RMS-Wert 50 berechnet, der als adäquate Methode zur Quantifizierung schnell wechselnder Zeitfunktionen gilt (vgl. Gollhofer, 2000, S. 8).

Nachdem die Marker gesetzt wurden (Beginn und Ende des Auszugs durch Betrachtung des Triggersignals mit dem Längengeber, Beginn der muskulären Aktivität des M. Biceps Brachii und des M. Latissimus Dorsi), wurden die Vorinnervation sowie die Aktivitäten während der Hauptauszugsphase festgelegt.

Unter der Vorinnervation wird der Anstieg des EMG´s der untersuchten Muskeln bis zum ersten Ausschlag des Triggers verstanden. Die Hauptauszugsphase wird als der Bereich nach dem ersten Ausschlag des Triggers bis zum maximalen Ausschlag definiert.

Damit die Werte der Innervationsphasen interindividuell vergleichbar sind, wurden sie anhand der maximalen Amplitude des jeweiligen Zugversuchs normalisiert. Denn aufgrund der unterschiedlichen Hautwiderstände und da das EMG-Signal stochastischer Natur ist, kann man keine interindividuellen Vergleiche mit den Rohwerten anstellen. Um also solche Vergleiche anstellen zu können, muss eine einheitlich festgelegte Bezugsnorm erstellt werden (vgl. Gollhofer, 2000).

12.5.4 Ergebnisse

Insgesamt wurden 405 EMG-Kurven ausgewertet. Aufgrund der Fragestellung wurden jedoch nur die EMG-Kurven des jeweils besten Zugversuchs zur statistischen Analyse herangezogen. Die folgende Tabelle zeigt die normalisierten EMG-Werte der Probanden während der Vorinnervationsphase.

Tabelle 19: Übersicht über die EMG-Aktivität während der Vorinnervationsphase

Proband	M. Bic. Brachii [mV]	M. lat. Dorsi [mV]	Beste Zugversuch t ges [s]
1	43,029	41,117	0,056
2	46,725	24,281	0,011
3	49,638	44,372	0,015
5	40,372	45,876	0,010
6	16,255	58,378	0,019
7	71,922	62,191	0,009
8	25,693	7,213	0,063
9	33,508	17,800	0,011
10	77,827	66,555	0,010
11	49,581	56,447	0,010
12	66,520	34,520	0,010
13	55,930	2,2610	0,050
14	32,872	13,295	0,009
15	14,921	66,512	0,045
16	15,000	18,889	0,018
17	64,250	13,910	0,009
18	58,695	52,319	0,010
19	68,796	61,665	0,012
20	68,514	9,952	0,010
21	34,891	38,606	0,009
22	44,570	16,827	0,011
23	41,564	70,548	0,009
24	51,229	8,540	0,011
25	58,865	7,506	0,058
26	20,077	32,316	0,010
27	53,595	65,714	0,009

Die größte EMG-Aktivität, mittels IEMG operationalisiert, im M. Biceps Brachii in der Vorinnervationsphase zeigt mit 77,827 mV Proband 10. Die größte EMG-Aktivität im M. Latissimus Dorsi mit 66,555 hat ebenfalls Proband 10. Im Durchschnitt beträgt die Aktivität des M. Biceps Brachii 46,34 mV, die des M. Latissimus Dorsi 36,062 mV. Damit hat der M. Biceps Brachii im normalisierten EMG eine höhere Aktivität.

Bei der Betrachtung der EMG-Aktivität in der Zugphase wurden folgenden Werte, ebenfalls normalisiert, ermittelt.

Tabelle 20: Übersicht über die EMG-Aktivität während der Zugphase

Proband	M. Bic. Brachii [mV]	M. Lat. Dorsi [mV]	Bester Zugversuch t ges [s]
2	41,272	58,151	0,106
3	50,777	43,783	0,149
5	44,356	54,938	0,103
6	48,740	40,180	0,190
7	34,260	43,453	0,093
8	37,500	55,081	0,626
9	40,058	42,864	0,107
10	47,417	53,180	0,100
11	32,130	55,822	0,104
12	23,706	47,096	0,102
13	37,721	36,900	0,502
14	41,989	57,506	0,091
15	53,055	29,881	0,454
16	48,067	55,678	0,182
17	46,239	58,874	0,089
18	34,177	54,192	0,095
19	55,572	35,592	0,120
20	47,908	48,172	0,100
21	36,306	56,428	0,093
22	54,294	23,834	0,114
23	54,480	58,349	0,092
24	54,814	59,04	0,110
25	34,407	62,948	0,580
26	44,120	48,517	0,093
27	40,971	43,408	0,091

Die höchste EMG-Aktivität während der Zugphase zeigt Proband 19 mit 55,572 mV im M. Biceps Brachii mV und Proband 25 im M. Latissimus Dorsi mit 62,948 mV.

Bei der prüfstatistischen Analyse wurden wie bei Hypothese 1 und unter den gleichen Bedingungen erneut die Ausreißer ermittelt.

Tabelle 21 Übersicht über die Extremwerte bei der Betrachtung der Gesamtdauer der Zugbewegung

			Fallnummer	Wert
Bester Zugversuch	Größte Werte	1	6	,626
		2	23	,580
		3	11	,502
		4	13	,454
		5	4	,190
	Kleinste Werte	1	15	,089
		2	25	,091
		3	12	,091
		4	21	,092
		5	5	, a

a Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 0 wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.

Das bedeutet, dass die Fallnummern 6, 23, 11, 13 und 4 aus Tabelle 21 nicht weiter berücksichtigt werden. Die fehlenden Werte wurden mit den entsprechenden Mittelwerten ersetzt.

12.5.5 Prüfstatistik

Die Hypothesen 2 und 3 wurden dem Design des Versuchs gemäß, korrelationsanalytisch ausgewertet.

Bei der Hypothese 2 wurde untersucht, ob schnellere Zugbewegungen, gemessen an der Dauer der Zugbewegung, während der Zugphase eine höhere EMG-Aktivität aufweisen, als langsamere Zugbewegungen. Zunächst werden die Ergebnisse zu dieser Hypothese differenziert nach den einzelnen Muskeln dargestellt.

Bei der korrelationsanalytischen Betrachtung des Zusammenhangs zwischen der EMG-Aktivität des M. Biceps Brachii während der Zugphase und der Gesamtdauer der Zugbewegung wurde folgender Korrelationskoeffizient errechnet $r = 0,321$ errechnet. Es gibt in diesem Fall sogar eine niedrige positive Korrelation.

Tabelle 22: Die Korrelation zur zweiten Hypothese und der EMG Aktivität des M. Biceps Brachii während der Zugphase

		EMG Aktivität im M. Biceps Brachii während der Zugphase	Zugdauer
EMG Aktivität im M. Biceps Brachii während der Zugphase	Korrelation nach Pearson	1	,321
	N	25	25
Zugdauer	Korrelation nach Pearson	,321	1
	N	25	25

In der Abbildung 29 wird der Zusammenhang graphisch dargestellt.

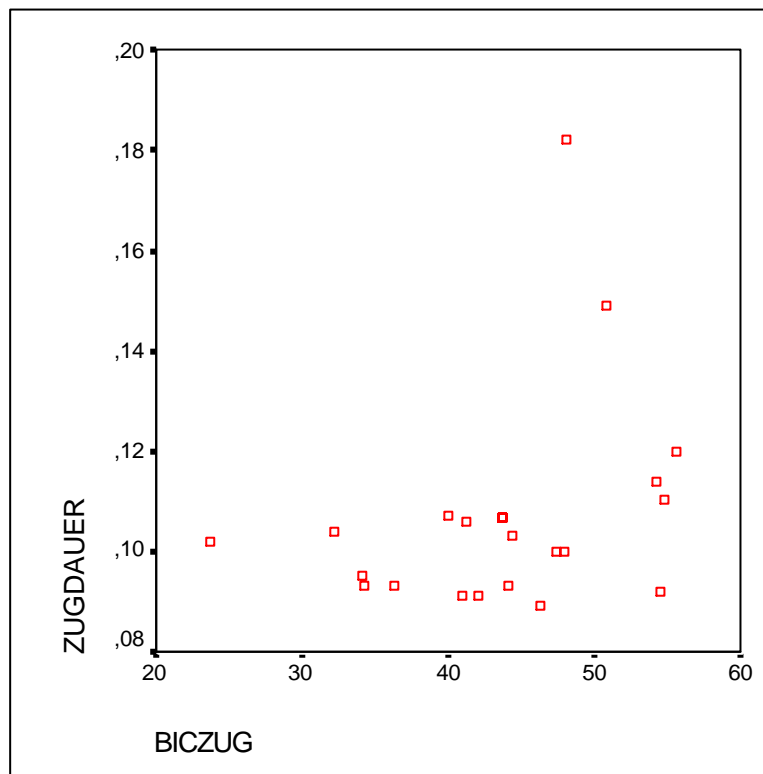


Abbildung 29: Zusammenhang der EMG-Aktivität während der Zugphase des M. Biceps Brachii und der Dauer der Zugbewegung

Das bedeutet, dass es eine positive Korrelation zwischen der EMG-Aktivität des M. Biceps Brachii und der Gesamtdauer der Zugbewegung gibt. Die positive Korrelation zwischen der Aktivität des M. Biceps Brachii und der Gesamtdauer der Zugbewegung bedeutet, je höher die EMG-Aktivität im M. Biceps Brachii ist, desto länger dauert auch die Zugbewegung.

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten zwischen der EMG-Aktivität des M. Latissimus Dorsi während der Zugphase und der Gesamtdauer der Zugbewegung zeigt, dass nur geringe negative Zusammenhänge bestehen. Dieser beträgt $r = -0,140$.

Tabelle 23: Die Korrelation zur zweiten Hypothese und der EMG Aktivität des M. Latissimus Dorsi während der Zugphase

		EMG Aktivität des M. Latissimus Dorsi während der Zugphase	Zugdauer
EMG Aktivität des M. Latissimus Dorsi während der Zugphase	Korrelation nach Pearson	1	-,140
	N	25	25
Zugdauer	Korrelation nach Pearson	-,140	1
	N	25	25

In der Abbildung 32 werden die Beziehungen graphisch dargestellt.

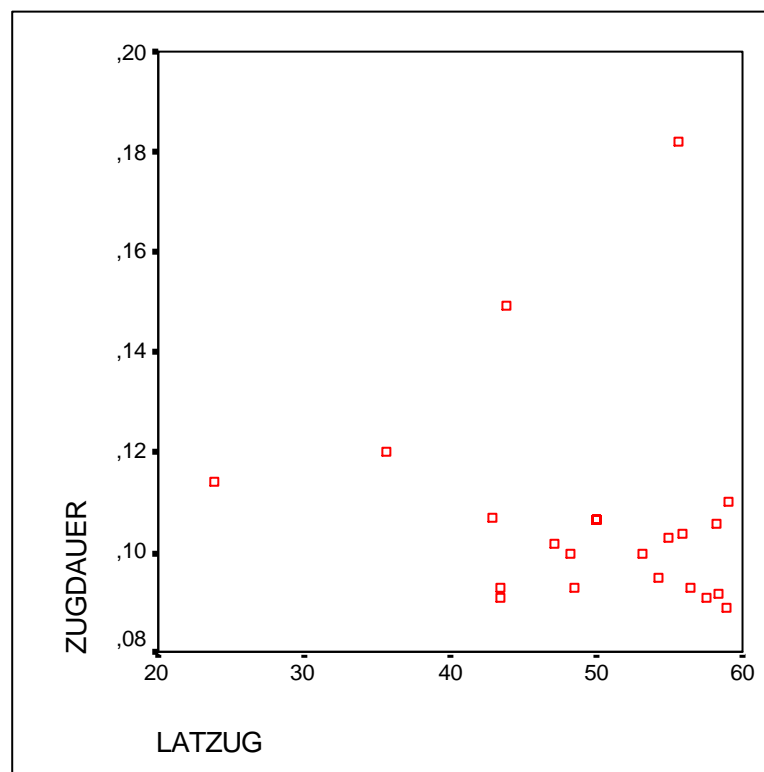


Abbildung 30: Zusammenhang der EMG-Aktivität während der Zugphase des M. Latissimus Dorsi und der Dauer der Zugbewegung

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten zwischen dem M. Biceps Brachii in der Vorinnervation und der Dauer der Zugbewegung ergibt $r = -0,506$. Damit besteht diesbezüglich ein mittlerer Zusammenhang zwischen der Vorinnervation des M. Biceps Brachii und der Dauer der Zugbewegung.

Tabelle 24: Die Korrelation zwischen der Vorinnervation des M. Biceps Brachii und der Dauer der Gesamtbewegung

		EMG Aktivität des M. Biceps Brachii in der Vorinnervation	Zugdauer
EMG Aktivität des M. Biceps Brachii in der Vorinnervation	Korrelation nach Pearson	1	-,506
	N	26	26
Zugdauer	Korrelation nach Pearson	-,506	1
	N	26	26

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Graphisch ist der Zusammenhang in der folgenden Abbildung dargestellt.

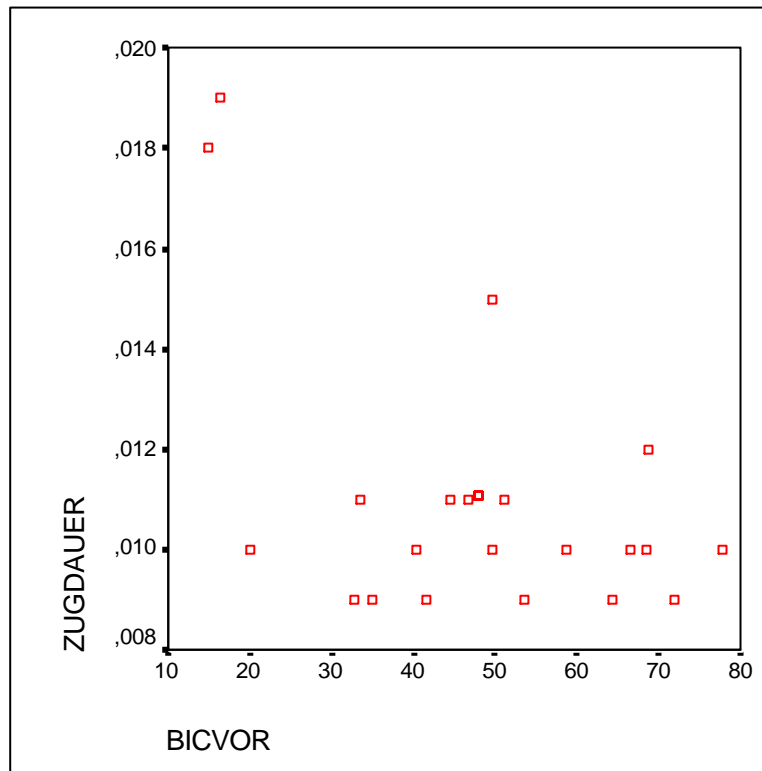


Abbildung 31: Zusammenhang zwischen der EMG-Aktivität des M. Bizeps Brachii in der Vorinnervation und der Dauer der Zugsbewegung

Der Korrelationskoeffizient zwischen der Vorinnervation des M. Latissimus Dorsi und der Dauer der Zugsbewegung beträgt $r = -0,022$. Es liegt eine niedrige negative Korrelation vor.

Tabelle 25: Die Korrelation zwischen der Vorinnervation des M. Latissimus Dorsi und der Dauer der Gesamtbewegung

		EMG Aktivität des M. Latissimus Dorsi in der Vorinnervation	Zugdauer
EMG Aktivität des M. Latissimus Dorsi in der Vorinnervation	Korrelation nach Pearson	-,022	1
	N	26	26
Zugdauer	Korrelation nach Pearson	1	-,022
	N	26	26

Die folgende Abbildung zeigt diesen Zusammenhang auf.

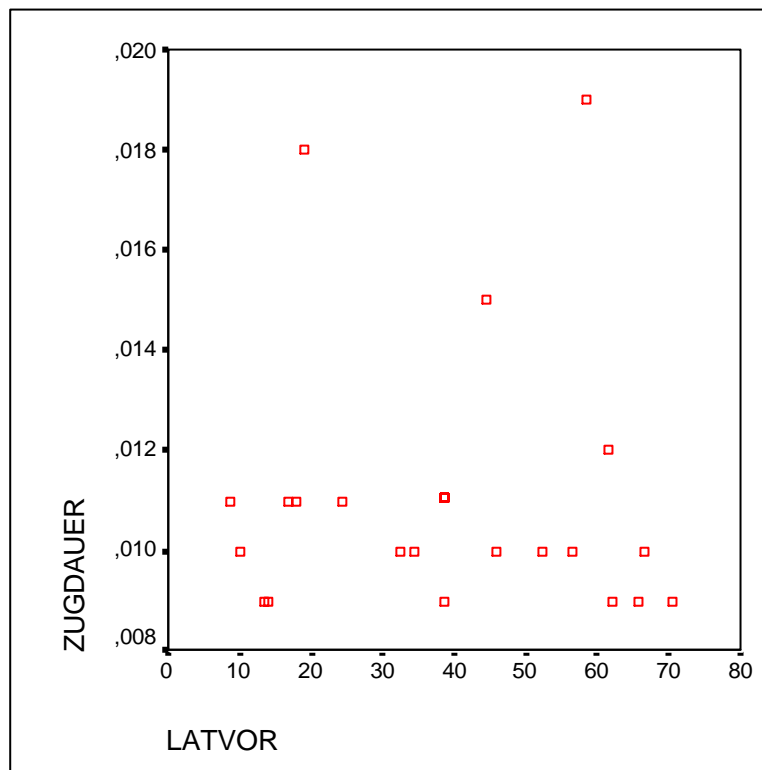


Abbildung 32: Zusammenhang der EMG Aktivität des M. Latissimus Dorsi in der Vorinnervation und der Dauer der Zugbewegung

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten zeigt, dass bei allen betrachteten Messungen nur ein niedriger Zusammenhang besteht. Bei der Analyse der EMG-Aktivität des M. Biceps Brachii während der Zugphase ergab sich sogar ein positiver Zusammenhang. Lediglich bei der EMG-Analyse des M. Biceps Brachii in der Vorinnervation ergibt sich ein mittlerer negativer Zusammenhang. Dennoch kann die Nullhypothese bei den Hypothesen 2 und 3 nicht verworfen werden.

Offensichtlich scheint die EMG-Aktivität keinen Voraussagungscharakter bezüglich der Gesamtdauer der Zugbewegung zu haben.

12.5.6 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Aufgrund der geringen negativen Korrelationskoeffizienten können bei der Betrachtung der EMG-Aktivität in der Vorinnervation, sowie während der Zugphase nur geringe Zusammenhänge mit der Gesamtdauer der Zugbewegung konstatiert werden. Entgegen der Ausführungen von Bauersfeld & Voss (1992) bei Nieder-Hochsprüngen kann damit kein gesicherter statistischer Zusammenhang zwischen der Dauer einer Zugbewegung im Judo und der EMG-Aktivität festgestellt werden. Bei allen EMG-Messungen zeigte sich, dass hohe EMG-Aktivitäten sowohl in der Vorinnervation als auch während der Zugphase nicht unbedingt auch eine kurze Dauer der Zugbewegung mit sich bringen.

Diese Feststellung betrifft vor allem die Betrachtung der EMG-Messungen während der Zugphase. Dort scheint die EMG-Aktivität in weitaus geringerem Maße, als während der Vorinnervation ein Bestimmungsfaktor für die Dauer der Zugbewegung zu sein. Die höchste EMG-Aktivität weist beim M. Latissimus Dorsi ausgerechnet ein sehr langsamer Proband auf. Unter Umständen bedeutet dies, dass vor allem Koordinationstaktiken, z. B. in Form der intermuskulären Koordination, bessere Schnelligkeitsleistungen produzieren, und die muskuläre Aktivität ab einer gewissen Ausprägung nicht mehr der leistungslimitierende Faktor ist.

Müller (1985) und Schmidtbleicher (1987) fanden zwischen dem Anstieg der EMG-Aktivität und dem Kraftanstieg bei explosiven Kontraktionen hohe Korrelationskoeffizienten ($r=0,74$ bzw. $r=0,76$). Dieser Zusammenhang scheint bei der Messung der Bewegungszeiten in dieser Arbeit nicht zutreffend zu sein. Vor allem die Betrachtung der Ergebnisse der Analyse des M. Biceps Brachii während der Zugphase unterstützt diese Annahme, denn hierbei besteht sogar ein positiver Zusammenhang zur Gesamtdauer der Zugbewegung. Das bedeutet, je größer die EMG-Aktivität in dem Muskel war, desto länger dauerte auch die Zugbewegung.

Die Amplitude im EMG ist außer vom Abstand der aktiven Fasern in unmittelbarer Nähe auch von der Zahl der innervierten Fasern abhängig (Ludin, 1993, S. 53). Das könnte ein weiterer Hinweis sein, dass nicht die intramuskuläre Koordinationsfähigkeit, sondern die intermuskuläre Koordination, implizit die Koordinationstaktik des motorischen Systems, bei schnellen Bewegungen die entscheidende Rolle spielt. Es wurden sowohl lineare Beziehungen zwischen der EMG-Amplitude und der Muskelspannung gefunden (vgl. Lippold, 1952), als auch nichtlineare Beziehungen (vgl. Zuniga & Simmons, 1969; Rau, 1973).

Diese nichtlinearen Zusammenhänge zwischen der Kraft und dem EMG können nach Noth (1998, S. 15) allerdings auch dadurch zustande kommen, dass bei großer Kraftentfaltung Hilfsmuskeln aktiviert werden, die im IEMG nicht erscheinen,

da sie nicht abgeleitet wurden. Dies unterstützt die Annahme unterschiedlicher Koordinationstaktiken.

Bei Le Veau & Andersson (1992, S. 70) finden sich Hinweise, nach denen Muskeln, die nahezu aus den gleichen Muskelfasern bestehen, lineare Beziehungen zwischen dem EMG und der Kraft bestehen, während Muskeln mit einer gemischten Faserung nichtlineare Beziehungen aufweisen. In diesem Sinne könnte es auch der Fall sein, dass die uneinheitliche Muskelfaserzusammensetzung diese Nichtlinearität bedingt.

Insgesamt liefern die Ergebnisse den Hinweis, dass die EMG-Aktivität der Muskulatur, anders als bei Kraftmessungen, bei Messungen von schnellen Bewegungen kein entscheidendes Kriterium zu sein scheint.

Bei der Betrachtung der EMG-Aktivität in der Vorinnervation liegen die Ergebnisse näher im Bereich der Erwartungen. Die Korrelationskoeffizienten sind stets höher (aber nach wie vor im unteren Bereich). Beim M. Biceps Brachii zeigt sich, dass sich ab einer EMG-Aktivität von etwa 60 mV die Probanden in einem schnelleren neuromuskulären Innervationsmuster befinden und sich stets im Bereich von 100 ms aufhalten. Es ergab sich hierbei eine mittlere negative Korrelation. Beim M. Latissimus Dorsi können solche Aussagen nicht getroffen werden.

Es könnte in diesem Zusammenhang vermutet werden, dass bei konzentrischen Bewegungen, wie sie bei der Zugbewegung vorliegen, die EMG-Aktivität keine Referenz zu sein scheint. Unter Umständen ist die EMG-Aktivität nur bei den von Bauersfeld & Voss (1992) untersuchten Nieder-Hochsprung Bewegungen ein verlässlicher Parameter. Das könnte auch damit zusammenhängen, dass die dort gemessenen Bewegungen einen ausgeprägten Dehnungs-Verkürzungszyklus aufweisen und einen exzentrisch-konzentrischen Charakter haben. Innerhalb dieses Dehnungs-Verkürzungszyklus zeigen nach Voss & Witt (1998, S. 43) ausschließlich die langen Zeitprogramme keine ausgeprägte Vorinnervation. Die EMG-Aktivität in der Vorinnervation wird als wichtiges Charakteristikum zur Differenzierung zwischen kurzen und langen Zeitprogrammen genutzt.

Bei den Zugbewegungen der oberen Extremitäten mit ihrem konzentrischen Charakter scheint dieses Unterscheidungskriterium nicht zuzutreffen.

12.6 Analysen zur Kraftabhängigkeit

12.6.1 Ziel der Untersuchung und Eingangshypothesen

Die nun folgenden Hypothesen beziehen sich auf die von Bauersfeld & Voss angeführten Kriterien zur Kraftunabhängigkeit.

Bei der hier vorzustellenden experimentell-explorativen Laborstudie wurde ein eigens zu diesem Zweck angefertigter Zugapparat eingesetzt.

Eine hohe Ausprägung der Kraft scheint bei schnellen Bewegungen gegen hohe Widerstände, wie sie bei den oben genannten Bewegungen im Judo vorliegen, eine Voraussetzung für hohe Schnellkeitsleistungen zu sein. Athleten mit einer höheren Maximalkraft, aufgrund der engen Korrelation der Maximalkraft mit der Schnellkraft (vgl. Schmidtbleicher, 1980), wären demnach in der Lage, höhere Geschwindigkeiten bzw. dem Hauptgegenstand der vorliegenden Arbeit entsprechend, kürzere Bewegungszeiten, zu erzielen.

Diese Annahmen widersprechen allerdings der These von Bauersfeld & Voss (1992), die feststellten, dass bei Nieder-Hoch-Sprüngen eine Kraftunabhängigkeit existiert. Die Autoren verstehen unter der Kraftunabhängigkeit, dass die Qualität des elementaren Zeitprogramms nicht primär durch den Ausprägungsgrad der Kraftvoraussetzungen bestimmt wird, also durch alleiniges Training dieser Komponenten nicht verbessert werden können.

Hierzu muss jedoch angemerkt werden, dass es sich bei Nieder-Hoch-Sprüngen um Bewegungen handelt, die durch einen Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) bestimmt sind. Bei kurzen Dehnungs-Verkürzungszyklen ist der Zusammenhang zwischen Maximal- und Schnellkraft nur relativ gering ausgeprägt (vgl. Schmidtbleicher, 1994). Bei den Nieder-Hoch-Sprüngen, die von Bauersfeld & Voss (1992) untersucht wurden, kann kritisiert werden, dass eher die Reaktivkraftfähigkeit den Testbedingungen zugrunde liegt und nicht eine elementare Schnellkeitsfähigkeit.

Da bei der Armzugbewegung kein Dehnungs-Verkürzungszyklus gegeben ist, kann die Kraftunabhängigkeit zunächst angezweifelt werden.

Hohmann et al. (2001) fanden bei jugendlichen Leistungssportlern überzufällige Zusammenhänge zwischen der Maximalkraft der Beinstrecker und der Bodenkontaktzeiten bei Nieder-Hoch-Sprüngen. Dies könnte als ein weiterer Hinweis gedeutet werden, dass die Kraftfähigkeiten auch bei Bewegungen mit einem ausgeprägten DVZ einen Einfluss haben.

Bei der in dieser Arbeit durchzuführenden Untersuchung werden hohe Widerstände überwunden. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass hohe Ausprägungsgrade im Bereich der Maximalkraft und der Schnellkraft, speziell der Unterfraktionen Startkraft und Explosivkraft, mit der Dauer der Gesamtbewegung korrelieren.

Bei Schnellkraftbewegungen mit einer Dauer von unter 200 bis 250 ms spielt die Explosivkraft eine entscheidende Rolle. Verchoschanskij (1995, S. 38) beschreibt

die Explosivkraft durch den Quotienten $F_{\max} : t_{\max}$. Es ist also anzunehmen, dass bei schnellen Zugbewegungen, im vorliegenden Fall bei Bewegungen mit einer Dauer von unter 250 ms, die Dauer der Gesamtbewegung mit einem hohen Explosivkraftquotienten negativ korreliert. Daraus wird folgende Hypothese formuliert:

Hypothese 4: Ein hoher Explosivkraftquotient weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit einer kurzen Dauer der Gesamtbewegung bei einer Zugbewegung im Judo auf.

H_0 = Ein hoher Explosivkraftquotient weist keine mittlere bis hohe negative Korrelation mit einer kurzen Dauer der Gesamtbewegung bei einer Zugbewegung im Judo auf.

H_1 = Ein hoher Explosivkraftquotient weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit einer kurzen Dauer der Gesamtbewegung bei einer Zugbewegung im Judo auf.

Bührle (1985, S. 104) beschreibt als weitere Komponente der Schnellkraft die Startkraft. Diese wird durch einen Quotienten beschrieben, der sich auf die ersten 30 ms des Kontraktionsvorganges bezieht: Startkraft (Quotient) = F_{\max} (nach 30 ms)/30 ms. Diese Fähigkeit wirkt nach Schmidbleicher (1994) vorwiegend bei Belastungen gegen geringere Widerstände als 20 Prozent der isometrischen Maximalkraft limitierend.

Allerdings wirken bei kürzeren Belastungen, nach Schmidbleicher (1994) unter 250 ms, sowohl die Start- als auch die Explosivkraft leistungslimitierend. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass ein hoher Startkraftquotient mit einer kurzen Gesamtdauer bei der zu untersuchenden Zugbewegung im Judo negativ korreliert. Je höher der Startkraftquotient, desto kürzer ist die Dauer der Gesamtbewegung. Daraus folgt Hypothese 5:

Hypothese 5: Ein hoher Startkraftquotient weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit einer kurzen Dauer der Gesamtbewegung bei einer Zugbewegung im Judo.

H_0 = Ein hoher Startkraftquotient weist keine mittlere bis hohe negative Korrelation mit einer kurzen Dauer der Gesamtbewegung bei einer Zugbewegung im Judo auf.

H_1 = Ein hoher Startkraftquotient weist eine mittlere bis hohe negative Korrelation mit einer kurzen Dauer der Gesamtbewegung bei einer Zugbewegung im Judo auf.

12.6.2 Durchführung

Sowohl der Explosivkraft- als auch der Startkraftquotient wurden durch die isometrische Bestimmung der Maximalkraft berechnet und bestimmt.

Die isometrische Bestimmung der Maximalkraft erfolgte in Bauchlage auf einem Turnkasten. Die Probanden legten sich bäuchlings auf den Kasten. Auf der linken

Seite lag ein Griff, den die Versuchspersonen beim zur Hälfte ausgestreckten Arm in proniertem Zustand des Ellbogens des Probanden in die Hand nahmen. Das ist auch die Situation, aus welcher zumeist die Zugbewegung im Judo während eines Wettkampfes ausgeführt wird. Nun bekamen die Probanden die Aufgabe so schnell und so stark wie möglich zu ziehen. Jeder Proband hatte einige Versuche zur Probe. Nach einer Wiederholungspause von zwei Minuten, um einer Erschöpfung der energiereichen Phosphate, sowie der Neurotransmitter vorzubeugen, hatte jeder Proband drei Versuche.

Es wurden alle Versuche ausgewertet. Nun wurden anhand der Kraftkurven der Explosivkraftquotient, definiert als Quotient aus der Maximalkraft und der dafür benötigten Zeit, sowie der Startkraftquotient, definiert aus der Kraft nach 30 ms dividiert durch 30 ms, ermittelt.

Nach der Betrachtung der Ergebnisse wurde festgestellt, dass ein großer Startkraftquotient nicht bei jedem Probanden mit einem hohen Explosivkraftquotienten korreliert. Aus diesem Grund wurden bei der Analyse der beiden Hypothesen zur Kraftabhängigkeit jeweils die besten Werte entweder zum Explosivkraftquotienten oder zum Startkraftquotienten zur Auswertung herangezogen.

Die jeweiligen Explosiv- bzw. Startkraftquotienten wurden mit den bereits weiter oben vorgestellten Werten des jeweils besten Zugversuches verglichen.

12.6.3 Ergebnisse

Es wurden 81 Kraftmessungen ausgewertet. Die folgende Tabelle zeigt die Explosivkraftquotienten, sortiert nach aufsteigender Reihenfolge, sowie die jeweiligen Bestversuche bezüglich der Dauer der Zugbewegung, jedes einzelnen Probanden.

Tabelle 26: Überblick über die besten Explosivkraftquotienten und die besten Zugversuche der Probanden

Proband	Explosivkraftquotient	Bester Zugversuch t ges [s]
27	12477	0,091
22	12189	0,114
12	10516	0,102
25	8292	0,580
7	8000	0,093
26	6772	0,093
17	6644	0,089
11	5047	0,104
5	3906	0,103
23	2926	0,092
2	2825	0,106
20	2059	0,100

18	1899	0,095
16	1620	0,182
10	1617	0,100
14	1614	0,091
24	1112	0,110
13	1107	0,502
6	784	0,190
15	674	0,454
19	464	0,120
3	421	0,149
8	419	0,626
21	324	0,093
1	284	0,564
4	281	0,102
9	211	0,107

Den höchsten Explosivkraftquotienten (EKQ) mit 12477 weist Proband 27 auf, den niedrigsten, Proband 9 mit 211. Bei der Betrachtung des Explosivkraftquotienten können grob drei Gruppen differenziert werden. Die erste Gruppe mit einem Explosivkraftquotienten bis 1000 zählt neun Probanden, in der zweiten Gruppe mit einem EKQ zwischen 1000 und 5000 sind 10 Probanden, in der dritten Abteilung mit einem EKQ über 5000 schließlich noch 8 Versuchspersonen.

Im Folgenden werden die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen, aufgeteilt nach den Gruppen, dargestellt.

Tabelle 27: Übersicht über die Mittelwerte und die Standardabweichungen des Explosivkraftquotienten, eingeteilt nach leistungshomogenen Gruppen

	Explosivkraftquotient	Standardabweichung
Mittelwert der gesamten Gruppe	3499	3845
Mittelwert EKQ bis 1000	429	190
Mittelwert EKQ 1000 bis 5000	2069	892
Mittelwert EKQ über 5000	8742	2717

Die Ergebnisse zum Startkraftquotienten werden in der folgenden Tabelle aufgezeigt.

Tabelle 28: Überblick über die besten Startkraftquotienten und die besten Zugversuche der Probanden

Proband	Startkraftquotient	Bester Zugversuch t ges [s]
27	1425	0,091
7	990	0,093
10	635	0,100
24	620	0,110

17	567	0,089
3	541	0,149
18	539	0,095
21	331	0,093
25	254	0,580
13	231	0,502
2	190	0,564
11	180	0,104
5	155	0,103
12	135	0,102
26	117	0,093
1	106	0,106
20	96	0,100
19	89	0,120
14	82	0,091
22	72	0,114
16	67	0,182
15	66	0,454
9	60	0,107
4	50	0,102
23	48	0,092
6	40	0,190
8	5	0,626

Den höchsten Startkraftquotienten hat auch hier erneut Proband 27 mit 1425, den niedrigsten, Proband 8.

Auch bei der Betrachtung des Startkraftquotienten fällt auf, dass eine Dreiteilung möglich ist. Eine erste Gruppe mit einem Startkraftquotienten über 500 mit sieben Probanden, eine zweite mit einem SKQ zwischen 100 und 500 mit neun Versuchspersonen, sowie eine letzte Gruppe mit einem SKQ unter 100 mit elf Personen.

In Tabelle werden die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen und differenziert nach den eingeteilten Gruppen dargestellt.

Tabelle 29: Übersicht über die Mittelwerte und die Standardabweichungen des Startkraftquotienten, eingeteilt nach leistungshomogenen Gruppen

	Startkraftquotient	Standardabweichung
Mittelwert der gesamten Gruppe	285	335
Mittelwert SKQ bis 100	61	25
Mittelwert SKQ 100 bis 500	189	73
Mittelwert SKQ über 500	760	333

Auch bei der Analyse der Hypothesen 4 und 5 wurden die Ausreißer nach demselben Verfahren wie bisher eliminiert. Dies betrifft jeweils die Probanden mit einer Gesamtdauer der Zugbewegung von über 454 ms.

12.6.4 Prüfstatistik

Um die Hypothesen 4 und 5 zu überprüfen, wurden Korrelationsanalysen durchgeführt.

Der Korrelationskoeffizient zu Hypothese 4 beträgt $r = -0,309$.

Das bedeutet, dass zwischen dem Explosivkraftquotient und der Dauer der Zugbewegung kein signifikanter Zusammenhang besteht.

Tabelle 30: Die Korrelation zwischen dem Explosivkraftquotienten (EKQ) und der Dauer der Gesamtbewegung

		Explosivkraftquotient	Zugdauer
Explosivkraftquotient	Korrelation nach Pearson	1	-,309
	N	27	27
Zugdauer	Korrelation nach Pearson	-,309	1
	N	27	27

Die Abbildung 33 zeigt, wie sich dieser allenfalls geringe Zusammenhang im Schaubild darstellt.

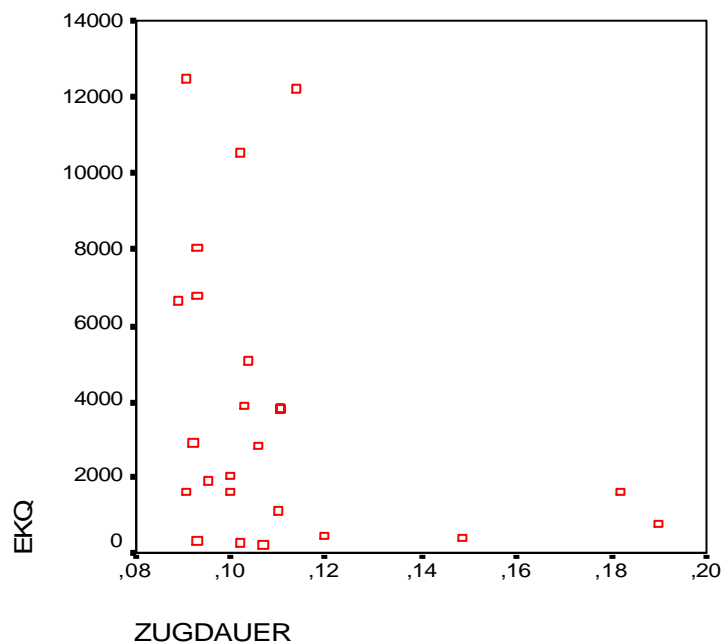


Abbildung 33: Der Zusammenhang zwischen dem Explosivkraftquotienten und der Dauer der Zugbewegung.

Auch der Korrelationskoeffizient bezüglich des Zusammenhangs zwischen dem Startkraftquotienten und der Dauer der Zugbewegung zeigt, dass auch hier keine Beziehung besteht.

Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = -0,270$.

Tabelle 31: Die Korrelation zwischen dem Startkraftquotienten (SKQ) und der Dauer der Gesamtbewegung

		Startkraftquotient	Zugdauer
Startkraftquotient	Korrelation nach Pearson	1	-,270
	N	27	27
Zugdauer	Korrelation nach Pearson	-,270	1
	N	27	27

Graphisch sind diese Zusammenhänge in Abbildung 34 dargestellt:

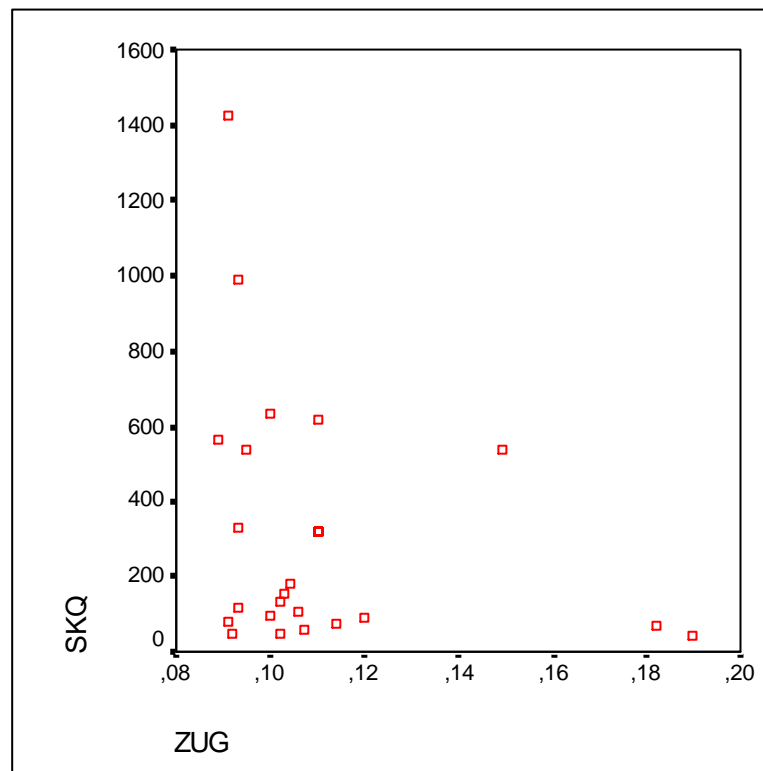


Abbildung 34: Der Zusammenhang zwischen dem Startkraftquotienten und der Dauer der Zugbewegung

Die Abhängigkeit der Dauer der Zugbewegung zum Explosivkraftquotienten und dem Startkraftquotienten scheint nicht gegeben zu sein. Es kann allenfalls eine niedrige negative Korrelation konstatiert werden. Somit können die Hypothesen 4 und 5 nicht angenommen werden.

12.6.5 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Der Zusammenhang zwischen der Explosivkraft und der Dauer der Gesamtbewegung ist in weitaus geringerem Maße gegeben, als angenommen. Damit wurden die bereits von Bauersfeld & Voss (1992) vorgestellten Ergebnissen bestätigt. Allerdings muss hierzu festgestellt werden, dass, mit einer Ausnahme, alle Probanden, die einen Explosivkraftquotienten von über 2000 hatten, im Bereich von 100 ms bei der Dauer der Zugbewegung sind. Dagegen sind die Probanden, welche einen Explosivkraftquotienten unter 2000 aufweisen, häufig weitaus langsamer, nimmt man als Referenz die Gesamtdauer der Zugbewegung. Tendenziell kann behauptet werden, dass ein hoher Explosivkraftquotient dabei hilft, schnell zu sein, allerdings keine Garantie dafür ist. Mit einem niedrigen Explosivkraftquotienten kann man sowohl schnell als auch langsam sein.

Auch bei der Betrachtung des Startkraftquotienten kann kein Zusammenhang zur Gesamtdauer der Zugbewegung festgestellt werden. Allerdings ist hier erkennbar, dass die Probanden mit einem Startkraftquotienten von über 600 eher im Bereich von 100 ms liegen, also eher schnell sind, wenn als Referenz die Dauer der Zugbewegung genommen wird. Probanden, die in dieser Beziehung schnell sind, können aber auch einen niedrigen Startkraftquotienten haben. Andererseits haben alle Probanden, die eher langsam sind, auch einen niedrigen Startkraftquotienten.

Offensichtlich scheint bei sehr schnellen Bewegungen die Zeit zu kurz zu sein, als dass in diesem Zeitraum hohe Kraftwerte realisiert werden können. Insofern müsste auch die 200 ms Grenze von Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 225) in Frage gestellt werden, nach der bei Bewegungen unterhalb dieser Grenze die Explosiv- und die Startkraft leistungslimitierende Faktoren darstellen. Es könnte aber auch sein, dass viele Probanden aufgrund koordinativer Defizite nicht in der Lage sind, ihre hohen Kraftwerte in die sportartspezifische Bewegung einzubauen. Hierzu müssten trainingsmethodische Experimente angewandt werden, mit der Zielsetzung, die „Rohkräfte“ der Probanden in die korrekte Technik einzubauen.

Des Weiteren können aus den Ergebnissen unterschiedliche Gruppen differenziert werden. Dies betrifft sowohl den Explosivkraft- als auch den Startkraftquotienten. Allerdings macht dies nach der Analyse der Daten keinen Sinn, da eine Kraftabhängigkeit in Bezug zur Explosiv- als auch zur Startkraft mit der Dauer der Zugbewegung nicht gegeben ist und die Hypothesen 4 und 5 aus diesem Grund verworfen werden müssen.

Diese Ergebnisse untermauern in gewissem Sinne auch die Ergebnisse aus den EMG-Messungen, wonach die muskuläre Aktivität kein Prädiktionsfaktor für schnelle Bewegungen ist. Es scheint sich damit eine Tendenz, dass schnelle Bewegungen durch besondere Koordinationstaktiken determiniert sind, festzusetzen.

12.7 Stabilitäts-Analysen

12.7.1 Ziel der Untersuchung und Eingangshypothesen

Der Ausgangspunkt dieser Analysen ist die folgende Fragestellung: Weisen die Armzugbewegungen auch bei hohen Wiederholungszahlen bezüglich der Gesamtdauer eine hohe Stabilität auf?

Nach Bauersfeld & Voss (1992) ist davon auszugehen, dass schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster selbst bei relativ hohen Wiederholungszahlen (10 bis 14 Sprünge pro Minute) im zeitlichen Verlauf eine gewisse Stabilität behält. Wenn der Leistungsabfall in zeitlicher Hinsicht (Gesamtdauer t) im Bereich von 20 Prozent bleibt, wird eine gewisse Stabilität bzw. Ermüdungsresistenz vermutet. Bei Bauersfeld & Voss (1992, S. 35ff) wurden diese 20 Prozent als Referenz für eine hohe Schnelligkeit gewählt.

Im Rahmen der Untersuchung wurden pro Minute fünf Zugversuche gewählt (15-Sekunden Intervalle). Dies entspricht in etwa der Angriffsfrequenz im Judo. Ruiken (1991) berichtet, dass im Judo rund alle 22 Sekunden eine Angriffshandlung ausgeführt wird.

Hypothese 6: Bei hohen Wiederholungszahlen (21 Wiederholungen innerhalb von fünf Minuten) weisen die Armzugbewegungen bezüglich der Gesamtdauer t eine hohe Stabilität auf, die maximale Abweichung der Gesamtdauer der Zugbewegung in Bezug zum Mittelwert aller 21 Zugversuche bleibt im Bereich von plus/minus 20 Prozent.

Daraus ergeben sich folgende Hypothesen.

H_0 = Bei hohen Wiederholungszahlen (21 Wiederholungen innerhalb von fünf Minuten) weisen die Armzugbewegungen bezüglich der Gesamtdauer t keine hohe Stabilität auf, die maximale Abweichung der Gesamtdauer der Zugbewegung in bezug zum Mittelwert aller 21 Zugversuche überschreitet den Bereich von plus/minus 20 Prozent.

H_1 = Bei hohen Wiederholungszahlen (21 Wiederholungen innerhalb von fünf Minuten) weisen die Armzugbewegungen bezüglich der Gesamtdauer t eine hohe Stabilität auf, die maximale Abweichung der Gesamtdauer der Zugbewegung in bezug zum Mittelwert aller 21 Zugversuche bleibt im Bereich von plus/minus 20 Prozent.

12.7.2 Durchführung

Zur Untersuchung dieser Fragestellung mussten die Probanden an dem Zugapparat über einen Zeitraum von 5 Minuten alle 15 Sekunden eine maximal schnelle Zugbewegung durchführen (Fünf-Minuten-Test). Dies ergab insgesamt 21 Zugbewegungen pro Versuchsperson. Über den Längengeber und die

Messsoftware DIADEM wurde nach dem gleichen Muster, wie bereits weiter oben angegeben, die Gesamtdauer der einzelnen Zugbewegungen ermittelt. Der Versuchsleiter gab jeweils alle 15 Sekunden, gemessen mit einer Stoppuhr, das Signal „Zug!“.

12.7.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 368 Weg-Zeit-Kurven zu dieser Fragestellung ausgewertet. Aufgrund fehlender Werte mussten 11 Versuchspersonen aus der weitergehenden Analyse herausgenommen werden. Gründe hierfür waren Aufnahmefehler durch den Längengeber bzw. die Messsoftware. Zur Auswertung wurden nur die Probanden heran gezogen, bei denen alle 21 Versuche ausgewertet werden konnten.

Tabelle 32: Übersicht über die Dauer der Zugbewegungen im Fünf-Minuten-Test.

Prbd Nr.	2	3	5	7	8	15	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27
Versuch																
1	0,3754	0,36942	0,37935	0,38032	0,36793	0,28063	0,42574	0,34262	0,36793	0,35909	0,30831	0,53432	0,38184	0,34485	0,36884	0,3711
2	0,3584	0,36829	0,38754	0,34828	0,38399	0,3361	0,34185	0,37242	0,38399	0,33475	0,26403	0,36036	0,35325	0,33937	0,31412	0,35004
3	0,3617	0,33294	0,35631	0,36116	0,37917	0,295	0,31655	0,3629	0,37917	0,33386	0,2627	0,35001	0,32434	0,32816	0,28168	0,35142
4	0,41251	0,31296	0,31479	0,33739	0,32788	0,29353	0,32485	0,35109	0,32788	0,35102	0,27436	0,33694	0,32344	0,33377	0,30402	0,32351
5	0,41446	0,32574	0,36373	0,34689	0,34983	0,26971	0,34308	0,31682	0,34983	0,35131	0,28681	0,44069	0,31795	0,35418	0,29015	0,31653
6	0,39187	0,31195	0,35444	0,30084	0,39102	0,31001	0,36166	0,37022	0,39102	0,32098	0,28217	0,34285	0,31066	0,3168	0,31966	0,34121
7	0,38767	0,30173	0,33926	0,32354	0,34487	0,25833	0,31816	0,35746	0,34487	0,36746	0,27924	0,39301	0,34534	0,32971	0,30098	0,33651
8	0,39862	0,31172	0,34455	0,33781	0,35824	0,3082	0,34586	0,34177	0,35824	0,33154	0,28775	0,36019	0,34509	0,32569	0,29514	0,35374
9	0,38195	0,31074	0,32022	0,30125	0,33094	0,30317	0,38298	0,33157	0,33094	0,34424	0,2866	0,35939	0,3373	0,33626	0,3191	0,3202
10	0,35341	0,30812	0,33947	0,30453	0,38555	0,29986	0,36207	0,36624	0,38555	0,33482	0,28309	0,376	0,31639	0,3057	0,28209	0,33068
11	0,36345	0,30842	0,34314	0,30453	0,38517	0,29432	0,38438	0,35444	0,38517	0,32801	0,2958	0,37513	0,31134	0,31731	0,3248	0,33857
12	0,36597	0,30744	0,31479	0,29091	0,34709	0,28588	0,36207	0,32809	0,34709	0,31428	0,27101	0,35011	0,33748	0,34003	0,32943	0,32513
13	0,37428	0,31195	0,30279	0,28912	0,38297	0,30912	0,37931	0,34679	0,38297	0,32098	0,28166	0,36771	0,3243	0,30321	0,2946	0,30687
14	0,36484	0,31295	0,31838	0,29497	0,36331	0,28406	0,36649	0,3729	0,36331	0,30647	0,2695	0,35134	0,34934	0,3339	0,29729	0,30889
15	0,36381	0,31071	0,31859	0,27703	0,35411	0,30527	0,36318	0,36402	0,35411	0,34581	0,26107	0,36959	0,33704	0,31731	0,30037	0,31058
16	0,36806	0,31172	0,327	0,29413	0,34487	0,28817	0,36158	0,37094	0,34487	0,34581	0,27732	0,36631	0,33234	0,31623	0,33175	0,34259
17	0,35807	0,31453	0,31806	0,29547	0,34145	0,2945	0,37196	0,35091	0,34145	0,34581	0,27431	0,36379	0,34306	0,33419	0,32017	0,32023
18	0,36597	0,31934	0,30393	0,28776	0,33721	0,29404	0,34935	0,35022	0,33721	0,35231	0,27688	0,39309	0,3455	0,31222	0,30299	0,33758
19	0,35506	0,30877	0,31429	0,27334	0,34287	0,28859	0,33823	0,35109	0,34287	0,34073	0,28054	0,35575	0,3618	0,31222	0,32196	0,29329
20	0,34169	0,31752	0,3212	0,27005	0,34145	0,29028	0,34979	0,35965	0,34145	0,34716	0,27007	0,3812	0,37423	0,33937	0,32265	0,29367
21	0,34096	0,30154	0,3443	0,30518	0,33514	0,28346	0,32107	0,3629	0,33514	0,3329	0,25669	0,36027	0,32684	0,33556	0,28228	0,28498

Es fällt auf, dass bei dem Fünf-Minuten-Test alle Probanden im Durchschnitt sehr viel länger für die Zugbewegung brauchten, als bei den Messungen zur maximalen Schnelligkeit.

12.7.4 Prüfstatistik

In einem ersten Schritt wurde der Mittelwert der 21 Zugversuche für jeden Probanden ermittelt. Nun wurde anhand des Mittelwerts zwei Größen berechnet, die der Proband entweder nicht unterschreiten oder überschreiten darf. Dieses Verfahren wurde aufgrund der Fragestellung der Hypothese 6 angewandt:

Min (darf): Dieser Wert stellt den Mittelwert minus 20 Prozent dar. Diesen Wert darf der Proband nicht unterschreiten.

Max (darf): Dieser Wert stellt den Mittelwert plus 20 Prozent dar. Dieser Wert darf nicht überschritten werden.

Anschließend wurde für jeden Probanden innerhalb seiner Messreihe der maximale und minimale Wert bestimmt.

In einem nächsten Schritt wurden die Werte miteinander verglichen. Innerhalb der jeweiligen Messreihe wurde betrachtet, ob die Prüfgrößen Min (darf) und Max (darf) über- bzw. unterschritten wurde. Diese Werte werden in der folgenden Tabelle dargestellt. In der Tabelle werden die Werte fett herausgestellt, die Max (darf) bzw. Min (darf) über- bzw. unterschreiten.

Tabelle 33: Übersicht über die maximalen und minimalen Werte im Fünf-Minuten-Test

Probandennummer	Max Wert (darf)	Min Wert (darf)	Max	Min
2	0,446	0,297	0,414	0,341
3	0,382	0,254	0,369	0,302
5	0,401	0,268	0,388	0,303
7	0,373	0,249	0,380	0,270
8	0,428	0,286	0,391	0,328
15	0,353	0,235	0,336	0,258
17	0,427	0,285	0,426	0,317
18	0,424	0,283	0,373	0,317
19	0,428	0,286	0,391	0,328
20	0,406	0,271	0,367	0,306
21	0,333	0,222	0,308	0,257
22	0,451	0,300	0,534	0,337
23	0,406	0,270	0,382	0,312
24	0,393	0,262	0,354	0,303
26	0,372	0,248	0,369	0,282
27	0,392	0,261	0,371	0,285

Es fällt auf, dass nur zwei Probanden, Nummer 7 und Nummer 22, den Max Wert (darf) überschreiten. Der Min Wert (darf) wird von keinem Probanden unterschritten. Das bedeutet, dass fast alle Probanden innerhalb des 20 Prozent Limits bleiben.

Das folgende Diagramm zeigt graphisch für jeden Probanden die einzelnen Zugversuche und die jeweilige Dauer an.

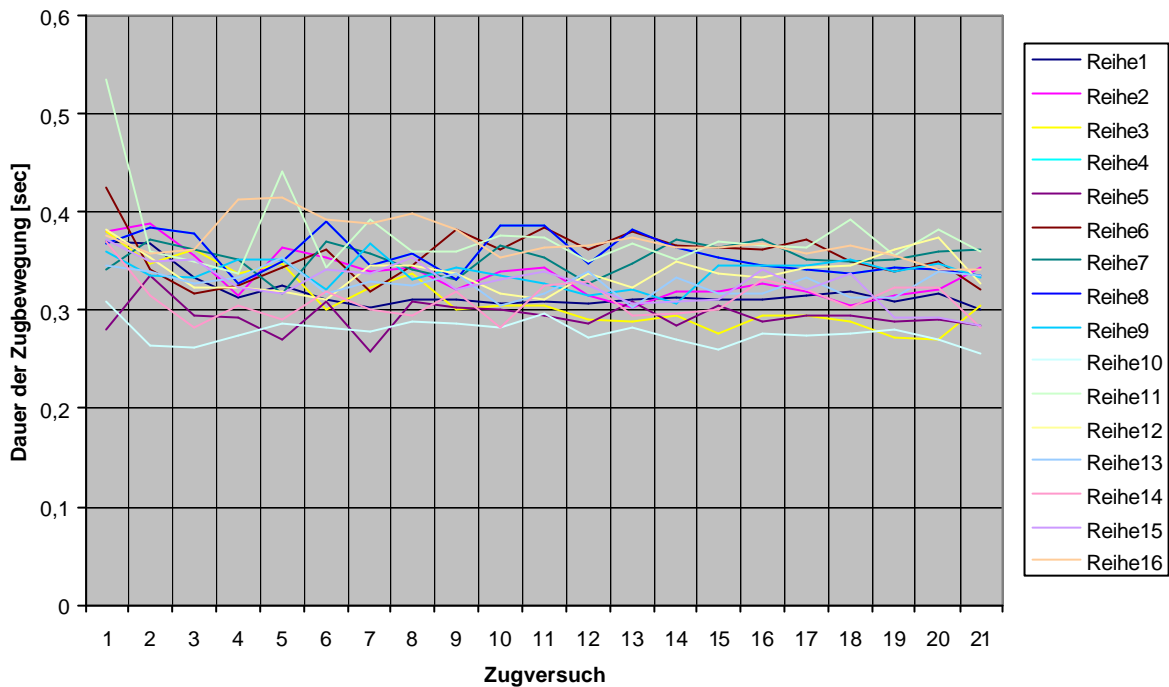


Abbildung 35: Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Zugbewegungen innerhalb des Fünf-Minuten-Tests

Legende:

Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe	Reihe
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Prbd.	2	3	5	7	8	15	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27

Nach dieser Analyse kann die Hypothese 6 angenommen werden. Die ausgewerteten Zugversuche der Probanden liegen mit zwei Ausnahmen in dem beschriebenen Intervall von 20 Prozent. Damit wurden die von Bauersfeld & Voss gefundenen Zusammenhänge bestätigt. Wenn der Leistungsabfall in zeitlicher Hinsicht (Gesamtdauer t) im Bereich von 20 Prozent bleibt, wird bei den Autoren eine gewisse Stabilität bzw. Ermüdungsresistenz vermutet.

12.7.5 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Hinsichtlich der Stabilität und der Ermüdungsresistenz kann die Hypothese 6 bestätigt werden.

Dieser Trend kann umso mehr bestätigt werden, wenn man sich die „schlechten“ Werte der Probanden 7 und 22 genauer anschaut. Denn ihren maximalen Wert hatten beide jeweils in ihrem ersten Versuch, was darauf hin deuten könnte, dass beide beim ersten Zugversuch etwas verunsichert waren und nicht mit maximaler Schnelligkeit gezogen haben. Unter Umständen hängt dies auch damit zusammen, dass alle Probanden teils sehr stark in ihren Bewegungszeiten von ihrem jeweils besten Versuch abweichen. Es kann vermutet werden, dass sich die Probanden dachten, dass sie ihre Kräfte sparen müssen, um in den fünf Minuten möglichst konstant schnelle Zugbewegungen generieren zu können.

Bei der Betrachtung der Graphik ist zu erkennen, dass die Streuung zu Beginn der Zugbewegungen etwas größer ist, als gegen Ende. Insgesamt bestätigen sich die Ergebnisse von Bauersfeld & Voss (1992, S. 35ff), die eine entsprechende Stabilität und Ermüdungsresistenz bei den untersuchten Nieder-Hoch Sprüngen feststellten.

Mit etwas Vorsicht kann somit interpretiert werden, dass einmal ausgebildete schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster eine hohe Stabilität haben. Ihre statischen Synapsen- oder Engrammverschaltungen werden zum leistungslimitierenden Faktor, indem sie die Grenze dessen vorgeben, was der Athlet an Schnelligkeit in der entsprechenden Bewegung entfalten kann.

Die Stabilität einer Technikausführung unter gleichen Bedingungen, in diesem Sinne unabhängig von den gemessenen Parametern, ist ein Merkmal für eine hohe Technikqualität.

Letztlich weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass die hohen Wiederholungszahlen, zu denen es im Verlauf eines Trainingsprozesses kommt, zu einem „Einschleifen“ von verfestigten Engrammen im ZNS führen, die an der Planung und Realisierung der Bewegungen vermutet werden.

Vermutungen, dass große Trainingsumfänge zu einer Automatisierung des individuellen Bewegungsmusters führen, äußern auch Henke, Brach, Suhr & de Marees (1997, S. 229ff) bei Radrennfahrer. Im Verlaufe einer Rennfahrerkarriere kommen sie auf 45 bis 60 Millionen Pedalumdrehungen. Auch innerhalb eines „Judolebens“ werden diese Zugversuche sehr häufig durchgeführt, was ebenfalls die Vermutung nahe legt, dass die individuellen Bewegungsmuster oder schnellen neuromuskulären Innervationsmuster einen hohen Automatisierungsgrad aufweisen.

Da es sich bei den untersuchten Werten jedoch um Zeitreihendaten handelt sollte auch eine Zeitreihenanalyse durchgeführt werden, also ob ein Zusammenhang zwischen den zu den unterschiedlichen Zeitpunkten beobachteten Werten besteht.

12.8 Zeitreihenanalyse zur Stabilität der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster bei Zugbewegungen

Sammelt man Daten über einen gewissen Zeitraum, so kann es Korrelationen zwischen den Beobachtungen geben. Dies bezeichnet man als Autokorrelation. Besteht ein hoher Zusammenhang zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Werten, spricht man von einer Autokorrelation erster Ordnung.

In der vorliegenden Untersuchung geht es nun darum, zu eruieren, ob die Zugversuche der Probanden autokorreliert sind, d. h. dass der Zusammenhang zwischen zwei aufeinander folgenden Werten gegeben ist. Ist dieser Zusammenhang mittel bis hoch, so kann auf eine gewisse Stabilität der Zeitdauer der Zugversuche der Probanden geschlossen werden.

In diesem Fall wären die Unterschiede in der Zeitdauer der gemessenen Werte nicht allzu hoch. Wenn ein mittlerer Zusammenhang gegeben ist, so kann die Stabilität zwischen zwei aufeinander folgenden Zugversuchen nach Bauersfeld & Voss (1992) bei den von ihnen gefundenen Zeitprogrammen im Hinblick auf die in dieser Arbeit postulierten schnellen neuromuskulären Innervationsmuster weiter bestätigt werden, zumindest was die direkt aufeinanderfolgenden Beobachtungen betrifft.

Daraus ergibt sich Hypothese 7:

Hypothese 7: Bei hohen Wiederholungszahlen (21 Wiederholungen innerhalb von fünf Minuten) weisen die Armzugbewegungen bezüglich der Gesamtdauer t einen hohen bis mittleren Zusammenhang zur Autokorrelation der ersten Ordnung auf.

Daraus ergeben sich folgende Hypothesen.

H_0 = Bei hohen Wiederholungszahlen (21 Wiederholungen innerhalb von fünf Minuten) weisen die Armzugbewegungen bezüglich der Gesamtdauer t keinen hohen bis mittleren Zusammenhänge zur Autokorrelation der ersten Ordnung auf.

H_1 = Bei hohen Wiederholungszahlen (21 Wiederholungen innerhalb von fünf Minuten) weisen die Armzugbewegungen bezüglich der Gesamtdauer t einen hohen bis mittleren Zusammenhänge zur Autokorrelation der ersten Ordnung auf.

12.8.1 Prüfstatistik

Zur Analyse von Hypothese 7 wurden erneut die Werte aus Tabelle 29 heran genommen. Diese 21 Werte wurden einer Zeitreihenanalyse mit Autokorrelation unterzogen. Dabei ergeben sich folgenden Werte zur Autokorrelation der ersten Ordnung:

Tabelle 34: Übersicht über die Werte zur Autokorrelation bei der Untersuchung zur Stabilität der Zugversuche

Proband	Autokorrelation erster Ordnung
2	0,614
3	0,580
5	0,518
7	0,638
8	0,095
15	-0,429
17	0,181
18	-0,032
19	0,095
20	0,067
21	0,071
22	-0,174
23	0,329
24	-0,130
26	-0,066
27	0,409

Lediglich bei den Probanden 2, 3, 5, 7 und 27 lässt sich ein mittlerer Zusammenhang bei der Autokorrelation zur ersten Ordnung erkennen. Bei den anderen ergibt sich ein niedrigerer Zusammenhang bzw. teilweise eine negative Autokorrelation (Probanden 15, 18, 22 und 24). Aus diesem Grund kann die Nullhypothese nicht verworfen werden und die Hypothese 7 nicht angenommen werden. Hinsichtlich der Autokorrelation ergibt sich kein hoher bis mittlerer Zusammenhang.

12.8.2 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Bei der Betrachtung der Werte zur Autokorrelation, also ob ein mittlerer bis hoher Zusammenhang zwischen den unmittelbar aufeinander folgenden Beobachtungen besteht, scheint es eher die Ausnahme zu sein, dass zwei aufeinander folgende Zugversuche in ihrer zeitlichen Struktur nah beieinander liegen.

Bernstein betont (zit. nach Cratty, 1979, S. 171), dass man bei der Wiederholung vieler Bewegungen weniger von Duplikationen sprechen sollte als vielmehr von Approximationen. Es sei also nicht möglich, zweimal die exakt gleiche Bewegung auszuführen. Dies scheint sich auch hinsichtlich der zeitlichen Struktur bei schnellen neuromuskulären Innervationsmustern zu bestätigen. Einen hohen Zusammenhang zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zugsbewegungen hinsichtlich der Zeitdauer der Zugsbewegung kann man nur sehr schwerlich herbei führen.

Allerdings darf dieses Ergebnis nicht darüber hinwegtäuschen, dass es, wie aus Hypothese 6 ersichtlich eine hohe Stabilität bei hohen Wiederholungszahlen zu

geben scheint, wenn man einen gewissen „Korridor“ (plus/minus 20 Prozent) annimmt.

12.9 Ergebnisse der Gruppenvergleiche

12.9.1 Ziel der Untersuchung und Ergründungshypothesen

Im diesem Teil werden die Probanden nach zwei unabhängigen Variablen sortiert und zwar nach der Gewichtsklasse und nach der Leistungsklasse. Es soll eruiert werden, inwiefern diese unabhängigen Variablen einen Einfluss auf die Dauer der Zugbewegung, also das zeitliche Muster des schnellen neuromuskulären Innervationsmuster haben. Da zu diesem Teil der Untersuchung bislang keine gesicherten theoretischen Erkenntnisse existieren, können nur Ergründungshypothesen formuliert werden.

12.9.1.1 Die Gewichtsklasse als unabhängige Variable

Alltagsbeobachtungen legen die Vermutung nahe, dass Judoka aus den leichten Gewichtsklassen schneller agieren als Schwergewichtler. Auch aus Videoanalysen erfolgreicher Wettkämpfer kann geschlossen werden, dass Athleten aus niedrigeren Gewichtsklassen offensichtlich auf der Basis eines höheren Schnelligkeitsniveaus agieren.

Das könnte verschiedene Ursachen haben. Zum einen ist es möglich, dass in den hohen Gewichtsklassen die Schnelligkeit keinen übergeordneten Faktor darstellt, da aufgrund des Körpergewichts der Gegner und der eigenen Masse die Maximalkraft mit ihren Unterfraktionen zum limitierenden Faktor wird. Schwere Gegner können aufgrund ihrer großen Masse nicht mehr ohne weiteres schnellkräftig aus dem Gleichgewicht gebracht werden.

Mit einem Vergleich zwischen den oberen und den unteren Gewichtsklassen soll gezeigt werden, ob die Schnelligkeit eher ein leistungslimitierender Faktor in den unteren Gewichtsklassen darstellt. Dazu werden die Mittelwerte (MW) der beiden Gruppen verglichen.

Fragestellung: Führen Athleten aus den niedrigen Gewichtsklassen schnellere Armzugbewegungen mit einer geringeren Gesamtdauer aus, als Sportler aus den oberen Gewichtsklassen?

Um den Einfluss der unabhängigen Variablen Gewichtsklasse verifizieren zu können, wird dieser Gruppenvergleich angestellt.

Die Stichprobe wurde für die Gruppenvergleiche durch das anthropometrische Merkmal des Körpergewichts differenziert. Zur Überprüfung der Ergründungshypothese 8 werden die Probanden nach ihren Gewichtsklassen

differenziert. Dabei werden die unteren Gewichtsklassen (bis 66 Kilogramm, bis 73 Kilogramm) und die oberen Gewichtsklassen (bis 81 Kilogramm, bis 90 Kilogramm) unterschieden:

Es wurde ein Gewichtsklassen- und ein Leistungsniveauschlüssel verwendet, um die beiden Gruppen bezüglich des Körpergewichts und der Leistungsklasse zu unterscheiden.

Tabelle 35: Der Gewichtsklassenschlüssel

Gewichtsklassenschlüssel	Schlüssel	Gewichtsklasse
	1	bis 66 kg
	2	bis 73 kg
	3	bis 81 kg
	4	bis 90 kg

Daraus ergibt sich folgende Ergründungshypothese:

Hypothese 8: Athleten aus den niedrigeren Gewichtsklassen führen die schnelleren Armzugbewegungen bezüglich der Gesamtdauer aus, als Athleten aus den hohen Gewichtsklassen.

Es handelt sich hierbei um einen einseitigen Hypothesentest.

$$H_0: MW_{t \text{ gesamt hohe Gewichtsklasse}} < MW_{t \text{ gesamt niedrige Gewichtsklasse}}$$

$$H_1: MW_{t \text{ gesamt hohe Gewichtsklasse}} > MW_{t \text{ gesamt niedrige Gewichtsklasse}}$$

Die Einteilung wurde wie folgt vorgenommen:

Tabelle 36: Die Einteilung der Gewichtsklassen

Untere Gewichtsklassen (-66kg, -73kg)	Obere Gewichtsklassen (-81kg, -90 kg)
--	--

Nun soll ermittelt werden, ob sich die Zugehörigkeit zu einer der Gruppen hohe oder niedrige Gewichtsklasse bezüglich des Parameters Gesamtdauer t der Zugbewegung auswirkt.

Hierzu wird der Parameter Gesamtdauer t der Bewegung gemessen.

Das Untersuchungsdesign sieht wie folgt aus.

Tabelle 37: Die Einteilung der Probanden nach dem Gewichtsklassenschlüssel

Gewichtsklassenschlüssel 1 und 2 (Probandennummern)	Gewichtsklassenschlüssel 3 und 4 (Probandennummern)
26	6
1	17
4	3
12	13
25	18
10	9
15	20
5	16
14	22
27	8
11	19
23	
24	
2	
7	
21	

Die Werte zur Dauer t gesamt der beiden Gruppen werden schließlich einer prüfstatistischen Untersuchung unterzogen.

12.9.1.2 Das Leistungsniveau als unabhängige Variable

Im Leistungssport misst man sich an den Werten von Athleten, die ein außergewöhnliches Leistungsniveau bezüglich bestimmter Leistungsfaktoren haben. Denn diese Athleten haben meist einen Voraussetzungscharakter bezüglich des Anforderungsprofils für das Erreichen von Spitzenleistungen. Es ist aus diesem Grund davon auszugehen, dass Athleten auf einem höheren Leistungsniveau auch kürzere Bewegungszeiten bei der Zugbewegung aufweisen, in diesem Sinne also schneller sind.

In einem zweiten Gruppenvergleich soll deshalb ergründet werden, ob Athleten im oberen Leistungsniveau, als eine zweite unabhängige Variable, schneller sind als weniger erfolgreiche Athleten. Diese Untersuchung dient der Feststellung, ob die Schnelligkeit einen Voraussetzungscharakter für Erfolge im Judo hat.

Fragestellung: Führen Athleten mit einem höheren Leistungsniveau schnellere Armzugbewegungen mit einer geringeren Gesamtdauer aus, als Sportler mit einem niedrigerem Leistungsniveau?

Die Gesamtstichprobe wird zu diesem Zweck in zwei Gruppen aufgeteilt. In eine Gruppe mit einem hohen Leistungsniveau (Regionalliga und Bundesliga) und in eine mit einem niedrigerem Leistungsniveau (Bezirksliga, Landesliga, Verbandsliga). Diese Einteilung dient der Überprüfung von Hypothese 8. Dieser Leistungsniveauschlüssel ist in Tabelle 38 angegeben.

Tabelle 38: Der Leistungsniveauschlüssel

Leistungsniveauschlüssel	Schlüssel	Leistungsniveau
	1	1. Bundesliga
	2	2. Bundesliga
	3	Regionalliga
	4	Verbandsliga
	5	Landesliga
	6	Bezirksliga

Darauf aufbauend lässt sich folgende Ergründungshypothese formulieren:

Hypothese 9: Athleten mit einem höheren Leistungsniveau führen schnellere Armzugbewegungen, bezüglich der Gesamtbewegungszeiten, aus als Sportler aus dem niedrigerem Leistungsbereich.

Auch hier handelt es sich um einen einseitigen Hypothesentest.

$$H_0: MW_{t \text{ gesamt hohes Leistungsniveau}} > MW_{t \text{ gesamt niedriges Leistungsniveau}}$$

$$H_1: MW_{t \text{ gesamt hohes Leistungsniveau}} < MW_{t \text{ gesamt niedriges Leistungsniveau}}$$

Tabelle 39: Die Einteilung der Leistungsklassen

Oberes Leistungsniveau (Bundesliga)	Unteres Leistungsniveau (Bezirksliga, Landesliga, Verbandsliga, Regionalliga)
--	---

Um den Einfluss des Leistungsniveaus zu verifizieren, werden Gruppenvergleiche innerhalb der Gewichtsklassen durchgeführt. Das Design stellt sich wie in Tabelle 40 aufgezeigt dar.

Tabelle 40: Die Einteilung der Probanden nach dem Leistungsniveauschlüssel

Leistungsniveauschlüssel 3 bis 6 (Probandennummern)	Leistungsniveauschlüssel 1 und 2 (Probandennummern)
2	26
7	6
21	17
9	1
20	4
8	12
19	25
10	11
16	23
15	24
22	3
5	13
14	18
27	

Nun werden die Mittelwerte (MW) der Gesamtdauer der Zugbewegung (t gesamt) der beiden Gruppen miteinander verglichen.

12.9.2 Durchführung

Um die Hypothesen 8 und 9 zu testen, wurden die Ergebnisse bezüglich der Gesamtdauer der Zugbewegung bei den jeweiligen Bestversuchen untersucht.

12.9.3 Ergebnisse

Es wurden zum Testen der Unterschiede, bedingt durch die Zugehörigkeit zu einer Gewichtsklasse, insgesamt 27 Werte miteinander verglichen. Die Gruppe der niedrigen Gewichtsklassen weist 16 Probanden auf, zu der Gruppe der hohen Gewichtsklassen gehören 11 Versuchspersonen.

Tabelle 41: Vergleich der Mittelwerte der beiden Probandengruppen, eingeteilt nach dem Gewichtsklassenschlüssel

t gesamt niedrige Gewichtsklasse (Schlüssel 1 und 2)	t gesamt hohe Gewichtsklasse (Schlüssel 3 und 4)
0,106	0,149
0,102	0,190
0,103	0,107
0,100	0,502
0,102	0,182

0,091	0,089
0,454	0,095
0,580	0,100
0,093	0,114
0,091	0,626
0,564	0,120
0,093	
0,104	
0,093	
0,092	
0,110	

Der Mittelwert von t gesamt der Gruppe der niedrigen Gewichtsklassen beträgt MW niedrig = 0,179, der Mittelwert der oberen Gewichtsklassen beträgt MW hoch = 0,207.

Beim Vergleich der Unterschiede bezüglich der Dauer der Zugbewegung durch die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Leistungsniveau wurden 27 Werte miteinander verglichen.

Tabelle 42: Vergleich der Mittelwerte der beiden Probandengruppen, eingeteilt nach dem Leistungsniveauschlüssel

t gesamt hohes Leistungsniveau (1 bis 2)	t gesamt niedriges Leistungsniveau (3 bis 6)
0,093	0,564
0,190	0,093
0,089	0,093
0,106	0,107
0,102	0,100
0,102	0,626
0,104	0,120
0,092	0,100
0,149	0,182
0,502	0,454
0,095	0,114
0,110	0,103
0,580	0,091
	0,091

Der Mittelwert der Gesamtdauer der Zugbewegung bei der Gruppe mit dem hohen Leistungsniveau beträgt MW hoch = 0,178, bei der Gruppe mit dem niedrigen Leistungsniveau MW niedrig = 0,211.

12.9.4 Prüfstatistik

Um die Ergründungshypothesen 8 und 9 zu prüfen wurden t-tests unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen durchgeführt.

Bei der Hypothese 8 wurde folgende Nullhypothese H_0 und Alternativhypothese H_1 festgelegt.

$$H_0 : MW_{t \text{ gesamt hohe Gewichtsklasse}} \leq MW_{t \text{ gesamt niedrige Gewichtsklasse}}$$

$$H_1 : MW_{t \text{ gesamt hohe Gewichtsklasse}} > MW_{t \text{ gesamt niedrige Gewichtsklasse}}$$

Dabei handelt es sich um einen einseitigen Hypothesentest.

Das Signifikanzniveau beträgt $\alpha = 0,05$.

Der Zweistichproben t-test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen ergab folgende Ergebnisse:

Tabelle 43: Ergebnis des t-tests zum Vergleich der Probandengruppen bezüglich des Einflusses der unabhängigen Variable Gewichtsklasse

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen		
	Variable 1	Variable 2
Mittelwert	0,171	0,207
Varianz	0,031	0,033
Beobachtungen	16	11
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	21	
t-Statistik	-0,381	
P(T<=t) einseitig	0,353	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,721	

Fünf Prozent der t-Verteilung mit 21 Freiheitsgraden werden bei dem Wert von 1,721 abgelehnt.

Der empirische t-Wert liegt bei $-0,381$ und liegt damit unter dem kritischen t-Wert, damit kann H_0 nicht abgelehnt werden.

H_1 ist nicht zutreffend und die Mittelwerte der beiden Stichproben unterscheiden sich nicht signifikant.

Die Nullhypothese und die Alternativhypothese bei Hypothese 9 wurden wie folgt festgelegt:

$$H_0 : MW_{t \text{ gesamt hohes Leistungsniveaus}} > MW_{t \text{ gesamt niedriges Leistungsniveaus}}$$

$$H_1 : MW_{t \text{ gesamt hohes Leistungsniveaus}} < MW_{t \text{ gesamt niedriges Leistungsniveaus}}$$

Es handelt sich um einen einseitigen Hypothesentest mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$.

Der Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen ergab folgende Ergebnisse:

Tabelle 44: Ergebnis des t-Tests zum Vergleich der Probandengruppen bezüglich des Einflusses der unabhängigen Variable Leistungsniveau

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen		
	Variable 1	Variable 2
Mittelwert	0,178	0,203
Varianz	0,027	0,037
Beobachtungen	13	14
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	25	
t-Statistik	-0,361	
P(T<=t) einseitig	0,361	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,708	

Der kritische t-Wert bei 25 Freiheitsgraden liegt bei 1,708.

Da der empirische t-Wert = - 0,361 beträgt und damit unter dem kritischen t-Wert liegt, kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

H_1 kann nicht aufrechterhalten werden.

12.9.5 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Der Einfluss der beiden unabhängigen Variablen Gewichtsklasse und Leistungsniveau ist statistisch nicht signifikant. Zwar gibt es tatsächlich Unterschiede, die Leichtereren und die auf einem höheren Niveau kämpfenden Probanden sind leicht schneller, aber diese Unterschiede können auf dem vorgegebenen Signifikanzniveau auch zufällig sein. Aus diesem Grund mussten die vorab formulierten Eingangshypothesen jeweils verworfen werden.

Diese Ergebnisse könnten ein Hinweis dafür sein, dass eine größere Schnelligkeit, zumindest in der Zugbewegung, im Judo keinen entscheidenden Vorteil darstellt, um erfolgreicher zu sein. Auch spielt die Schnelligkeit keine größere Rolle in den unteren Gewichtsklassen gegenüber den höheren Gewichtsklassen.

Demgegenüber stehen jedoch zahlreiche Expertenurteile, die die Schnelligkeit als einen wesentlichen Voraussetzungscharakter zum Erreichen von Spitzenleistungen im Judo beschreiben. In dieser Hinsicht müssten weitere Untersuchungen angestellt werden, welche die anderen schnellen Aktionen im Judo, z. B. den Platzwechsel untersuchen.

12.10 Zusammenfassung und Interpretation der empirischen Ergebnisse

Die Ergebnisse der Überprüfung von Hypothese 1, die bestätigt wurde, zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Gesamtbewegungszeit und der Dauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit. Das Ziel eines Judoka muss bei der Zugbewegung daher sein, möglichst früh die maximale Geschwindigkeit zu erreichen. Wenn die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit den Wert von 60 bis 70 ms nicht überschreitet, so scheinen gute Voraussetzungen gegeben zu sein, eine kurze Dauer der Zugbewegung zu erzielen. Zudem zeigen sich Analogien zu den Erkenntnissen von Bauersfeld & Voss (1992), die zumindest bei der Betrachtung von Kraft-Zeitverläufen von einem kurzen, eingipfeligen Kraft-Zeit-Verlauf berichten.

Legt man den aktuellen Stand der Forschung zu Grunde, so kann davon ausgegangen werden, dass bei den untersuchten Bewegungen ein schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster vorliegt. Bei einer Dauer von unter 200 ms können keine Feedback-Prozesse mehr greifen. Für eine leistungsdiagnostische Betrachtung der Dauer der Zugbewegung im Judo kann festgestellt werden, dass hohe Leistungen bezüglich der Dauer einer Zugbewegung im Bereich von 100 ms liegen. In Anlehnung an Bauersfeld & Voss (1992) kann dieser Wert als Grenze zwischen kurzen und langen Innervationsmustern verwendet werden.

Demnach sind prognostisch „gute“ schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster durch eine Dauer von unter 100 ms gekennzeichnet. Darüber liegende können als prognostisch „schlechte“ schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster bezeichnet werden.

Bei allen EMG-Messungen zeigte sich, dass hohe EMG-Aktivitäten sowohl in der Vorinnervation als auch während der Zugphase nicht unbedingt auch eine kurze Dauer der Zugbewegung mit sich bringen. Es besteht somit kein Zusammenhang zwischen der EMG-Aktivität und den Schnelligkeitsleistungen bei der untersuchten Zugbewegung. Bei allen EMG-Messungen zeigte sich, dass hohe EMG-Aktivitäten sowohl in der Vorinnervation als auch während der Zugphase nicht unbedingt auch eine kurze Dauer der Zugbewegung mit sich bringen.

Dies könnte bedeuten, dass vor allem Koordinationstaktiken, z. B. in Form der intermuskulären Koordination, bessere Schnelligkeitsleistungen produzieren, und die muskuläre Aktivität in einem bestimmten Muskel ab einer gewissen Ausprägung nicht mehr der leistungslimitierende Faktor ist. Nichtlineare Zusammenhänge im EMG können nach Noth (1998, S. 15) auch dadurch zustande kommen, dass bei großer Kraftentfaltung Hilfsmuskeln aktiviert werden, die im IEMG nicht erscheinen, da sie nicht abgeleitet wurden. Das unterstützt die Annahme unterschiedlicher Koordinationstaktiken.

Es könnte bei der vorliegenden Untersuchung auch der Fall sein, dass uneinheitliche Muskelfaserzusammensetzungen in den untersuchten Muskeln diesen fehlenden Zusammenhang bedingen.

Bei konzentrischen Bewegungen der oberen Extremitäten, wie sie bei der Zugbewegung vorliegen, scheinen EMG-Messungen für die Beurteilung der Bewegung kein valides Instrument zu sein. Unter Umständen ist die EMG-Aktivität nur bei den von Bauersfeld & Voss (1992) untersuchten Nieder-Hochsprung Bewegungen ein verlässlicher Parameter. Das könnte damit zusammenhängen, dass die dort gemessenen Bewegungen einen ausgeprägten Dehnungs-Verkürzungszyklus aufweisen und einen exzentrisch-konzentrischen Charakter haben. Innerhalb dieses Dehnungs-Verkürzungszyklus zeigen nach Voss & Witt (1998, S. 43) ausschließlich die langen Zeitprogramme keine ausgeprägte Vorinnervation. Die EMG-Aktivität in der Vorinnervation wurde bei Bauersfeld & Voss (1992) als wichtiges Charakteristikum zur Differenzierung zwischen kurzen und langen Zeitprogrammen genutzt. Bei den Zugbewegungen der oberen Extremitäten mit ihrem konzentrischen Charakter scheint dieses Unterscheidungskriterium nicht zu gelten.

Der Zusammenhang zwischen der Explosivkraft und der Dauer der Gesamtbewegung ist in weitaus geringerem Maße gegeben, als angenommen. Daher mussten die Hypothesen 4 und 5 verworfen werden. Damit wurden die im Prinzip bereits von Bauersfeld & Voss (1992) vorgestellten Ergebnisse bestätigt. Alle Probanden, die einen Explosivkraftquotienten von über 2000 hatten, lagen im Bereich von 100 ms bei der Dauer der Zugbewegung. Dagegen sind die Probanden, welche einen Explosivkraftquotienten unter 2000 aufweisen, häufig weitaus langsamer, nimmt man als Referenz die Gesamtdauer der Zugbewegung. Tendenziell kann behauptet werden, dass ein hoher Explosivkraftquotient dabei hilft, schnell zu sein, allerdings keine Garantie dafür ist. Mit einem niedrigen Explosivkraftquotienten kann man sowohl schnell als auch langsam sein. Bei der Betrachtung des Startkraftquotienten wurde kein Zusammenhang zur Gesamtdauer der Zugbewegung festgestellt. Es ist allerdings erkennbar, dass Probanden mit einem Startkraftquotienten von über 600 eher im Bereich von 100 ms liegen, also schnell sind. Probanden, die schnell sind, können aber auch einen niedrigen Startkraftquotienten haben. Andererseits sind alle Probanden mit einem niedrigen Startkraftquotienten eher langsam. Offensichtlich scheint bei sehr schnellen Bewegungen die Zeit zu kurz zu sein, als dass in diesem Zeitraum die hohen Kraftwerte realisiert werden können. Insofern müsste auch die 200 ms Grenze von Gülich & Schmidtbleicher (1999, S. 225) in Frage gestellt werden, nach der bei Bewegungen unterhalb dieser Grenze die Explosiv- und die Startkraft leistungslimitierende Faktoren darstellen. Es liegt bei der Betrachtung dieser Ergebnisse die Vermutung nahe, dass viele Probanden aufgrund koordinativer Defizite nicht in der Lage sind, ihre guten Kraftwerte auch in die sportartspezifische Bewegung einzubringen. Hierzu müssten trainingsmethodische Experimente angewandt werden, mit der Zielsetzung, die „Rohkräfte“ der Probanden in die korrekte Technik einzubauen. In der Trainingswissenschaft wird hierzu der Begriff Utilisierung verwendet.

Die Ergebnisse untermauern die Ergebnisse der EMG-Messungen, wonach die muskuläre Aktivität kein Prädiktionsfaktor für schnelle Bewegungen ist. Es scheint sich damit die Tendenz, dass schnelle Bewegungen durch besondere Koordinationstaktiken determiniert sind, zu zementieren. Die Kraft, einen gegebenen Widerstand zu überwinden, muss vorhanden sein, ein Mehr führt aber nicht unbedingt zu besseren Leistungen, vor allem dann nicht, wenn der Utilisierungsgrad gering ist und die zusätzliche Kraft nicht in das schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster eingebaut bzw. koordiniert werden kann.

Hinsichtlich der Stabilität und der Ermüdungsresistenz wurde Hypothese 6 bestätigt. Mit etwas Vorsicht kann daraus interpretiert werden, dass einmal ausgebildete schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster eine hohe Stabilität aufweisen. Diese statischen Synapsen- oder Engrammverschaltungen werden zum leistungslimitierenden Faktor, indem sie die Grenze dessen vorgeben, was der Athlet an Schnelligkeit in der entsprechenden Bewegung entfalten kann. Letztlich weisen die Ergebnisse zur Stabilität darauf hin, dass hohe Wiederholungszahlen, zu denen es im Verlauf eines Trainingsprozesses kommt, zu einem „Einschleifen“ von verfestigten Engrammen im ZNS führen, die an der Planung und Realisierung der Bewegungen beteiligt sind. Innerhalb eines „Judolebens“ werden Zugbewegungen sehr häufig durchgeführt, daraus kann gefolgert werden, dass die individuellen schnellen neuromuskulären Innervationsmuster einen hohen Automatisierungsgrad aufweisen.

Bei der Betrachtung der Werte zur Autokorrelation (Hypothese 7), also ob ein mittlerer bis hoher Zusammenhang zwischen den unmittelbar aufeinander folgenden Beobachtungen besteht, scheint es eher die Ausnahme zu sein, dass zwei aufeinander folgende Zugversuche in ihrer zeitlichen Struktur nah beieinander liegen.

Zur Begründung kann hierzu Bernstein heran gezogen werden (zit. nach Cratty, 1979, S. 171). Bernstein betont, dass man bei der Wiederholung vieler Bewegungen weniger von Duplikationen sprechen sollte als vielmehr von Approximationen. Es sei also nicht möglich, zweimal die exakt gleiche Bewegung auszuführen. Dies scheint sich auch hinsichtlich der zeitlichen Struktur bei schnellen neuromuskulären Innervationsmustern zu bestätigen. Einen hohen Zusammenhang zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zugbewegungen hinsichtlich der Zeitdauer der Zugbewegung kann man nur sehr schwerlich herbei führen. Allerdings darf dieses Ergebnis nicht darüber hinwegtäuschen, dass es, wie aus Hypothese 6 ersichtlich eine hohe Stabilität bei hohen Wiederholungszahlen zu geben scheint, wenn man einen gewissen „Korridor“ (plus/minus 20 Prozent) annimmt.

Der Einfluss der beiden unabhängigen Variablen Gewichtsklasse und Leistungsniveau ist statistisch nicht signifikant. Die Ergründungshypothesen 8 und 9 mussten aus diesem Grund verworfen werden. Es gibt zwar Unterschiede

zwischen den Gruppen, die Leichtereren und die Erfolgreicheren sind etwas schneller, aber diese Unterschiede können auf dem vorgegebenen Signifikanzniveau auch zufällig sein. Diese Ergebnisse könnten ein Hinweis dafür sein, dass eine größere Schnelligkeit, zumindest in der Zugbewegung, im Judo keinen entscheidenden Vorteil darstellt, um erfolgreicher zu sein. Auch spielt die Schnelligkeit keine größere Rolle in den unteren Gewichtsklassen gegenüber den höheren Gewichtsklassen.

13 Resümee

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuten darauf hin, dass die Schnelligkeit eine spezifische Fähigkeit ist, die sich als eine Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck äußert und durch schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster gesteuert wird. Damit kann sie als ein Teilkonstrukt der sportlichen Technik verstanden werden. Dies deuten auch Voss et al. (1993, S. 39) an mit ihrer Aussage, dass ein motorisches Programm (hier: neuromuskuläres Innervationsmuster) nicht durch die Technik, sondern die Technik durch das motorische Programm bestimmt wird.

Allerdings bedeutet dies gleichzeitig nicht, dass die Schnelligkeit ihren Charakter einer eigenständigen motorischen Grundeigenschaft verliert, wie dies bei Hohmann et al. (2001, S. 90) zu lesen ist. Denn es muss differenziert werden, wie lange die Bewegung dauert.

In diesem Sinne wird unter der Schnelligkeit die Fähigkeit verstanden, ein schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster zu realisieren und die Fähigkeit zu haben, mehrere schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster im Verbund einer Bewegung zu koordinieren. Dies entspricht auch der Vorstellung von Rosenbaum (1991), der beschreibt, dass motorische Programme einem hierarchischen Sequenzierungsmodell folgen. Rosenbaum (1991, S. 114) beschreibt motorische Programme als

“Functional states that dispose the organism to carry out particular movements or classes of movements.”

In der vorliegenden Arbeit wurde der Begriff schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster gegenüber dem Ausdruck schnelles neuromuskuläres Bewegungsprogramm favorisiert, da der Programm-Metapher eine zu große Nähe zu Computern herstellt. Computer und Mensch sind grundsätzlich verschiedene Systeme. Denn die biologische Realität ist von dem theoretischen Konzept, welche der Begriff „Programm“ impliziert, zu weit entfernt.

Aufgrund der extrem kurzen Bewegungsdauer bei schnellen Bewegungen scheint die Überlegung, dass diese durch schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster gesteuert werden, sinnvoll zu sein. Denn die Unmöglichkeit rechtzeitiger Feedback-Prozesse ist ein wichtiges Argument in diese Richtung. Das hierbei auftretende Problem, dass auch Modifikationen in der Bewegung selbst bei unterschiedlichen Umweltkonstellationen möglich sein müssen, wird in der Motorikwissenschaft mit den „open loop“ und „closed loop“ Theorien gelöst. Es gilt der Konsens, dass langsame Bewegungen durch das „closed loop“ Modell erklärt werden, schnelle durch das „open loop“ Modell.

Betrachtet man die sportliche Technik als ein Aneinanderreihen verschiedener neuromuskulärer Innervationsmuster, so manifestiert sich die Qualität der Technik durch das Anwenden unterschiedlicher Koordinationstaktiken. Dies wird auch durch die festgestellte Unabhängigkeit der gemessenen Zugsbewegungen zu der Start- und Explosivkraftfähigkeit unterstrichen.

Dabei schlägt Weigelt (1996, S. 163) zur Verbesserung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster Methoden vor, die mit Erleichterungen bzw. mit Kontrasten arbeiten. Dies begründet er mit einer höheren Kontext-Interferenz („contextual interference“). Für das Judo bedeutet dies, dass die Gesamtbewegung innerhalb des Techniktrainings unter Beachtung der Hinzunahme von Kontext-Interferenz-Effekten trainiert werden soll. Da der Mensch als biologisches System in der Lage ist zu interpolieren, sollte in diesem Zusammenhang auch das Konzept des „Differenziellen Lernens“ nach Schöllhorn (1999) weiter ins Zentrum der Interesse gerückt werden.

Die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster haben einen elementaren Charakter und müssen durch spezifische Trainingsmittel verbessert werden. Das Zusammenspiel mehrerer schneller neuromuskulärer Innervationsmuster innerhalb einer Handlung wird schließlich als komplexe Schnelligkeitsfähigkeit bezeichnet. Die Fähigkeit, diese komplexe Schnelligkeit situationsadäquat unter der Berücksichtigung der Taktik in der konkreten Kampfsituation anzuwenden, kann schließlich als Handlungsschnelligkeit bezeichnet werden.

Gespeichert werden die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster vermutlich in Form von Engrammen mit Hilfe von spezifischen Synapsenverschaltungen. Daher werden schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster gelernt, sie müssen nach den Prinzipien des motorischen Lernens vermittelt werden.

Damit schnelle Bewegungen ausgeführt werden können, ist es unerlässlich, schon von Beginn an eine maximale Geschwindigkeit zu erzeugen. Die Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit zeigen eine hohe Korrelation der Dauer bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit und der Dauer der Zugbewegung. Das setzt eine maximale Aktivierung des neuromuskulären Systems voraus, verbunden mit einer hohen Motivation seitens des Sportlers maximale Geschwindigkeiten auch zu realisieren.

Die gefundenen Bewegungszeiten bei der Zugbewegung lassen den Schluss zu, dass Zugbewegungen im Judo im Sinne der diskutierten Literatur gesteuert werden, also ohne Feedback-Prozesse ablaufen. Feedback Informationen während der Bewegung selbst sind nach dem vorliegenden Stand der Forschung nicht möglich. In diesem Sinne lassen sich Referenzwerte bilden. Ein prognostisch eher gutes neuromuskuläres Innervationsmuster zeigt sich bei Athleten, die bei der Zugbewegung eine Gesamtdauer der Bewegung von unter 100 ms aufweisen. Dies könnte man als kurzes Zugmuster bezeichnen, Bewegungszeiten darüber als langes Zugmuster. In der leistungsdiagnostischen Bewertung von Judoka könnte dies einen sinnvollen Ansatz darstellen und ein potentes Mittel sein, um Ressourcen oder Defizite bei einzelnen Athleten festzustellen.

Bei der Auswahl der Testsysteme zum Ausbildungsstand der Schnelligkeit ist es wohl ausreichend, Systeme zu verwenden, welche ausschließlich die Zeit messen. Die EMG-Messungen in der vorliegenden Arbeit ließen zur Beurteilung der

Schnelligkeit keinen erkenntnisgenerierenden Schluss zu. Eine schnelle Bewegung scheint vielmehr durch gute Koordinationstaktiken bestimmt zu sein, und dies kann durch Analysen des bioelektrischen Potentials in den einzelnen beteiligten Muskeln allein nicht ausreichend bewertet werden. Dies betrifft augenscheinlich gerade die untersuchten konzentrischen Bewegungen. Bei exzentrischen Bewegungen mit einem Dehnungs-Verkürzungszyklus könnte dies anders sein. Aber gerade bei Bewegungen, die durch den Einsatz mehrerer Muskeln generiert werden, scheinen die Koordinationstaktiken der entscheidende Faktor zu sein.

Der Einfluss der Maximalkraft und der Schnellkraft mit ihren Unterfraktionen Start- und Explosivkraft bei sehr schnellen Bewegungen muss neu überdacht werden. Denn die gefundenen Ergebnisse lassen nicht darauf schließen, dass eine Verbesserung dieser Krafftigkeiten auch eine Verbesserung der schnellen neuromuskulären Innervationsmuster mit sich bringt. Zwei Gründe könnten hierzu vorliegen. Zum einen scheint das Zeitintervall zu kurz zu sein, um die Krafftigkeiten in der Bewegung zu entwickeln, zum anderen ist es möglich, dass auch hier die Koordination eine wichtige Rolle spielt, nämlich in dem Sinne, dass der Athlet in der Lage sein muss, seine „rohen“ Kräfte in die Bewegung gewinnbringend einzusetzen.

Die Erkenntnisse um die schnellen neuromuskulären Innervationsmuster werden umso wichtiger als dass die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass ein einmal ausgebildetes und verfestigtes schnelles neuromuskuläres Innervationsmuster unter Normalbedingungen relativ stabil ist und eine gewisse Ermüdungsresistenz aufweist. Ein langes Zugmuster könnte den Sportler in seiner weiteren sportlichen Karriere blockieren. Auf der anderen Seite lohnt es sich, schnelle neuromuskuläre Innervationsmuster auszubilden, da sie eine hohe Stabilität aufweisen und nicht in gleichem Maße auf wiederkehrende Trainingreize angewiesen sind, wie es beim Kraft- oder Ausdauertraining der Fall ist.

Bei den Gruppenvergleichen wurde gezeigt, dass weder erfolgreichere noch leichtere Athleten signifikant schnellere Zugbewegungen ausführen als schlechtere oder schwerere Athleten. Damit scheint die schnelle Zugbewegung allein kein leistungslimitierender Faktor im Judo zu sein. Allerdings konnte hierzu eine Tendenz gefunden werden, nach der bessere und leichtere Athleten etwas kürzere Bewegungszeiten aufweisen als die schlechteren bzw. schwereren Athleten. Hierzu müssten noch weitere Tests durchgeführt werden.

14 Literaturverzeichnis

- Adams, J. A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-149.
- Alexander, G.E. & Crutcher, M.D. (1990). Neural representations of the target (goal) of visually guided arm movements in three motor areas of the monkey. *Journal of Neuropsychology*, 64, 164-178.
- Allmann, H. (1985). Maximalkraft und Sprintleistung – Maximalkrafttraining im Sprinttraining. In: Bühle, M. (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 282-300) Schorndorf: Hofmann.
- Amelang, M. & Bartussek, D. (1996). *Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung*. Stuttgart: Thieme.
- Barth, B., Kirchgässner, F. & Schubert, F. (1978). Zur strategisch taktischen Ausbildung im Nachwuchstraining der Kampfsportler. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 27 (10), 757-763.
- Basmajian, J. V. & De Luca, C. J. (1985). *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Baltimore.
- Bastian, M. & Müller-Deck, H. (1989). Neue Erkenntnisse zur Anforderungs- und Leistungsstruktur in den Zweikampfsportarten und daraus abzuleitende praktische Erfordernisse. *Theorie und Praxis des Leistungssports* 27 (1), 3-17.
- Bauersfeld, M. (1983). Studie zu ausgewählten Problemen der Schnelligkeit. *Wissenschaftliche Zeitschrift der DHfK Leipzig* 24 (3), 45-64.
- Bauersfeld, M. (1988). Stellenwert und Ausbildungsmöglichkeiten perspektivisch bedeutsamer Strukturelemente der Leistung im Aufbautraining der Schnellkraftsportarten. *Theorie und Praxis des Leistungssports* 26 (7), 46-56.
- Bauersfeld, M. & Voss, G. (1992). *Neue Wege im Schnelligkeitstraining*. Münster: Philippka.
- Beissner, C. & Birod, M. (1977). *Judokurs. Technik, Training, Wettkampf*. Hamburg: Czwalina.
- Bernstein, N. A. (1988). *Bewegungsphysiologie*. Leipzig: Barth.
- Berthold, O. & Schellenberger, H. (1989). Veränderungen der Handlungsschnelligkeit und –genauigkeit im Fussball in Abhängigkeit von unterschiedlichen Vorbelastungen. Erkenntnistätigkeit und taktische Leistungsfähigkeit im Sportspiel. *Wissenschaftliche Zeitschrift der DHfK Leipzig*. Sonderheft 4, 138-142.
- Bigland-Ritchie, B. (1981). EMG/Force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exercise and Sports Science Review* 9, 75-117.
- Bortz, J. (1984). *Lehrbuch der empirischen Forschung für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Heidelberg: Springer
- Bosco, C., Montanari, G., Cozzi, M., Ribacchi, R., Giovenali, P. & Mosca, F. (1989): Der Einfluss des Trainings und das mechanische Verhalten und das biologische Profil der Skelettmuskeln von Sportlern. *Leistungssport* 19 (1), 44-46.

- Bührle, M. (Hrsg.) (1985). *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttraining*. Schorndorf: Hofmann.
- Bührle, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In: Bührle, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttraining*. Schorndorf: Hofmann.
- Bührle, M. & Schmidtbleicher, D. (1981). Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. *Sportwissenschaft*, 11, 11-26.
- Bührle, M., Schmidtbleicher, D. & Ressel, H. (1983). Die spezielle Diagnose der einzelnen Kraftkomponenten im Hochleistungssport. *Leistungssport* 13 (1), 11-16.
- Carlier, M., Dumont, A. M., Beau, J. & Michel, F. (1983). Hand performance of french children on a finger-tapping test in relation to handedness, sex and age. *Perceptual and Motor Skills* 76 (3), 931-940.
- Conzelmann, A. (1994). Entwicklung der Ausdauer. In Baur, J., Bös, K. & Singer, R. (Hrsg). *Motorische Entwicklung* (S. 151-180). Schorndorf: Hofmann.
- Cratty, B. J. (1979). *Motorisches Lernen und Bewegungsverhalten*. Frankfurt: Limpert.
- Czech, G. & Richter, U.(1989). Zur Analyse des Situationsverhalten 15jähriger Ringer im Wettkampf. *Theorie und Praxis des Leistungssport* 27 (1), 61-69.
- Daug, R. (Hrsg.) (1991). *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining – Band 1*. Schorndorf: Hofmann.
- Degtjarow, I. P. & Dsheroyan, G. O. (1979). *Faktorenanalyse der Schnelligkeitseigenschaften von Boxern. Informationen zum Training. Kampfsport II*. Berlin: Sportverlag.
- De Marees, H. (1979). *Sportphysiologie*. Köln: Tropon Werke.
- De Marees, H. & Brach, M. (1997). Neurophysiologische Aspekte zum Bewegungslernen und zur Bewegungskontrolle. In: Nitsch, J. R. (Hrsg.): *Techniktraining* (S. 88-106). Schorndorf: Hofmann.
- De Marees, H. & Mester, J. (1991). *Sportphysiologie I und II*. Frankfurt: Diesterweg Sauerländer.
- Desmedt, J. E. & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *Journal of Physiology*, 264, 673-693.
- Dietz, , V. (1985). Neurophysiologische Grundlagen des Kraftverhaltens. In: Bührle, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. (S. 16-34). Schorndorf: Hofmann.
- Donskoi, D. (1975). *Grundlagen der Biomechanik. Lehrbuch für allgemeine Biomechanik und Grundlagen der sportlichen Technik*. Berlin: Sportverlag.
- Dounskaia, N., Van Gemmert, A. W. A. & Stelmach, G.E. (2000): Interjoint coordination during handwriting-like movements. *Exp Brain Res*, 135, 127-140.
- Eberspächer, H. (1995). *Mentales Training*. München: Sportinform.

- Eccles, J. C. (1979). *Das Gehirn des Menschen*. München: Piper.
- Emrich, E. & Pitsch, W. (1998). Die Qualitätserhöhung als entscheidende Grösse im Nachwuchssport. *Leistungssport* 28 (6) 5-11.
- Farfel, W. S. (1977). *Bewegungssteuerung im Sport*. Berlin: Sportverlag.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Freiwald, J., Engelhardt, M. & Döhring, C. (1995). Zweikampfsportarten – Kondition allein reicht nicht. *TW Sport und Medizin* 5 (7), 284-299.
- Freund, H. J. (1974). Motor unit and muscle activity in voluntary motor control. *Physiol. Rev*, 63, 387-436.
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (1994). *Einführung in die Trainingslehre. Teil 1: Grundlagen*. Schorndorf: Hofmann.
- Fodor, J. A. & Pylyshin, Z. W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition*, 28, 3-71.
- Gerleman, D. G. & Cook, T. M. (1992). Instrumentation. *U.S. Department of health and human services*, 44-69.
- Geese, R. & Hillebrecht, M. (1995). *Schnelligkeitstraining*. Aachen: Meyer & Meyer
- Gallistel, C. R. (1980). *The organization of action: A new synthesis*. Hillsdale.
- Gallistel, C. R. (1981). Precise Gallistels „The organization of synthesis“: A new synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*, 4, 609-650.
- Göhner, U. (1992). *Einführung in die Bewegungslehre des Sports. Teil 1: Die sportlichen Bewegungen*. Schorndorf: Hofmann.
- Göhner, U. (1999): *Einführung in die Bewegungslehre des Sports. Teil 2: Bewegelerlehre des Sports*. Schorndorf: Hofmann.
- Gold, T. (1998). *Schnelligkeit und Schnelligkeitstraining im Judo unter besonderer Berücksichtigung neuromuskulärer Bewegungsprogramme*. Diplomarbeit. Universität Tübingen.
- Gollhofer, A. (1987). *Komponenten der Schnellkraftleistung im Dehnungs-Verkürzungszyklus*. Erlensee: SFT Verlag.
- Gollhofer, A. & Schmidtbleicher, D. (1989). Protokoll der Expertendiskussion: Methodische Probleme der Elektromyographie. In Daus, R., Leist, K.-H. & Ulmer, H.-V.: *Motorikforschung aktuell*. Clausthal-Zellerfeld: dvs
- Gollhofer, A. (2000): *Elektromyographie in der Bewegungslehre*. In: 1. Sommerkurs der Deutschen Gesellschaft für Biomechanik. Skript zur Veranstaltung vom 21. bis 23. September, 3 - 14. Münster.
- Grimm, R. J. & Nasher, L. M. (1980). Long loop dyscontrol. In: Desmedt, J (Hrsg.), *Spinal and supraspinal mechanisms of voluntary motor control and locomotion*. Basel.

- Gydikow, A./Kosarov, D. (1974). Some features of different motor units in human biceps brachii. *Pflugers Arch*, 347, 75-88.
- Grosser, M. (1991). *Schnelligkeitstraining*. München: BLV.
- Grosser, M.: Schnelligkeit und sportliche Leistung (1993). In: WLW (Hrsg.): *Seminarbericht zum Trainerseminar Schnelligkeit*, 03.-05. April.
- Grosser, M. & Neumaier, A. (1982). *Techniktraining*. München: BLV.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, E. (1981). *Konditionstraining. Theorie und Praxis aller Sportarten*. München: BLV.
- Grosser, M. & Zimmermann, E. (1992). Reaktionsschnelligkeit. In: Röthig, P. (Hrsg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon*. Schorndorf: Hofmann.
- Gülich, A. & Schmidtbleicher, D. (1990). Struktur der Krafftigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 50 (7+8), 223-234.
- Haken, H. (1996). Chaos und Ordnung. Zur Selbstorganisation komplexer Systeme in Physik, Biologie und Soziologie. In J. P. Janssen, K. Cral, W. Schlicht & A. Wilhelm (Hrsg.), *Synergetik und Systeme* (S. 23-39). Schorndorf: Hofmann.
- Harre, D. (1979). *Trainingslehre*. Berlin: Sportverlag.
- Harre, D. & Hauptmann, M. (1987). Schnelligkeit und Schnelligkeitstraining. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 16 (3), 198-204.
- Hartmann, J. & Tünnemann, H. (1993). *Modernes Krafttraining*. Frankfurt: Ullstein.
- Hartmann, J., Kühn, J. & Lehmann, B. (1987). Zur Objektivierung ringkampfspezifischer Schnelligkeitsleistungen. *Theorie und Praxis des Leistungssports* 25 (10), 51-59.
- Hartung, E. & Haverkamp, M. (1989): Artefakte bei der Oberflächenelektromyographie am m. erector spinae unter Schwingungsbelastung in Sitzhaltung. In: Dausgs, R., Leist, K.-H. & Ulmer, H.-V., *Motorikforschung aktuell* (S. 48-57). Clausthal-Zellerfeld: dvs
- Howald, H. (1985). Morphologische und funktionelle Veränderungen der Muskelfasern durch Training. In: Bührle, M.: *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Schorndorf: Hofmann.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley & Sons.
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Schorndorf: Hofmann.
- Heinisch, H.-D. & Oswald, R. (1995). Zur Methodik und zu ausgewählten Ergebnissen der Wettkampfanalyse in der Sportart Judo – Teil 2. *Judo-Magazin* 35 (6), 15-16.
- Held, L. (1996). *Techniktraining – Praktische Theorie*. Unveröffentlichtes Arbeitspapier zur Trainerfortbildung.
- Henatsch, H.-D. & Langer, H.-H. (1983). Neurophysiologische Aspekte der Sportmotorik. In: Rieder, H., Bös, K., Mechling, H. & Reischle, K. (Hrsg.): *Motorik und Bewegungsforschung* (S. 27-55). Schorndorf: Hofmann.
- Heyden, G., Droste, J. & Steinhöfer, D. (1988). Zum Zusammenhang von Maximalkraft, Schnellkraft und Bewegungsschnelligkeit. *Leistungssport* 18 (2), 39-46.

- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Hirtz, P. (1981). Koordinative Fähigkeiten – Kennzeichnung, Alternsgang und Beeinflussungsmöglichkeiten. *Medizin und Sport* 21 (11), 348-351.
- Hohmann, A. (1994). *Grundlagen der Trainingssteuerung*. Hamburg: Czwalina.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hossner, E. (1995). *Module der Motorik*. Schorndorf: Hofmann.
- Huijing, P. A.: Das elastische Potential des Muskels. In: Komi, P. V. (Hrsg.): *Kraft und Schnellkraft im Sport*. (S. 155-172). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Hutton, R., Stevens, J. & Stevens, F. (1972). The effect of strenuous and exhaustive exercise on learning: A theoretical note and preliminary findings. *Journal of motorical behavior* 4 (4), 207-216.
- Illert, M. (1983). Motorische Systeme. In R. F. Schmidt: *Neuro- und Sinnesphysiologie* (S. 113-148). Berlin – Heidelberg – New York: Springer.
- Israel, S., Weidner, A. & Stengel, K. (1986). Die Alterscharakteristik der Muskelkraft sportlich aktiver und inaktiver Frauen und Männer zwischen dem 30. und 60. Lebensjahr. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 35 (2), 127-135.
- Jansen, J. P. (1983). Gedächtnispsychologische Aspekte der Ansteuerung motorischer Techniken. *Leistungssport* 13 (5), 13-19.
- Ives, I. (1993). Rapid Movement Kinematic and Electromyographic Control Characteristics in Males and Females. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 64 (3), 274-283.
- Ivry, R. & Corcos, D. M. (1993): Slicing the Variability Pie: Component Analysis of Coordination and Motor Dysfunction. In: Newell, K. M. & Corcos, D. M. (Hrsg.): *Variability and motor control*. *Human Kinetics Publishers* (S. 415-449). Leeds
- Jarmoluk, P. (1989). *Laktat- und Katecholaminbestimmungen als Mittel zur Leistungssteuerung im Judo*. Dissertation. Erlensee: SFT-Verlag.
- Keele, S. W. (1968). Movement control in skills motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387-403.
- Keele, S.W., Cohen, A, & Ivry, R. (1990). Motor programs: Concepts and issues. In: Jeannerod, M. (Hrsg.): *Attention and performance XIII: Motor representation and control* (S. 77-109). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum.
- Keidel, W. D. (1973). *Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart: Thieme.
- Kelso, J. A. S. (1999). Dynamic Patterns. *The Self-Organization of brain and behavior*. Cambridge: MIT.
- Kern, J. (1989). *Taktik im Sport*. Schorndorf: Hofmann.
- Kirchgässner H. (1981). Ausgewählte Probleme der Bestimmung der Reaktionsfähigkeit in den Zweikampfsportarten unter besonderer Berücksichtigung experimenteller Untersuchungen im Boxen. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 30 (8), 586-600.

- Kirchgässner, H. & Bastian, M. (1984). Zur Ausbildung der Handlungsschnelligkeit in den Zweikampfsportarten – dargestellt an der Sportart Boxen (Nachwuchstraining). *Theorie und Praxis der Körperkultur* 33 (2), 92-96.
- Kirchner, G. (1991). *Anforderungsprofile im Sport*. Kassel: Agon.
- Komi, P. V. (1994). Der Dehnungs-Verkürzungszyklus. In: P. V. Komi (Hrsg.): *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 155-182). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Konczak, J. (1996). Benutzt das Gehirn „Motorische Programme“ zur Steuerung von Bewegung? In: R. Daus, M. Blischke, F. Marschall & H. Müller: (Hrsg.): *Kognition und Motorik* (S. 37-53). Hamburg: Czwalina.
- Korth, D. & Wittehopf, G. (1988). Zur motorischen Leitgeschwindigkeit von Extremitätennerven bei Sportlern. *Med. Sport* 28 (1), 11-13.
- Kreutzig, T. (1997). *Biochemie*. Stuttgart: Fischer.
- Krön, W. (1981). *Analyse des Uchi-Mata unter funktionellen Gesichtspunkten*. Wissenschaftliche Arbeit für die Zulassung zum ersten Staatsexamen im Fach Sportwissenschaft. Universität Tübingen.
- Krüger, H. (1989). Zur Problematik der Wechselbeziehungen zwischen Information und Energie bei der Realisierung motorischer Handlungen. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 38, Beiheft 2, 110-112.
- Küchler, G. (1983). *Motorik – Steuerung der Muskeltätigkeit und begleitende Anpassungsprozesse*. Stuttgart: Thieme.
- Kugler, J. (1981): Gedächtnis und Gedächtnisleistung neurophysiologisch beurteilt. *Sandorama*, 4, 5-9.
- Kugler, P. N., Kelso, J. A. S. & Turvey, M. T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. In: G. E. Stelmach & J. Requin (Hrsg.): *Tutorials in motor behavior* (S. 3-24). Amsterdam.
- Kuhn, W. (1984). *Motorisches Gedächtnis*. Schorndorf: Hofmann.
- Kuhn, W. (1986). Kontralateraler Transfer. Befunde und theoretische Erklärungsansätze. *Sportwissenschaft*, 16, 422-442.
- Kühn, J. (1991). Technisch-koordinative Vervollkommnung und Schnelligkeitsentwicklung im Ringen – ein trainingsmethodischer Zusammenhang oder Widerspruch? *Leipziger sportwissenschaftlicher Beiträge* 32 (3), 305-311.
- Lamb, R. & Hobart, D. (1992). Anatomic and physiologic basis for surface electromyography. *U.S. Department of health and human services*, 6-23.
- Lange, A. (1997). Anforderungsprofil für die Sportart Hockey unter besonderer Berücksichtigung der Taktik. *Leistungssport* 27 (2), 35-38.
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order on behavior. In: L. A. Jeffries: *Cerebral mechanisms in behavior. The Hixon Symposium*. New York, 112-146.
- Latash, M. L. (1998). *Neurophysiological Basis of Movement*. The Pennsylvania State University: Human Kinetics.

- Lehmann, F. (1992). Zur Beziehung zwischen Schnelligkeit als neuromuskuläre Leistungsvoraussetzung und maximaler Laufgeschwindigkeit im Sprint-Nachwuchstraining. *Leistungssport* 22 (4), 13-19.
- Lehmann, G. (1997). Einheit von Technik-Taktik und Kondition. *Leistungssport* 27 (3), 12-17.
- Lehmann, G. (1996). Untersuchungen zu Komponenten des Ausdauertrainings in Kampfsportarten. *Leistungssport* 26 (4), 6-11.
- Lehmann, G. (2000). *Ausdauertraining in Kampfsportarten*. Münster: Philipka.
- Lehmann, G. & Härtig, A. (1985). Gezielte Kenntnisvermittlung bei der Ausbildung von Kampfhandlungen im Nachwuchstraining der Sportart Judo. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 34 (3), 193-198.
- Lehmann, G. & Müller-Deck, H. (1988). Positionen zur Verbesserung der Wirksamkeit des technisch-taktischen Lerntrainings im langfristigen Leistungsaufbau der Sportart Judo. *Wissenschaftliche Zeitschrift der DHFK Leipzig* 29 (1), 50-54.
- Lehmann, G. & Müller-Deck, H. (1989). Judo – Ein Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter und Aktive. Berlin: Sportverlag.
- Lehnert, V. & Weber, J. (1975). Untersuchungen der motorischen Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) des Nervus ulnaris an Sportlern. *Med. Sport* 15, 10-14.
- Lehnertz, K. & Pampus, B. (1988). Trainingssteuerung im Rudern anhand muskelphysiologischer Parameter. In: J. M. Steinacker (Hrsg.): *Rudern – sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte*. Berlin – Heidelberg: Springer.
- Letzelter, H. & Letzelter, M. (1990). *Krafttraining*. Hamburg: Rowohlt.
- Le Veau, B. & Andersson, G. B. J. (1992). Output Forms: Data Analysis and Applications. *U.S. Department of health and human services*, 70-103.
- Leyk, D., Baum, K., Wamser, P., Pachurka, T., Wackkerhage, H. & Eßfeld, D. (1997). Bedeutung von Streckenlänge, Sprintwiederholung und Widerstandsbelastungen im Schnelligkeitstraining. *Leistungssport* 27 (4), 17-20.
- Liesen, H., Ludemann, D., Schmengler, D., Föhrenbach, R. & Mader, A. (1985). Trainingssteuerung im Hochleistungssport: einige Aspekte und Beispiele. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 36, 8-18.
- Littkopf, N., Hötger, D. & Müller-Deck, H. (1987). Erfahrungen bei der Umsetzung der individuellen Kampfkonzeptionen im Judotraining des Hochleistungsbereichs. *Theorie und Praxis des Leistungssport* 25 (5), 26-33.
- Ludin, H.-P. (1993). *Praktische Elektromyographie*. Stuttgart: Thieme
- Marras, W. (1992). Applications of Electromyography in Ergonomics. *U.S. Department of health and human services*, 122-144.
- Marras, W. (1992). Overview of Electromyography in Ergonomics. *U.S. Department of health and human services*, 2-5.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1991). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.

- Martin, D., Krug, J., Reiß, M. & Rost, K. (1997). Entwicklungstendenzen der Trainings- und Wettkampfsysteme im Spitzensport mit Folgerungen für den Olympiazzyklus 1996 bis 2000. *Leistungssport* 27 (1), 25-31.
- Mechling, H. (1988). Zur Theorie und Praxis des Techniktrainings. In: H. Mechling, K. Schiffer & K. Carl (Hrsg.): *Theorie und Praxis des Techniktrainings* (S. 21-36). Schorndorf: Hofmann.
- Mechling, H. & Carl, K. (1992). Technik, sportliche. In: P. Röthig (Hrsg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 504-506). Schorndorf: Hofmann.
- Monka, M. & Voß, W. (2002). Statistik am PC. München Wien: Hanser.
- Mundy-Castle, A. C. & Sugarman, L. (1960). Factors influencing relations between tapping speed and alparhythm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 12, 895-904.
- Müller, K.-J. (1985). Explosivkraft – eine generelle oder spezifische Eigenschaft? In: M. Bührle (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttraining* (S. 144-160). Schorndorf: Hofmann.
- Müller, F. & Konczag, J. (1995). Neuromotorische Kontrolle bei Funktionsstörungen der Basalganglien und des Cerebellums. In: L. Jäncke & H. Heuer: Interdisziplinäre Bewegungsforschung (S. 664-686). Lengerich: Pabst.
- Müller-Deck, H. (1987). Theoretische Positionen und Lösungsansätze zum Situationstraining als prinzipielle Variante des technisch-taktischen Trainings im Judo. Teil 1. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 36 (2), 105-112.
- Müller-Deck, H. (1989). Ergebnisse der Analyse des Olympiazzyklus 1984/88 und der Judowettkämpfe bei den Olympischen Sommerspielen 1988 in Seoul. *Theorie und Praxis des Leistungssport* 27 (5), 84-113.
- Müller-Deck, H. (1989): Höhere Belastungen – ein Ansatz zur Erneuerung des Trainingskonzepts im Judo. *Theorie und Praxis des Leistungssport* 27 (1), 31-36.
- Nakanishi, H. (1992). *Seoi-Nage*. Trowbridge: Ippon Books.
- Nitsch, R. & Neumaier, A. (1997). Interdisziplinäres Grundverständnis von Training und Techniktraining. In: R. Nitsch (Hrsg.): *Techniktraining* (S. 37-49). Schorndorf: Hofmann.
- Noth, J. (1985). Neurophysiologische Aspekte der Muskelelastizität. In M. Bührle: *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 238-253). Schorndorf: Hofmann.
- Noth, J. (1994). Entwicklung neurophysiologischer Parameter der Motorik. In: J. Baur, K. Bös, K. & R. Singer: *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (S. 93-105). Schorndorf: Hofmann.
- Noth, J. (1994). Die motorischen Einheiten. In: P. V. Komi (Hrsg.): *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 33-40). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Nowoisky, H. (1991). *Analyse der Kraftwirkungen von Teil- und Gesamtkörperbewegungen im Judo durch Objektivierung der Anrisskräfte des rechten und linken Armzuges in Abhängigkeit von der Kampfauslage*. Unveröffentlichtes Manuskript. Universität Leipzig.
- Nowoisky, H. (1991). Biomechanische Grundlagen des Kuzushi. *Judo-Magazin* 31 (10), 16-17.
- Nowoisky, H. (1991). Messplatzgestütztes Techniktraining im Judo. *Judo-Magazin* 31 (1), 17-35.

- Nowoisky, H. & Wolf, J. (1991). *Einschätzung der speziellen Schnellkraft. Eine Untersuchung des OSP Stuttgart*. Unveröffentlichte Ergebnisse. Olympiastützpunkt Stuttgart.
- Nowoisky, H. & Loll, S. (o. J.): *Zur Biomechanik der Gleichgewichtsbrechung im Judo und Möglichkeiten der messtechnischen Erfassung*. Unveröffentlichtes Manuskript. Olympiastützpunkt Niedersachsen.
- Ohgo, M. (1974). *Judo*. Wiesbaden: Limpert.
- Olivier, N. (1996). *Techniktraining unter konditioneller Belastung*. Schorndorf: Hofmann.
- Olivier, N., Augste, C., Keim, M. & Klippel, S. (1999). *Techniktraining unter dem Einfluss hoher konditioneller Belastungen*. Abstract zum Hauptvortrag anlässlich der DVS Jahrestagung Sektion Trainingswissenschaft. Jena.
- Oswald, R. (1989). Grundstandpunkte zum leistungsdiagnostischen Einsatz einer Objektivierungsmethode „Technik“ und zu Entwicklungstendenzen bei der Ausprägung technischer Fertigkeiten im Judo. *Theorie und Praxis des Leistungssport* 27 (1), 61-69.
- Pahlke, U. & Peters, H. (1991). Zur Wiederherstellung nach sportlicher Belastung. *Leistungssport* 29 (4), 7-11.
- Pampus, B. (1992). Die Muskelleistung als Intensitätsparameter im Krafttraining. *Theorie und Praxis der Psychomotorik* 12.
- Pampus, B. (1995). *Schnellkrafttraining*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Pöhlman, R (1986). *Motorisches Lernen. Psychomotorische Grundlagen der Handlungsregulation sowie Lernprozessgestaltung im Sport*. Berlin: Sportverlag.
- Redfern, M. (1992). Functional Muscle: Effects on Electromyographic Output. *U.S. Department of health and human services*, 104-121.
- Reed, E. S. (1982). An outline of a theory of action systems. *Journal of Motor Behavior*, 14, 98-134.
- Richartz, A & Brettschneider, W. D. (1996). *Weltmeister werden und die Schule schaffen*. Schorndorf: Hofmann.
- Richter, M. (1996). *Testverfahren zur Bestimmung der elementaren azyklischen Schnelligkeit im Grundschulbereich: eine theoretische Darlegung und empirische Untersuchung*. Zulassungsarbeit. Universität Erlangen.
- Rockmann-Rüger, U. (1991). *Zur Gestaltung von Übungsprozesse beim Erlernen von Bewegungstechniken*. Habilitationsschrift. Universität Berlin.
- Rossberg, R. (1985). Erhöhung der Wirksamkeit technisch-taktischer Kampfhandlungen im Judo durch Ausprägung der Bewegungsvorstellung. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 34 (4), S. 263-267.
- Rossberg, R. & Müller-Deck, H. (1987). Handlungsvorstellungen und Handlungsprogramme im technisch-taktischen Training der Sportart Judo. *Theorie und Praxis des Leistungssport* 25 (1), 3-17.
- Röthig, P.(1992). Engramm. In: P. Röthig (Hrsg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 140). Schorndorf: Hofmann.

- Roth, H., Guhlmann, P. & Girbardt, M. (1976). Relation zwischen Leistung und Aktivierung unter dem Einfluss innerer und äußerer Faktoren. *Zeitschrift für Psychologie*, 184, 570-583.
- Roth, K. (1987). *Taktik im Sportspiel. Zum Erklärungswert der Theorie generalisierter motorischer Programme für die Regulation komplexer Bewegungsabläufe*. Habilitationsschrift. Universität Bielefeld.
- Roth, K. (1989). *Taktik im Sportspiel*. Schorndorf: Hofmann.
- Roth, K. (1996). *Techniktraining im Spitzensport*. Köln: Strauß.
- Roth, K. und Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Hamburg: Rowohlt
- Roth, K. & Winter, R. (1994). Entwicklung koordinativer Fähigkeiten. In: J. Bauer, K. Bös & R. Singer (Hrsg.): *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (S. 191-216). Schorndorf: Hofmann.
- Ruiken, R. (1991). Zeiteinteilung bei Judokämpfen. *Leistungssport* 21 (2), 38-39.
- Rüegg, J.C. (1987). Muskel. In: R. F. Schmidt & G. Thews (Hrsg.): *Physiologie des Menschen* (S. 66-86). Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Sale, D. G. (1994). *Neurale Adaptation im Verlaufe eines Krafttrainings*. In: P. V. Komi (Hrsg.): *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Saß, H., Vitinghoff, A. & Stoll, R. (1997). Zur Verknüpfung konditioneller und technischer Inhalte im Sportspieltraining als wesentliches Element einer ganzheitlich orientierten Trainingsauffassung. *Leistungssport* 27 (3), 4-11.
- Schaich, E. (1990). *Schätz- und Testmethoden für Sozialwissenschaftler*. München: Vahlen.
- Schaper, A. & Letzelter, M. (1994). Dimensionen der motorischen Schnelligkeit. *Sportwissenschaft* 24 (4), 358-369.
- Scheid, V. (1994). Motorische Entwicklung in der mittleren Kindheit. Vom Schuleintritt bis zum Beginn der Pubertät. In: J. Baur, K. Bös & R. Singer: *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (S. 276-290). Schorndorf: Hofmann.
- Schellenberger, H. (1986). Handlungsschnelligkeit und Handlungsgenauigkeit im Sportspiel. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 427-430.
- Schmidt, R. A. (1976). The scheme-theory as a solution to some persistent in motor learning theory. In: G. E. Stelmach. (Hrsg.): *Motor control: issues and trends* (S. 41-65). New York: Springer.
- Schmidt, R. A. (1988). *Motor Control and Learning*. Champaign (Ill.): Human Kinetics.
- Schmidt, R. A. (1994). Eine Schematheorie über das Lernen diskreter motorischer Fertigkeiten. In P. Kaul & K. W. Zimmermann: *Psychomotorik in Forschung und Praxis – Band 2*. Kassel: Agon.
- Schmidt, R.F. & Thews, G. (1990). *Physiologie des Menschen*. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Schmidtbleicher, D.(1985). Diagnose des Maximal- und Schnellkraftverhaltens. In: M. Bührle, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Schorndorf: Hofmann.
- Schmidtbleicher, D. (1980). *Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit*. Bad Homburg: Limpert.

- Schmidtbleicher, D. (1987). Motorische Beanspruchungsform Kraft. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 38 (9), 356-377.
- Schmidtbleicher, D. (1994). Training in Schnellkraftsportarten. In: P. V. Komi: *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 374-387). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Schmidtbleicher, D. & Gollhofer, A. (1982). Neuromuskuläre Untersuchungen zur Bestimmung individueller Belastungsgrößen für ein Tiefsprungtraining. *Leistungssport* 12 (4), 298-307.
- Schnabel, G. (1995). *Bewegungsregulation im Sport*. Sankt Augustin: Academia.
- Schnabel, G., Harre, D. & Borde, A. (Hrsg.) (1997). *Trainingswissenschaft. Leistung, Training, Wettkampf*. Berlin: Sportverlag.
- Schnabel, G. (1991). Beanspruchung, Belastung, Anpassung, Lernen. Zu einem motorisch-trainingswissenschaftlichen Funktionsschema. In N. Olivier, N. R. Dauts (Hrsg.): *Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung* (S. 126-130). Clausthal-Zellerfeld: dvs.
- Schnell, R., Hill, P. B. & Esser, E. (1995). *Methoden der empirischen Sozialforschung*. München: Vahlen.
- Schöllhorn, W. (1999). Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport* 29 (2), 5-12.
- Schubert, F., Kirchgässner, H. & Barth, B. (1976). Zu Problemen der Optimierung des Entscheidungsverhaltens bei Kampfsportlern. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 25 (6), 419-432.
- Sedlacek, J., Kostial, J./Kampmiller, T. & Dremmelova, I. (o. J.). *The Development of Maximal Running Speed by Means of Supramaximal Speed*. Bratislava.
- Seeger, A. (1993). *Laktatverhalten bei supramaximalen Sprint*. Diplomarbeit. Universität Tübingen.
- Senner, V. & Schaff, P. (1999). Elektromyographie. *Sportorthopädie – Sporttraumatologie* 15 (2), 160-165.
- Singer, R. & Bös, K. (1994). Motorische Entwicklung: Gegenstandsbereich und Entwicklungseinflüsse. In: In J. Baur, K. Bös & R. Singer (Hrsg.): *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (S. 15-26). Schorndorf: Hofmann.
- Soderberg, G. L. (1992). Recording techniques. *U.S. Department of health and human services*, 24-43.
- Spitzer, M. (1996). *Geist im Netz: Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Heidelberg: Springer.
- Stegemann, J. (1984). *Leistungsphysiologie*. Stuttgart: Thieme.
- Strasser, H. (1999). Leitlinien. Elektromyographie in der Arbeitsphysiologie. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin 1999.
- Stratzenberg, S. E., Gürtler, H., Hannemann, D. & Tittel, K. (1990). *Sportmedizin*. Leipzig: Barth.
- Tesch, P. A. (1994). Kurzfristige und langfristige histochemische und biochemische Adaptationen im Skelettmuskel. In: P. V. Komi: *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 240-248). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Thienes, G. (1998). *Motorische Schnelligkeit bei zyklischen Bewegungsabläufen*. Münster: Lit-Verlag 1998.

- Thienes, G. (1999). Zyklische Schnelligkeit: trainingswissenschaftliche Bestimmung, empirische Befunde, Konsequenzen für die Trainingspraxis. *Leistungssport* 29 (2), 18-22.
- Thiess, G., Tschiene, P., Nickel, H. (1997). *Der sportliche Wettkampf*. Münster: Philippka.
- Thorstensson, A. (1989). Schnelligkeit und Beschleunigung. In: A. Dirix, H. G. Knutgen, & K. Tittel (Hrsg.): *Olympiabuch der Sportmedizin* (S. 188-197). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Tidow, G., Wiemann, K. (1993). Zur Interpretation und Veränderbarkeit von Kraft-Zeit-Kurven bei explosiv-ballistischen Krafteinsätzen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 44, 92-103; S. 136-150.
- Tschiene, P. (1989). Die neue „Theorie des Trainings“ und ihre Interpretation für das Nachwuchstraining. *Leistungssport* 19 (4), 5-11.
- Tschiene, P. & Barth, B. (1997). Die Wettkampfvorbereitung. In: G. Thiess, P. Tschiene & H. Nickel (Hrsg.): *Der sportliche Wettkampf* (S. 60-111). Münster: Philippka.
- Turvey, M. T. (1977). Preliminaries to a theory of action with reference to vision. In: R. Shaw & J. Bransford (Hrsg.): *Perceiving, acting and knowing: Toward an ecological psychology* (S. 211-266). Hillsdale.
- Verchoschanskij, J. V. (1971). Grundlagen des speziellen Krafttrainings im Sport. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 20, Beiheft 3.
- Verchoschanskij, J. V. (1974). *Erforschung der Gesetzmäßigkeiten des Prozesses der Herausbildung der sportlichen Meisterschaft im Zusammenhang mit Problemen der optimalen Steuerung des mehrjährigen Trainings*. Moskau.
- Verchoschanskij, J. V. (1988). *Effektiv trainieren*. Berlin: Sportverlag.
- Verchoschanskij, J. V. (1995). *Ein neues Trainingssystem für azyklische Sportarten*. Münster: Philippka.
- Verchoschanskij, J. V. (1996). Quickness and velocity in sports movement. *New Studies in Athletics*, 11 (2-3), 29-37.
- Vogler, B. (1984). Die Bedeutung der Zeitstruktur von Bewegungen. *Motorik und Bewegungsforschung* (S. 59-65). Band 2.
- Voss, G. (1989). *Zu methodischen Möglichkeiten der Entwicklung der Schnelligkeit in Form neuromuskulärer Steuer- und Regelmechanismen in Schnellkraftsportarten*. Dissertation B. DHfK Leipzig.
- Voss, G. (1991). Elementare neuromuskuläre Bewegungsprogramme – eine Leistungsvoraussetzung für leichtathletische Sprungbewegungen. *Leistungssport* 21 (2), 40-44.
- Voss, G. (1991). Zur Ausbildung elementarer neuromuskulärer Bewegungsprogramme. *Leistungssport* 23 (3), 47-50.
- Voss, G. (1998). Leserbrief zum Artikel Weineck & Köstermeyer. *Leistungssport* 28 (3), 44.
- Voss, G. & Witt, M. (1998). Bewegungsgesteuerte Neuromuskuläre Stimulation-BNS. *Leistungssport* 28 (1), 43-47.

- Voss, G., Zempel, S. & Gäbel, B. (1993). Zum Zusammenhang zwischen der Ausbildung elementarer Leitungsvoraussetzungen und der Leistungsentwicklung. *Leistungssport* 23 (3), 37-42.
- Wagner, H., Müller, E. & Brunner, F. (2004). Systemdynamische oder programmorientierte Lernmethoden. *Leistungssport* 34 (6), 54-62.
- Wieneke, F. (1999). *Kumi-Kata. Lehrvideo*. Köln: Kessler Video Productions.
- Weineck, J. (1994). *Optimales Training*. Erlangen: Perimed.
- Weineck, J. & Köstermeyer, G. (1998). Zur Bedeutung von elementaren Zeitprogrammen für die Sprintleistung und Talentdiagnose. *Leistungssport* 28 (2), 22-25.
- Whiting, H. T., Vogt, S. & Vereijken, B. (1992). Human skills and motor control: Some aspects of motor control-learning relation: In: J. J. Summers (Hrsg.): *Approaches of the Study of Motor Control and Learning* (S. 81-111). Amsterdam.
- Willimczik, K. (Hrsg.) (1983): *Grundkurs Datenerhebung 1*. Ahrensburg: Czwalina.
- Willimczik, K. & Roth, K. (1983). *Bewegungslehre*. Reinbeck: Rowohlt.
- Willimczik, K. (1999). *Statistik im Sport*. Hamburg: Czwalina.
- Winter, D. A. (1990). Kinesiological electromyography. In: Winter, D. A. (Hrsg.): *Biomechanics and motor control of human movement* (S. 191-212). New York. Chichester. Brisbane. Toronto. Singapur.
- Winter, R. (1984). Zum Problem der sensiblen Phasen im Kindes- und Jugendalter. *Körpererziehung* 34 (8/9), 342-358.
- Wittekopf, G., Bauersfeld, M., Behrend, R. & Kroppe, P. (1991). Zur Trainierbarkeit neuromuskulärer Innervationscharakteristika der Schnelligkeitsmotorik. *Leipziger sportwissenschaftlicher Beiträge* 32 (2), 206-215.
- Weigelt, S. (1997). *Die sportliche Bewegungsschnelligkeit*. Köln: Strauß.
- Wolf, H. (1989). Entwicklung der Kampfregelein. In: G. Lehmann & H. Müller-Deck (Hrsg.): *Judo* (S. 337-341) Berlin: Sportverlag.
- Wollny, R. (1993). *Stabilität und Variabilität im motorischen Verhalten*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Yiou, E. & Do, M. C. (2001). In a complex sequential movement, what component of the motor program is improved with intensive practice, sequence timing or ensemble motor learning? *Exp Brain Res*.
- Young, D. E. & Schmidt, R. A. (1990). Units of Motor Behavior: Modifications with Practice and Feedback. In: M. Jeannerod (Hrsg.): *Attention and Performance XIII* (S. 763-795). New York: Erlbaum Hillsdale.
- Young, D. E./Schmidt, R. A. (1991). Motor Programs as Units of Movement Control. In: N. I. Badler, B. A. Barsky & D. Zelzer (Hrsg.): *Making them move: Mechanics, control and animation of articulated figures* (S. 129-155). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- Zanon, S. (1997). Die alte „Theorie des Trainings“ in der Kritik. *Leistungssport* 27 (3), 18-19.
- Zastrow, H. (1996). *Jugend, Schule, Sport: Dimensionen des Begabungskonzepts*. Schorndorf: Hofmann.

- Zatsiorkij, V. M. (1996). *Krafttraining. Praxis und Wissenschaft*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Zintl, F. (1989). Biologische Grundlagen zum Training von Kraft-, Schnellkraft- und Schnelligkeitsleistungen in der Leichtathletik. *Die Lehre der Leichtathletik. Berlin (West) 28* (21/22), 1-4.
- Zuniga, E. N. (1970). Effects of skin electrode position on averaged electromyographie potentials. *Arch Phys Med Rehabil*, 70, 264-272.
- Zwick, E. B. & Konrad, P. (1994). *EMG Fibel. Ein praxisorientierter Leitfaden für Einsteiger in das kinesiologische EMG*. Berlin: Thieme.

15 Anhang

Datenstammblatt zur Untersuchung von Tilo Gold

Name:		Probanden- nummer:	
Geburtstag:		Graduierung:	
Leistungsklasse:		Gewichtsklasse:	

1. Welches sind Deine bisher grössten sportlichen Erfolge?

2. Wie lange betreibst Du bereits Judo?

3. Wie viel Trainingseinheiten hast Du pro Woche?

2 bis 3 mal 4 bis 5 mal 6 bis 7 mal Öfter, nämlich ___ mal