

Vergleich geschwindigkeitsbasierter und prozentbasierter  
Belastungssteuerung im Krafttraining bei Handballern  
im Leistungssport

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Sportwissenschaften

genehmigt durch die  
Fakultät für Humanwissenschaften  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

von Simon Overkamp  
geb. am 09.09.1985 in Münster

Gutachter: Prof. Dr. Jürgen Edelmann-Nusser  
Gutachter: Prof. Dr. med. habil. Jörg Franke

Eingereicht am: 01.06.2022  
Verteidigung der Dissertation am: 07.11.2023

# Dokumentationsblatt

## Bibliografische Beschreibung

Simon Overkamp:

Vergleich geschwindigkeitsbasierter und prozentbasierter Belastungssteuerung im Krafttraining bei Handballern im Leistungssport. -2022. 175 Bl.: 85 Abb., 57 Tab., 1 Gleichung, 2 Anlagen

## Kurzreferat

Nach Marschall und Büsch (2014) ist Last eine Belastungsgröße während Intensität eine Beanspruchungsgröße darstellt, welche über den Beanspruchungsgrad [z.B. Rate of Perceived Exertion/subjektives Belastungsempfinden (RPE)] erfasst werden sollte. Die individuelle Beanspruchung ist ein entscheidender Parameter in der Periodisierung und Implementierung des Krafttrainings. Neben der Möglichkeit einer prozentualen Skalierung des zu bewegenden Gewichts unter Berücksichtigung des Einer-Wiederholungsmaximum [(EWM) engl. 1 Repetition Maximum (1RM)] einer Trainingsübung oder einer Skalierung durch ein subjektives Beanspruchungsempfinden [z.B. RPE oder Repetitions in Reserve/ Wiederholungen bis zum Versagen (RIR)] ist eine Belastungsgestaltung basierend auf der durchschnittlichen konzentrischen Bewegungsgeschwindigkeit der Langhantel (LH) während der Wiederholung (WDH) der Trainingsübung praktikabel. Die erreichte Hantelgeschwindigkeit bildet demnach den Beanspruchungsgrad. Der Vergleich dieser beiden Methoden der Belastungsgestaltung im Kontext des Krafttrainings der Sportart Handball war das Ziel der vorliegenden Überkreuzstudie. Dafür absolvierten Handballspieler aus dem Leistungssportlichen Bereich (n=20) (Alter:  $18,8 \pm 1,77$  Jahre; Größe:  $187,8 \pm 5,3$  cm; Gewicht:  $86,1 \pm 10,1$  kg) jeweils zwei 12-wöchige Krafttrainingsinterventionen unterteilt in geschwindigkeitsbasierte und prozentbasierte Belastungsgestaltung. Beide Versuchsgruppen trainierten über einen Zeitraum von sechs Wochen in zwei Trainingseinheiten pro Woche im Maximalkraftbereich, gefolgt von einer zweiten 6-wöchigen Trainingsintervention im Schnellkraftbereich. Während der Schnellkraftintervention wurde ebenfalls zweimal wöchentlich trainiert. Versuchsgruppe A (n=10) unterzog sich der Methodik des geschwindigkeitsbasierten Trainings (GBT, engl. Velocity Based Training, VBT) und bewegte in Folge dessen die vorgegebenen Lasten mit  $< 0,5$  Metern pro Sekunde (m/s) im Maximalkraftbereich sowie mit  $0,6 - 1,0$  m/s im Schnellkraftbereich. Versuchsgruppe B (n=10) trainierte nach den Prinzipien des prozentbasierten Trainings (PBT) und verwendete Lasten von  $85 - 90\%$  (1RM) im Maximalkraftbereich sowie  $40 - 60\%$  (1RM) im Schnellkraftbereich. Als Ausgangstest, sowie als Re-Tests nach jeweils beiden Trainingsinterventionen, wurden für sämtliche Probanden die Leistungsparameter 1RM Frontkniebeuge, 1RM Bankdruck, Schlagwurf-test, Standweitsprung, 5 Meter (m), 10m und 20m Sprintzeit sowie drei Vertikal-sprungvarianten [Drop Jump (DJ), Counter-Movement Jump (CMJ) und Squat Jump

(SJ)] erhoben. Nach Beendigung von Leistungsdiagnostik T1-3 folgte eine 4-wöchige, versuchsgruppenübergreifende Detrainingsphase. Alle Daten wurden mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung überprüft. Der t-Test und die ANOVA (Einfaktorielle Varianzanalyse) für normalverteilte sowie der U-Test für nicht normalverteilte Variablen wurden als statistische Verfahren eingesetzt. Das Signifikanzniveau ( $p$ ) wurde bei  $p < 0,05$  festgelegt. Zur deskriptiven Beschreibung der Daten wurden das arithmetische Mittel (MW) und die Standardabweichung (engl. Standard Deviation, SD), d.h.  $(MW \pm SD)$  verwendet. Im Anschluss erfolgte die zweite Studienphase inklusive gegensätzlicher Trainingsmethodik. Im Intragruppenvergleich zeigte sich, dass im Kontext der Versuchsgruppen eine Skalierung der Beanspruchung des Krafttrainings durch die Bewegungsgeschwindigkeit keine signifikant leistungssteigernde Wirkung bezüglich der Maximal- und Relativkraft der Trainingsübungen Frontkniebeuge und Bankdrücken gegenüber einer prozentbasierten Belastungssteuerung besitzt. Die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Leistungsparameter Sprint, Sprung und Wurf zeigen im Kontext der Versuchsgruppen mehrheitlich eine signifikant leistungssteigernde Wirkung der Trainingsmethodik des geschwindigkeitsbasierten Trainings gegenüber dem prozentbasierten Training. Weitere Studien sollten zeigen, ob auch sportartübergreifend bei größeren Populationen eine leistungssteigernde Wirkung der geschwindigkeitsbasierten Belastungssteuerung festzustellen ist.

### **Schlüsselwörter:**

Geschwindigkeitsbasiertes Krafttraining, prozentbasiertes Krafttraining, Belastungssteuerung, Handball, Frontkniebeuge, Bankdrücken, Maximalkraft, Schnellkraft

# Inhaltsverzeichnis

<b>Dokumentationsblatt</b> .....	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>11</b>
<b>Gleichungsverzeichnis</b> .....	<b>13</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>14</b>
<b>1 Einleitung und allgemeine Problemstellung</b> .....	<b>16</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Einführung prozent- und geschwindigkeitsbasiertes Training</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2 Kraft im Kontext des Anforderungsprofils der Sportart Handball</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3 Definition der motorischen Fähigkeit Kraft</b> .....	<b>29</b>
2.3.1 <i>Maximalkraft</i> .....	30
2.3.2 <i>Schnellkraft</i> .....	33
2.3.3 <i>Schnelligkeit</i> .....	37
2.3.4 <i>Kraftausdauer</i> .....	38
<b>2.4 Adaptionen an das Krafttraining</b> .....	<b>40</b>
2.4.1 <i>Neuronale Adaptionen</i> .....	40
2.4.2 <i>Morphologische Adaptionen</i> .....	42
2.4.2.1 <i>Muskelfaserstrukturen</i> .....	42
2.4.2.2 <i>Passiver Bewegungsapparat</i> .....	45
2.4.3 <i>Enzymatische Adaptionen</i> .....	46
2.4.4 <i>Endokrinologische Adaptionen</i> .....	46
<b>2.5 Krafttrainingsmethoden</b> .....	<b>48</b>
2.5.1 <i>Neuro- bzw. Intramuskuläres Koordinationstraining</i> .....	49
2.5.2 <i>Hypertrophietraining</i> .....	50
2.5.3 <i>Schnellkrafttraining und Plyometrisches Training</i> .....	53
2.5.4 <i>Transfer von gesteigerter Krafftähigkeit in motorische Zielbewegungen</i> ..	54
<b>2.6 Periodisierung des Krafttraining</b> .....	<b>57</b>

<b>3</b>	<b>Forschungsfragen und Hypothesen .....</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>Probanden und Studiendesign .....</b>	<b>68</b>
<b>4.2</b>	<b>Krafttrainingsinterventionen.....</b>	<b>69</b>
	<i>4.2.1 Technikerwerbstraining .....</i>	<i>71</i>
	<i>4.2.2 Maximalkraftintervention.....</i>	<i>73</i>
	<i>4.2.3 Schnellkraftintervention .....</i>	<i>77</i>
	<i>4.2.4 Erwärmung .....</i>	<i>80</i>
	<i>4.2.5 Nachbereitung .....</i>	<i>90</i>
	<i>4.2.6 Monitoringverfahren und Trainingsmotivation.....</i>	<i>90</i>
<b>4.3</b>	<b>Trainingsübungen.....</b>	<b>92</b>
	<i>4.3.1 Hauptübung Frontkniebeuge .....</i>	<i>92</i>
	<i>4.3.2 Hauptübung Bankdrücken .....</i>	<i>96</i>
	<i>4.3.3 Ergänzungsübungen .....</i>	<i>98</i>
	<i>4.3.3.1 Langhantel Rumänisches Kreuzheben .....</i>	<i>98</i>
	<i>4.3.3.2 Langhantelrudern vorgebeugt.....</i>	<i>100</i>
	<i>4.3.3.3 Nordic Hamstring Curls.....</i>	<i>101</i>
	<i>4.3.3.4 Kurzhantelrudern vorgebeugt einarmig.....</i>	<i>103</i>
<b>4.4</b>	<b>Messmethodik .....</b>	<b>104</b>
	<i>4.4.1 Messsystem .....</i>	<i>105</i>
	<i>4.4.2 Geschwindigkeitszonen.....</i>	<i>106</i>
	<i>4.4.3 Geschwindigkeitsveränderungen durch Autoregulation.....</i>	<i>106</i>
	<i>4.4.4 Gewichts Anpassung .....</i>	<i>109</i>
	<i>4.4.5 Externe Rückkopplung .....</i>	<i>109</i>
<b>4.5</b>	<b>Leistungsdiagnostik: Erwärmung und Protokoll .....</b>	<b>109</b>
	<i>4.5.1 Messung Anthropometrie .....</i>	<i>110</i>
	<i>4.5.2 Testprotokoll 1RM Frontkniebeuge.....</i>	<i>111</i>
	<i>4.5.3 Testprotokoll 1RM Bankdrücken.....</i>	<i>112</i>
	<i>4.5.4 Testprotokoll Standweitsprung .....</i>	<i>113</i>
	<i>4.5.5 Testprotokoll Schlagwurf aus dem Stand .....</i>	<i>114</i>
	<i>4.5.6 Testprotokoll 20 m Sprint.....</i>	<i>115</i>
	<i>4.5.7 Testprotokoll Drop Jump .....</i>	<i>116</i>

4.5.8	<i>Testprotokoll Countermovement Jump</i> .....	117
4.5.9	<i>Testprotokoll Squat Jump</i> .....	117
<b>4.6</b>	<b>Datenverarbeitung</b> .....	<b>118</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>120</b>
<b>5.1</b>	<b>Anthropometrische Daten</b> .....	<b>120</b>
5.1.1	<i>Entwicklung der Körpergröße im Längsschnitt</i> .....	121
5.1.2	<i>Entwicklung des Körpergewichts im Längsschnitt</i> .....	121
<b>5.2</b>	<b>Leistungsentwicklung der Versuchsgruppen im Längsschnitt</b> .....	<b>122</b>
<b>5.3</b>	<b>Frontkniebeuge</b> .....	<b>122</b>
5.3.1	<i>1RM Frontkniebeuge</i> .....	122
5.3.2	<i>Relativkraftentwicklung Frontkniebeuge</i> .....	124
<b>5.4</b>	<b>Bankdrücken</b> .....	<b>126</b>
5.4.1	<i>RM Bankdrücken</i> .....	126
5.4.2	<i>Relativkraftentwicklung Bankdrücken</i> .....	128
<b>5.5</b>	<b>Schlagwurf aus dem Stand</b> .....	<b>130</b>
<b>5.6</b>	<b>Sprint</b> .....	<b>132</b>
5.6.1	<i>20 m Sprint</i> .....	132
5.6.2	<i>10 m Zwischenzeit</i> .....	134
5.6.3	<i>5 m Zwischenzeit</i> .....	136
<b>5.7</b>	<b>Sprung</b> .....	<b>138</b>
5.7.1	<i>Drop Jump</i> .....	138
5.7.1.1	<i>Sprunghöhe</i> .....	138
5.7.1.2	<i>Bodenkontaktzeit</i> .....	140
5.7.1.3	<i>Reaktivkraftindex</i> .....	142
5.7.2	<i>Countermovement Jump</i> .....	144
5.7.3	<i>Squat Jump</i> .....	146
5.7.4	<i>Standweitsprung</i> .....	149
<b>5.8</b>	<b>Monitoringverfahren</b> .....	<b>151</b>
<b>5.9</b>	<b>Trainingsmotivation</b> .....	<b>156</b>
<b>6</b>	Simon Overkamp: Vergleich geschwindigkeitsbasierter und prozentbasierter Belastungssteuerung im Krafttraining bei Handballern im Leistungssport	

5.10	Hypothesenübersicht .....	158
<b>6</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>159</b>
6.1	Methodendiskussion .....	159
	6.1.1 Auswahl der Stichprobe.....	159
	6.1.2 Datenerfassung .....	159
6.2	Ergebnisdiskussion .....	160
6.3	Maximalkraftentwicklung .....	160
	6.3.1 1RM und REL Frontkniebeuge .....	160
	6.3.2 1RM und REL Bankdrücken .....	161
6.4	Schnell- und Reaktivkraftentwicklung .....	162
	6.4.1 Sprint .....	162
	6.4.2 Horizontaler Sprung.....	162
	6.4.3 Vertikaler Sprung.....	163
	6.4.4 Wurf.....	165
6.5	Monitoringdaten.....	166
6.6	Einflussfaktor autoreglatives Feedback .....	168
	6.6.1 Externe vs interne Coaching-Hinweise vs Feedback.....	170
6.7	Limitationen der Studie .....	172
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>173</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>174</b>
	<b>Anlagen</b>	

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: What`s Important Now (WIN)-Pyramide der sportlichen Leistungsvoraussetzungen .....	17
Abbildung 2: Ideale lineare Kraft-Geschwindigkeit Beziehung .....	24
Abbildung 3: Anaerob-alaktazide Energiebereitstellung.....	32
Abbildung 4: Rate of Force Development.....	35
Abbildung 5: Kraft-Geschwindigkeit Relation .....	36
Abbildung 6: Motorische Einheit .....	40
Abbildung 7: Der Aufbau einer Muskelfaser .....	42
Abbildung 8: Periodisierungsmodell nach Matveev.....	58
Abbildung 9: Ablauf eines Maximalkrafttrainings (VBT und PBT) .....	75
Abbildung 10: Ablauf eines Schnellkrafttrainings (VBT und PBT).....	78
Abbildung 11: Standardisierte Erwärmung nach M.A.P.S. ....	81
Abbildung 12: Mobilisierung oberes Sprunggelenk mit Traktion .....	82
Abbildung 13: Hüftaußenrotation und Hüftinnenrotation aus dem Z-Sitz .....	82
Abbildung 14: Hüftmobilisierung in der Adduktoren-Wippe .....	83
Abbildung 15: Mobilisierung Brustwirbelsäule in Extension und Schulter .....	83
Abbildung 16: Mobilisierung Brustwirbelsäule in Rotation.....	84
Abbildung 17: Aktivierung Hüftaußenrotatoren: Miniband Walk.....	84
Abbildung 18: Aktivierung ventrale Rumpfmuskulatur und Scapulafixatoren: Krabbeln .....	85
Abbildung 19: Aktivierung ventrale Rumpfmuskulatur und Scapulafixatoren: Schulteruhr .....	85
Abbildung 20: Aktivierung dorsale Rumpfmuskulatur.....	86
Abbildung 21: Aktivierung gluteale Muskulatur .....	86
Abbildung 22: Aktivierung ventrale Rumpfmuskulatur.....	87
Abbildung 23: Potenzierung: Hopselauf .....	87
Abbildung 24: Potenzierung: Prellhopsler .....	88
Abbildung 25: Potenzierung: Seitlicher Shuffle .....	88
Abbildung 26: Potenzierung: Seitlicher Kreuzlauf .....	89
Abbildung 27: Potenzierung: 10m-Antritt.....	89
Abbildung 28: Statisches Dehnprogramm .....	90
Abbildung 29: Gewichtheberschuh mit Fersenkeil .....	93
Abbildung 30: Studienleiter demonstriert Fronthalteposition mit Zughilfen .....	94

Abbildung 31: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Frontkniebeuge .....	95
Abbildung 32: Studienleiter demonstriert Endposition Frontkniebeuge.....	95
Abbildung 33: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Bankdrücken .....	97
Abbildung 34: Studienleiter demonstriert Endposition Bankdrücken.....	97
Abbildung 35: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Rumänisches Kreuzheben .....	99
Abbildung 36: Studienleiter demonstriert Endposition Rumänisches Kreuzheben .	99
Abbildung 37: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition LH Rudern vorgebeugt .....	100
Abbildung 38: Studienleiter demonstriert Endposition LH Rudern vorgebeugt .....	101
Abbildung 39: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Nordic Hamstring Curl .....	102
Abbildung 40: Studienleiter demonstriert Nordic Hamstring Curl Exzentrik .....	102
Abbildung 41: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition KH Rudern vorgebeugt einarmig.....	103
Abbildung 42: Studienleiter demonstriert Endposition KH Rudern vorgebeugt einarmig.....	104
Abbildung 43: Vmaxpro Sensor zentral platziert auf einer Langhantel .....	105
Abbildung 44: Endposition zur Messung der Körperhöhe stehend .....	111
Abbildung 45: Standweitsprung.....	114
Abbildung 46: Schlagwurf aus dem Stand.....	115
Abbildung 47: 20 m Sprint. ....	115
Abbildung 48: Drop Jump .....	116
Abbildung 49: Countermovement Jump .....	117
Abbildung 50: Squat Jump .....	118
Abbildung 51: 1RM Frontkniebeuge in kg im Intergruppenvergleich T1-1 bis T1-3 .....	123
Abbildung 52: 1RM Frontkniebeuge in kg im Intergruppenvergleich T2-1 bis T2-3 .....	124
Abbildung 53: Entwicklung REL FKB T1-1 bis T1-3.....	125
Abbildung 54: Entwicklung REL FKB T2-1 bis T2-3.....	126
Abbildung 55: 1RM Bankdrücken in kg im Intergruppenvergleich T1-1 bis T1-3 ..	127
Abbildung 56: 1RM Bankdrücken in kg im Intergruppenvergleich T2-1 bis T2-3 ..	128
Abbildung 57: Entwicklung REL BD T1-1 bis T1-3.....	129
Abbildung 58: Entwicklung REL BD T2-1 bis T2-3.....	130

Abbildung 59: Wurf <sub>max</sub> in km/h T1-1 bis T1-3 .....	131
Abbildung 60: Wurf <sub>max</sub> in km/h T2-1 bis T2-3 .....	132
Abbildung 61: 20 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T1-1 bis T1-3.....	133
Abbildung 62: 20 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T2-1 bis T2-3.....	134
Abbildung 63: 10 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T1-1 bis T1-3.....	135
Abbildung 64: 10 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T2-1 bis T2-3.....	136
Abbildung 65: 5 m Sprintzeiten im Mittelwert in Sekunden T1-1 bis T1-3.....	137
Abbildung 66: 5 m Sprintzeiten im Mittelwert in Sekunden T2-1 bis T2-3.....	138
Abbildung 67: Sprunghöhe Drop Jump im Mittelwert T1-1 bis T1-3.....	139
Abbildung 68: Sprunghöhe Drop Jump im Mittelwert T2-1 bis T2-3.....	140
Abbildung 69: Bodenkontaktzeiten Drop Jump im Mittelwert T1-1 bis T1-3.....	141
Abbildung 70: Bodenkontaktzeiten Drop Jump im Mittelwert T2-1 bis T2-3.....	142
Abbildung 71: RKI beim Drop Jump im Mittelwert T1-1 bis T1-3 .....	143
Abbildung 72: RKI beim Drop Jump im Mittelwert T2-1 bis T2-3 .....	144
Abbildung 73: CMJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T1-1 bis T1-3 .....	145
Abbildung 74: CMJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T2-1 bis T2-3 .....	146
Abbildung 75: SJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T1-1 bis T1-3 .....	148
Abbildung 76: SJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T2-1 bis T2-3 .....	148
Abbildung 77: Standweitsprungweiten im Mittelwert in m im Zeitraum T1-1 bis T1-3 .....	150
Abbildung 78: Standweitsprungweiten im Mittelwert in m im Zeitraum T2-1 bis T2-3 .....	150
Abbildung 79: Morgendlicher Ruhepuls im Wochendurchschnitt im Studienverlauf .....	151
Abbildung 80: Schlafquantität im Wochendurchschnitt im Studienverlauf .....	153
Abbildung 81: Schlafqualität im Wochendurchschnitt im Studienverlauf.....	154
Abbildung 82: Morgendliche Befindlichkeit im Wochendurchschnitt im Studienverlauf .....	155
Abbildung 83: Subjektives Belastungsempfinden im Wochendurchschnitt im Studienverlauf.....	156
Abbildung 84: Trainingsmotivation im Wochendurchschnitt im Studienverlauf .....	157

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: RPE bzw. RIR verglichen mit PBT und verglichen mit VBT .....	19
Tabelle 2: 1RM Tabelle .....	23
Tabelle 3: VBT-PBT Korrelation verschiedener Trainingsübungen.....	25
Tabelle 4: Strength-Velocity Continuum .....	26
Tabelle 5: Überblick prozentbasierter Krafttrainingsinterventionen Spielsportarten	28
Tabelle 6: Korrelation zwischen Maximalkraftleistungen und Schnellkraftleistungen .....	34
Tabelle 7: Belastungsnormativa NK/IK-Training.....	50
Tabelle 8: Belastungsnormativa Hypertrophietmethode .....	53
Tabelle 9: Belastungsnormativa Schnellkraftmethode .....	54
Tabelle 10: Belastungsnormativa Reaktivkraftmethode .....	54
Tabelle 11: Ganzheitliches motorisches Entwicklungsmodell im Kindes- und Jugendalter .....	59
Tabelle 12: Biometrische Daten der Handballer im Eingangstest .....	69
Tabelle 13: Studien zum Thema Krafttrainingsintervention inkl. Nutzung VBT .....	71
Tabelle 14: Chronologischer Aufbau der Untersuchung .....	71
Tabelle 15: Ablauf Technikerwerbstraining .....	73
Tabelle 16: Wochenverlauf: Spieltag am Freitag .....	74
Tabelle 17: Wochenverlauf: Spieltag am Samstag .....	74
Tabelle 18: Wochenverlauf: Spieltag am Sonntag .....	74
Tabelle 19: Wochenverlauf: Englische Woche .....	74
Tabelle 20: Belastungsnormativa Maximalkraftinterventionen PBT-Gruppe.....	76
Tabelle 21: Belastungsnormativa Maximalkraftinterventionen VBT-Gruppe.....	77
Tabelle 22: Belastungsnormativa Schnellkraftinterventionen PBT-Gruppe .....	79
Tabelle 23: Belastungsnormativa Schnellkraftinterventionen VBT-Gruppe .....	79
Tabelle 24: Übersicht über erhobene Belastungs- bzw. Regenerationsparameter.	92
Tabelle 25: Maximalkraftintervention VBT Gruppe in der Frontkniebeuge.....	107
Tabelle 26: Maximalkraftintervention VBT Gruppe im Bankdrücken .....	108
Tabelle 27: Schnellkraftintervention VBT Gruppe in der Frontkniebeuge .....	108
Tabelle 28: Schnellkraftintervention VBT Gruppe im Bankdrücken .....	108
Tabelle 29: Standardisierte Testabfolge .....	110
Tabelle 30: Testprotokoll T1-1 1RM Fronkniebeuge .....	112
Tabelle 31: Testprotokoll T1-2 – T2-3 1RM Fronkniebeuge.....	112

Tabelle 32: Testprotokoll T1-1 1RM Bankdrücken .....	113
Tabelle 33: Testprotokoll T1-2 – T2-3 1RM Bankdrücken.....	113
Tabelle 34: Entwicklung der Körpergröße im Längsschnitt .....	120
Tabelle 35: Entwicklung des Körpergewichts im Längsschnitt.....	121
Tabelle 36: 1RM Frontkniebeuge in der Längsschnittentwicklung .....	123
Tabelle 37: REL FKB in der Längsschnittentwicklung.....	125
Tabelle 38: 1RM Bankdrücken in der Längsschnittentwicklung .....	127
Tabelle 39: REL BD in der Längsschnittentwicklung.....	129
Tabelle 40: Wurf <sub>max</sub> im Schlagwurf aus dem Stand in der Längsschnittentwicklung: .....	131
Tabelle 41: 20m Sprintzeiten in Sekunden (Sek) in der Längsschnittentwicklung	133
Tabelle 42: 10m Sprintzeiten in Sekunden in der Längsschnittentwicklung.....	135
Tabelle 43: 5 m Sprintzeiten in Sekunden in der Längsschnittentwicklung.....	137
Tabelle 44: DJ Sprunghöhe in cm in der Längsschnittentwicklung .....	139
Tabelle 45: 40cm DJ BKZ in ms in der Längsschnittentwicklung .....	141
Tabelle 46: RKI DJ in der Längsschnittentwicklung .....	143
Tabelle 47: SH CMJ in cm in der Längsschnittentwicklung.....	145
Tabelle 48: SH SJ in cm in der Längsschnittentwicklung .....	147
Tabelle 49: SW in m beim SWS in der Längsschnittentwicklung .....	149
Tabelle 50: MW der Ruheherzfrequenz im Methodenvergleich .....	151
Tabelle 51: MW der Schlafdauer im Methodenvergleich.....	152
Tabelle 52: MW der Schlafqualität im Methodenvergleich .....	153
Tabelle 53: MW der Befindlichkeit im Methodenvergleich.....	154
Tabelle 54: MW der sRPE im Methodenvergleich.....	155
Tabelle 55: MW der Trainingsmotivation im Methodenvergleich.....	157
Tabelle 56: Hypothesenübersicht .....	158
Tabelle 57: APRE-System.....	169

## Gleichungsverzeichnis

1	Umrechnung von Cohen`s d in den Korrelationskoeffizienten r nach McGrath & Meyer .....	119
---	---	-----

# Abkürzungsverzeichnis

$\alpha$	Irrtumswahrscheinlichkeit alpha
$\beta$	Beta
$\Delta$	Delta/Differenz
1RM	1 Repetition Maximum
a	Beschleunigung
Abb.	Abbildung
ANOVA	Varianzanalyse
ATP	Adenosintriphosphat
ATPase	Adenosintriphosphatase
BD	Bankdrücken
BKZ	Bodenkontaktzeit
BMD	Bone Mineral Density; Knochenmineraldichte
Ca	Calcium
ca.	Circa
Ca <sup>2</sup>	Aktives Calcium
cm	Zentimeter
CMJ	Countermovement Jump
DEXA	Dual Energy X-ray Absorptiometry; Dual-Röntgen-Absorptiometrie
DHB	Deutscher Handball Bund
DJ	Drop Jump
DNA	Deoxyribonucleic Acid
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DVZ	Dehnungsverkürzungszyklus
EMG	Elektromyografie
engl.	Englisch
et al.	et alii; et aliae
etc.	Et cetera
EWM	Einerwiederholungsmaximum
F	Force; Kraft
FKB	Frontkniebeuge
FT	Fast-twitch; schnell-zuckende Muskelfasern
g	Gramm
GH	Growth Hormone; Wachstumshormon
HGF	Hepatocyte Growth Factor
iEMG	Integrierte Elektromyografie
IGF-1	Insulin-Like Growth Factor 1
IK	Intramuskuläre Koordination
KH	Kurzhandel
KI	Konfidenzintervall
KP	Kreatinphosphat
KSP	Körperschwerpunkt
LBT	Load Based Training; Lastenbasiertes Training
LD	Leistungsdiagnostik
LH	Langhandel
LLA	Langfristiger Leistungsaufbau
M.	Muskulus
m	Meter
m	Masse

MAP	Mitogen-Activated Protein
M.A.P.S.	Mobilisierung; Aktivierung; Potenzierung; Spezifizierung
ME	Motoreinheit
MGF	Mechano Growth Factor
MHC	Myosin-Heavy-Chain
ms	Millisekunde
mTor	mechanistic Target of Rapamycin
MW	Mittelwert
MCV	Mean Concentric Velocity
MVC	Maximal Voluntary Contraction
MVT	Minimal Voluntary Threshold
N	Newton
NK	Neuromuskuläre Koordination
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
p	Überschreitungswahrscheinlichkeit; Signifikanzwert
PAP	Post Activation Potentiation
PBT	Percentage Based Training; Prozentbasiertes Training
r	Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation
REL	Relativkraft
REL BD	Am Körpergewicht relativiertes 1RM Bankdrücken
REL FKB	Am Körpergewicht relativiertes 1RM Frontkniebeuge
RFD	Rate of Force Development; Kraftanstiegsrate
RIR	Repetitions in Reserve; Wiederholungen bis zum Versagen
RKI	Reaktivkraftindex
RPE	Rate of Perceived Exertion; subjektives Belastungsempfinden
SD	Standard Deviation; Standardabweichung
SH	Sprunghöhe
SJ	Squat Jump
SR	Sarkoplasmatisches Retikulum
sRPE	Session RPE; subjektiv empfundene Beanspruchung der TE
ST	Slow-Twitch; langsam zuckende Muskelfasern
SW	Sprungweite
SWS	Standweitsprung
T1-1 – T3-1	Leistungsdiagnostiken
TE	Trainingseinheit(en)
U19	Unter 19 Jahre; A-Jugend
U23	Unter 23 Jahre; Senioren
VBG	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
VBT	Velocity Based Training; geschwindigkeitsorientiertes Training
VG A	Versuchsgruppe A
VG B	Versuchsgruppe B
vs	Versus
WDH	Wiederholung
W.I.N.	What's Important Now
Wurf <sub>max</sub>	Maximale Wurfgeschwindigkeit
ZNS	Zentrales Nervensystem

# 1 Einleitung und allgemeine Problemstellung

Die Sportart Handball ist als Sportspiel zu klassifizieren. Das Anforderungsprofil der Sportart Handball stellt sich durchaus komplex dar. Leistungsvoraussetzung für eine hohe Spiel- und Leistungsfähigkeit im Sinne der technischen und taktischen Fähigkeiten eines Handballspielers sind gewisse konditionelle Leistungsmerkmale (Ribbecke et al., 2018). Die Ausbildung dieser physischen Leistungsvoraussetzungen [Abbildung 1 (Abb. 1)] ist die Grundlage des Athletiktrainings in der Sportart Handball. Bei einer intermittierend schnellkraftorientierten Sportart wie Handball bedarf es eines besonderen Fokus' auf die Entwicklung der unterschiedlichen Krafftfähigkeiten eines Handballspielers. Hierbei sind vorrangig die beiden grundlegenden Säulen des Athletiktrainings zu berücksichtigen: Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Erhöhung der Belastungsverträglichkeit bzw. eine Verringerung des Risikos für verletzungsbedingte Ausfälle der Sportler. Nicht nur die Krafftfähigkeiten als Grundlage für verbesserte Sprint-, Sprung- und Wurfleistungen (Baker et al., 2008; Chelly et al., 2010; Harris et al., 2008; Hori et al., 2005; McBride et al., 2009; Smirnitou, et al., 2008; Wisloff, et al., 2004; Young, et al., 1995a), sondern auch die aus verbesserten Kraftleistungen resultierende, erhöhte Widerstandsfähigkeit (Ebben, 2009; Fröhlich, 2014; Masanovic et al., 2020) im Kontext der Kontaktsportart Handball sind elementare Leistungsvoraussetzungen. Das Training und die Entwicklung der motorischen Fähigkeit Kraft sind Gegenstand zahlloser sportwissenschaftlicher Untersuchungen. Es gibt wohl wenige Themen, die so kontrovers diskutiert werden, welche so viele Trainingsmethoden und Trainingsprinzipien hervorbringen, entwickeln und „neu erfinden“ wie das Krafttraining. Von besonderem Forschungsinteresse für den Autor war daher die Untersuchung einer Trainingsmethodik mit hoher praktischer Applikationsfähigkeit, die zwar trainingsbegleitend eingesetzt werden kann, die aber auch einen trainingsdiagnostischen Mehrwert mit sich bringt, aus dem individuelle Trainingsableitungen darstellbar sind: Das geschwindigkeitsorientierte Training.



Abbildung 1: What's Important Now (WIN)-Pyramide der sportlichen Leistungsvoraussetzungen, adaptiert nach Ribbecke et al. (2018)

Die Pyramidenform mit kürzer werdenden Balken wurde gewählt, um zu veranschaulichen, dass die unteren Parameter der Leistungsfähigkeit Bedingung für die darüberliegenden Parameter sind. Sie ist allgemein und sportartenübergreifend gültig.

„Theoretische Überlegungen auf der Basis des trainingswissenschaftlichen Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts sowie empirische Befunde und Erfahrungen aus der Trainingspraxis lassen den Schluss zu, dass für ein zielgerichtetes Krafttraining die gängigen Belastungsgrößen durch die Angabe weiterer, auf die jeweils anpassungsrelevante Beanspruchung ausgerichtete Parameter ergänzt werden müssen. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass entgegen der dominierenden Auffassung die am Einer-Wiederholungs-Maximum (EWM) relativierte Last nicht als Beanspruchungsintensität, sondern ausschließlich als (absolute) Lastangabe und damit Belastungsgröße betrachtet werden muss. Die Intensität ist vielmehr eine Beanspruchungsgröße, die über den Anstrengungsgrad erfasst werden sollte“ (Marschall et al., 2014). Die „traditionelle“ Methode dieser Gestaltung der Belastung basiert auf der Implementierung gewisser Gewichte, welche einem bestimmten Prozentsatz am ermittelten EWM [engl. 1-Repetition Maximum (1RM)] (Borresen et al., 2008; Toigo et al., 2006; Abe et al., 2000; Baechle et al., 2000; Baker et al., 1999; Baker et al., 1996) entsprechen. Eine prozentbasierte respektive lastenbasierte Belastungsgestaltung bezieht sich einzig auf die zu bewegenden Gewichte, d.h. das Erzielen eines trainingswirksamen Reizes mittels einer absoluten Last gleichbedeutend mit einer prozentualen Beanspruchung basierend auf dem 1RM des Trainierenden. Keine Berücksichtigung findet in diesem Zusammenhang die physische und psychische Verfassung des Sportlers. So werden 80 % eines 1RM von 100 kg bei der Nackenkniebeuge immer 80 kg entsprechen. Der Ermüdungszustand, die Tagesform oder der mentale Zustand des Sportlers werden in der Methodik der prozentbasierten Belastungsgestaltung ignoriert. Eston und Evans (2009) sowie Gonzalez-Badillo und

Sanchez-Medina (2010) hinterfragen durchaus kritisch die Sinnhaftigkeit einer Verordnung von relativen submaximalen Lasten, welche auf einem potentiell obsoleten 1RM beruhen. Die gleiche Belastung kann an verschiedenen Tagen eine unterschiedliche Beanspruchung bedeuten. Es ist zu beachten, dass das tägliche 1RM im Zeitraum eines Monats um bis zu  $\pm 18\%$  schwanken kann (Flanagan & Jovanovic, 2014). Am Beispiel der Spielsportart Handball mit einem bis drei Spielen pro Woche, individuell ständig wechselnden Belastungen in Spiel und Training, unterschiedlichen Einsatzminuten im Spiel etc. (Foretic et al., 2010; Kniubaite et al., 2019; Laver et al., 2018) wird offenkundig, dass eben jene 80 kg eine durchaus variable Beanspruchung sein können abhängig von einer Vielzahl anderer Belastungsfaktoren und -einflüsse. Die Belastung ist eine externe Größe, auf die ein Sportler mit einer bestimmten Beanspruchung reagiert. Dieselbe Belastung kann an zwei Trainingstagen in zwei völlig unterschiedlichen Beanspruchungen resultieren. Das zuvor angesprochene, täglich fluktuierende 1RM führt dazu, dass unterschiedliche, submaximale Belastungen unterschiedliche Beanspruchungen bedeuten. Beträgt das 1RM in der Langhantel (LH) Kniebeuge am Montag 200 kg, so sind 180 kg gleichbedeutend mit einer Beanspruchung von 90 % des 1RM. Sollte das tägliche 1RM am Freitag aus diversen Gründen, 190 kg betragen, so bedeutet in diesem Fall 180 kg eine Beanspruchung von fast 95 % des 1RM. Die Möglichkeit, ein variables bzw. autoregulatives 1RM als Grundlage der täglichen Belastungssteuerung im Krafttraining zu nutzen, wird durchaus bereits praktiziert. Basierend auf dem individuellen Verständnis des Trainierenden, die erfahrene Belastung subjektiv zu skalieren, werden die Synonyme „Rate der wahrgenommenen Anstrengung“ [engl. Rate of Perceived Exertion (RPE)] auf einer Skala von 1 bis 10 oder Wiederholungen in Reserve [engl. Reps in Reserve (RIR)] (Helms et al., 2016) verwendet. RIR beziffert die Anzahl an Wiederholungen einer Krafttrainingsübung, welche der Trainierende subjektiv nach Beendigung des Trainingssatzes noch hätte absolvieren können, ohne zu versagen. Diese Skalierung setzt die realistische Selbsteinschätzung des Sportlers in Bezug auf die Trainingsbeanspruchung voraus (vgl. Tabelle 1). Die Einschätzung des eigenen RPE sorgt für einen Trainingsreiz, welcher die Beanspruchungsabsicht des verordneten prozent- oder lastenbasierten Trainings [engl. Percentage Based Training/Load Based Training (PBT/LBT)] nachempfinden, jedoch die aktuelle Tagesform des Sportlers sowie dessen persönliche Einschätzung seiner akuten Leistungsfähigkeit (engl. Readiness) berücksichtigen soll. Während das Konzept der subjektiven Rückkopplung eine hohe Reliabilität in Bezug auf die Bestimmung von individueller Anstrengung (Hackett et al., 2018; Hackett et al., 2012) abbildet, steht die Genauigkeit dieses Belastungsempfindens in direkter Korrelation zur Art der Trainingsübung (Hackett et al., 2017), Annäherung des muskulären Versagens (Hackett et al., 2012; Hackett et al., 2017) und (wie angesprochen) Krafttrainingserfahrung (Steele et al., 2017; Testa et al., 2012). Zudem verlagert sich die Kontrolle über die Trainingsbelastung verstärkt vom Einflussbereich des Trainers in Richtung des Sportlers. Anzumerken ist darüber hinaus, dass ein Minimum an Wiederholungen absolviert werden muss, bevor Trainingsinterpretationen getroffen werden können (Helms et al., 2016). Dies kann zu

unerwünschter Ermüdung der Trainierenden führen, ehe Lastmodifikationen vorgenommen werden können.

Tabelle 1: RPE (Rate of Perceived Exertion/subjektives Belastungsempfinden) bzw. RIR (Repetitions in Reserve; Wiederholungen bis zum Versagen) verglichen mit PBT und verglichen mit VBT nach Senn (2018). AMRAP: As Many Reps As Possible (So viele Wiederholungen wie möglich), RE: Rate of Exhaustion (Ermüdungsgrad).

Beispielsweise entspricht eine Skalierung von 3+ (s. Tabelle linke obere Seite) im Schema RIR gleichfalls eine moderaten Belastung nach RE (s. Tabelle rechte obere Seite). Auch besteht eine direkte Vergleichbarkeit von 100% nach PBT und der Bewegungsgeschwindigkeit von 0,28 m/s nach VBT (s. Tabelle linke untere Seite).

RIR	RPE	Reps												RE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3+	7	90%	87%	84%	81%	78%	77%	75%	74%	72%	71%	69%	68%	Moderate
		.37 m/s	.40 m/s	.43 m/s	.46 m/s	.49 m/s	.50 m/s	.52 m/s	.52 m/s	.54 m/s	.55 m/s	.57 m/s	.58 m/s	
3+	7.5	92%	89%	86%	83%	80%	78%	76%	75%	73%	72%	70%	69%	Moderate
		.36 m/s	.38 m/s	.41 m/s	.44 m/s	.47 m/s	.49 m/s	.51 m/s	.52 m/s	.53 m/s	.54 m/s	.56 m/s	.57 m/s	
2	8	94%	90%	87%	84%	81%	78%	77%	75%	74%	72%	71%	69%	Challenging
		.34 m/s	.37 m/s	.40 m/s	.43 m/s	.46 m/s	.49 m/s	.50 m/s	.52 m/s	.52 m/s	.54 m/s	.55 m/s	.57 m/s	
2	8.5	95%	92%	89%	86%	83%	80%	78%	76%	75%	73%	72%	70%	Challenging
		.33 m/s	.36 m/s	.38 m/s	.41 m/s	.44 m/s	.47 m/s	.49 m/s	.51 m/s	.52 m/s	.53 m/s	.54 m/s	.56 m/s	
1	9	97%	94%	90%	87%	84%	81%	78%	77%	75%	74%	72%	71%	Hard
		.31 m/s	.34 m/s	.37 m/s	.40 m/s	.43 m/s	.46 m/s	.49 m/s	.50 m/s	.52 m/s	.52 m/s	.54 m/s	.55 m/s	
1	9.5	98%	95%	92%	89%	86%	83%	80%	78%	76%	75%	73%	72%	Hard
		.30 m/s	.33 m/s	.36 m/s	.38 m/s	.41 m/s	.44 m/s	.47 m/s	.49 m/s	.51 m/s	.52 m/s	.53 m/s	.54 m/s	
0	10	100%	97%	94%	90%	87%	84%	81%	78%	77%	75%	74%	72%	Pushing Limit
		.28 m/s	.31 m/s	.34 m/s	.37 m/s	.40 m/s	.43 m/s	.46 m/s	.49 m/s	.50 m/s	.52 m/s	.52 m/s	.54 m/s	

- AMRAP Testing Zone -

Eine objektiv durch den Trainer kontrollierbare, variable und damit ebenso autoregulative Belastungssteuerung des Krafttrainings kann durch den Faktor Bewegungsgeschwindigkeit erfolgen (Dorrell et al., 2019; Hirsch & Frost, 2019; Hughes et al., 2019; Jovanovic & Flanagan, 2014; Jidovtseff et al., 2011; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Die Methodik des geschwindigkeitsbasierten Krafttrainings [engl. Velocity Based Training (VBT)] erfolgt jedoch im Unterschied zur Belastungsgestaltung via RPE/RIR durchaus objektiv. Auch die Trainingssteuerung verbleibt im Rahmen des VBT weiterhin beim Trainer, da mess- und vergleichbare Parameter der Leistung und Leistungsentwicklung erhoben werden. Im Gegensatz zum subjektiven Beanspruchungsempfinden im Rahmen des RPE/RIR wird mittels eines kinematischen Messsystems gemäß dem 2. Newtonschen Gesetz die Kraft als Masse x Beschleunigung ( $F = m \cdot a$ ) nachvollziehbar dargestellt. Inzwischen ist dank entsprechender Technologie die Geschwindigkeitsmessung sehr einfach handhabbar. Im Gegensatz zu umständlich zu befestigenden Seilzügen oder justierbaren Lichtschranken müssen kostengünstige Inertialsensoren nur befestigt werden. Dies ermöglicht Echtzeit Feedback und die Möglichkeit von unmittelbaren Lastenmodifikationen ohne die Notwendigkeit, eine bestimmte Wiederholungszahl absolvieren zu müssen. Ein Vergleich der Wirksamkeit von prozentbasierter Belastungsgestaltung und

geschwindigkeitsbasierter Belastungsgestaltung im Leistungssportlichen Kontext war daher die Motivation der vorliegenden Studie.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Einführung prozent- und geschwindigkeitsbasiertes Training

Last und Geschwindigkeit stehen in einer umgekehrten Korrelation zueinander (Jidovtseff et al., 2011; Jovanovic et al., 2014; Sanchez-Medina et al., 2011). Mit der wachsenden Verfügbarkeit kinematischer Messsysteme im Rahmen trainingsbegleitender Diagnostiken wurde die Beziehung von relativen Lasten zu durchschnittlichen konzentrischen Bewegungsgeschwindigkeiten im Krafttraining eingehend untersucht (Sanchez-Medina et al., 2011; Jidovtseff et al., 2011) und in Bezug auf ihre Rolle in der Belastungssteuerung im Krafttraining verifiziert. Darüber hinaus wurde in Studien bereits bewiesen, dass Geschwindigkeit bei submaximalen Lasten zur Bestimmung des 1RM in der Nackenkniebeuge und dem Bankdrücken genutzt werden kann (Jovanovic et al., 2014; Jidovtseff et al., 2011). Diese Methodik ermöglicht ein Echtzeit Feedback und resultierend aus den erzielten durchschnittlichen konzentrischen Bewegungsgeschwindigkeiten [engl. Mean concentric velocity (MCV)], die Möglichkeit für Echtzeit Anpassungen der Trainingslasten. Die Auswahl des richtigen Trainingsgewichtes ist von elementarer Bedeutung für den Trainierenden und den dazugehörigen Trainingserfolg. Neben der Trainingsbelastung einer Intervention im Bereich des allgemeinen Krafttrainings ist die Beanspruchung durch die selbige die entscheidende Normative in Bezug auf den trainingswirksamen Reiz für den Sportler sowie die Art und den Umfang der daraus resultierenden neurophysiologischen Adaptionen. Die traditionelle Form der Trainings- bzw. Belastungssteuerung erfolgt mittels eines Maximalkrafttests einer beliebigen Trainingsübung. Die Last wird über Prozentangaben in Relation zur konzentrischen Maximalkraftfähigkeit bzw. 1RM, welche 100 % der entsprechenden Leistungsfähigkeit darstellt, vorgenommen (Fröhlich et al., 2002). Nach Peterson et al. (2004) ist diese valide und reliable Methode der Belastungsgestaltung mittels relativer submaximaler Lasten praxiserprobt durch eine Vielzahl an Studien mit einer Reihe von Populationen. Die Voraussetzung für ein prozentbasiertes Training der Maximalkraft bzw. die Voraussetzung für ein intramuskuläres Koordinationstraining (IK-Training) bzw. neuromuskuläres Koordinationstraining (NK-Training) besteht aus verwendeten Lasten von 85 % - 100 % des 1RM (Zatsiorsky, 2008). Analog dazu bilden Trainingslasten von 30 % - 70 % des 1RM die entsprechenden Beanspruchungen im Rahmen des Schnellkrafttrainings (Zatsiorsky, 2008). Demgegenüber verwendet die Trainingsmethodik des geschwindigkeitsbasierten Trainings von Maximal- bzw. Schnellkraft keine prozentuale Relation zum 1RM einer Trainingsübung. Ausschlaggebender Faktor für die Beanspruchung durch die Trainingsübung ist vielmehr die Geschwindigkeit, mit der die Langhantel (LH) bewegt wird. Die Basis für das geschwindigkeitsorientierte Krafttraining ist der quasi lineare Zusammenhang der konzentrischen Ausführungsgeschwindigkeit und der verwendeten Last. Vereinfacht ausgedrückt: Je schwerer die Last wird, desto langsamer kann diese willentlich bewegt werden. Ist die Last maximal, wird

diese mit der minimal möglichen Geschwindigkeit bewegt. Die sogenannte minimale freiwillige Schwelle (engl. Minimal Voluntary Threshold, MVT) ist gleichbedeutend mit der minimalen Geschwindigkeit, mit der eine maximale Kraftanstrengung durchgeführt werden kann. Würde die Last weiter erhöht werden, wäre die Bewegung langsamer und der Athlet könnte das Gewicht nicht länger konzentrisch bewältigen. Die MVT besitzt zwar eine hohe inter-subjekt Reliabilität, jedoch keine hohe Reliabilität zwischen den einzelnen Kraftübungen (Jovanovic, 2014). Die MVT ist abhängig von der Trainingsübung und der dazugehörigen Strecke der konzentrischen Bewegung. Kawamori und Haff (2004) beschäftigten sich eingehend mit dem Zusammenspiel von Trainingslast und Bewegungsgeschwindigkeit zur Leistungsoptimierung. Die Muskelkraft gilt als einer der Hauptdeterminanten der sportlichen Leistung, die eine explosive Krafterzeugung wie Sprinten, Werfen und Springen erfordert. Es werden in der Literatur verschiedene Trainingsmethoden vorgeschlagen, um die Muskelkraft und die dynamische athletische Leistung zu verbessern (Siff, 2000; Siff & Verkoshansky, 1999; Simmons, 2000; Zatziorsky et al., 2006). Obwohl verschiedene akute Trainingswerte (z.B. Sätze, Wiederholungen, Ruheintervalle) manipuliert werden könnten, gehören die verwendeten Trainingsbelastungen zu den wichtigsten Faktoren, die die Trainingsreize und die daraus resultierenden Trainingsanpassungen bestimmen. Viele Forschungsergebnisse zeigten, dass die Verwendung unterschiedlicher Trainingsbelastungen die verschiedenen Trainingsanpassungen hervorruft, und wiesen darüber hinaus auf die belastungs- und geschwindigkeitsspezifischen Anpassungen in der Kraftentwicklung hin (Kawamori et al., 2004). Es wurde empfohlen, die optimalen Belastungen zu verwenden, bei denen die maximale mechanische Leistungsabgabe erfolgt, insbesondere zur Steigerung der Maximalkraft. Eine, trainingsübungsübergreifend vereinfachte, durchschnittliche konzentrische Bewegungsgeschwindigkeit von minimal 0,25 Metern pro Sekunde (m/s) bis maximal 0,5 m/s im Maximalkraftbereich korreliert mit den im prozentbasierten Maximalkrafttraining verwendeten prozentualen Belastungen von 85 - 100 % des 1RM (s. Abb. 3). Die MVT lässt sich bestimmen, indem der Trainierende bis zu seinem 1RM steigert oder indem eine submaximale Last bis zum technischen Versagen bewegt wird (siehe Tabelle 3). Häufig wird das 1RM auch als Maximalkraft bezeichnet. Dies ist aber nicht ganz korrekt. Die Maximalkraft ist als jene Kraft bezeichnet, die das neuromuskuläre System willkürlich gegen einen Widerstand ausüben kann. Klassischerweise erfolgt die Testung der Maximalkraft unter statischen Bedingungen bei isometrischen Kontraktionen. Das 1RM wird hingegen bei vollem Bewegungsumfang einer Krafttrainingsübung ermittelt. Limitierend ist hierbei der konzentrische Anteil der Bewegung, da hierbei eine geringere Kraft als im exzentrischen Fall aufgebracht werden kann. Es gibt demnach eine nicht zu vernachlässigende Diskrepanz zwischen isometrisch ermittelter Maximalkraft und dem in der Trainingspraxis ermittelten 1RM. Daher sollten diese Begriffe nicht synonym verwendet werden. Auch ohne eine Geschwindigkeitsmessung lässt sich das 1RM traditionell bestimmen. Das 1RM kann durch langsames Herantasten an das Gewicht, das maximal einmal bewegt werden kann, ermittelt werden. Technisches Versagen ist bei der Bestimmung des 1RM ohne Messsensor

ebenfalls das Kriterium, welches zur Beendigung des konzentrischen Maximalkrafttests führt. Ebenso kann auch das submaximale 1RM (z.B. 3RM, 5RM, 10RM etc.) ermittelt werden. Hier führt das technische Versagen bei der letzten geplanten Wiederholung zum Abbruch des Tests. Anhand einer konzentrischen Maximalkrafttabelle (Tabelle 2) kann nun mittels eines Wiederholungsmaximums das wahre 1RM abgeleitet werden.

*Tabelle 2: 1RM Tabelle basierend auf der Publikation von Baechle & Earle (2008) "Essentials of strength training and conditioning"*

<b>% 1RM</b>	<b>Mögliche Wiederholungen</b>
100	1
95	2
93	3
90	4
87	5
85	6
83	7
80	8
77	9
75	10
70	11
67	12
65	15

Abbildung 2 veranschaulicht, dass mit einer Steigerung der Last und einer daraus resultierenden Verlangsamung der Bewegungsgeschwindigkeit eine Annäherung an das tatsächliche 1RM erfolgt. Ein wichtiger Unterschied zwischen der Testung eines 1RM, 3RM, 5RM etc. mit und ohne Geschwindigkeitsbestimmung besteht darin, dass bei einer geschwindigkeitsorientierten RM-Bestimmung nicht zwangsläufig technisches Versagen, also ein Fehlversuch provoziert werden müssen, sondern man anhand der abgelesenen Geschwindigkeit dieses vorhersieht und den Test bereits vorher beendet. Während zwar mit Erreichen der MVT im submaximalen Testverfahren oft ein technisches Versagen einhergeht, kann dieses bei einem wahren 1RM vermieden werden.

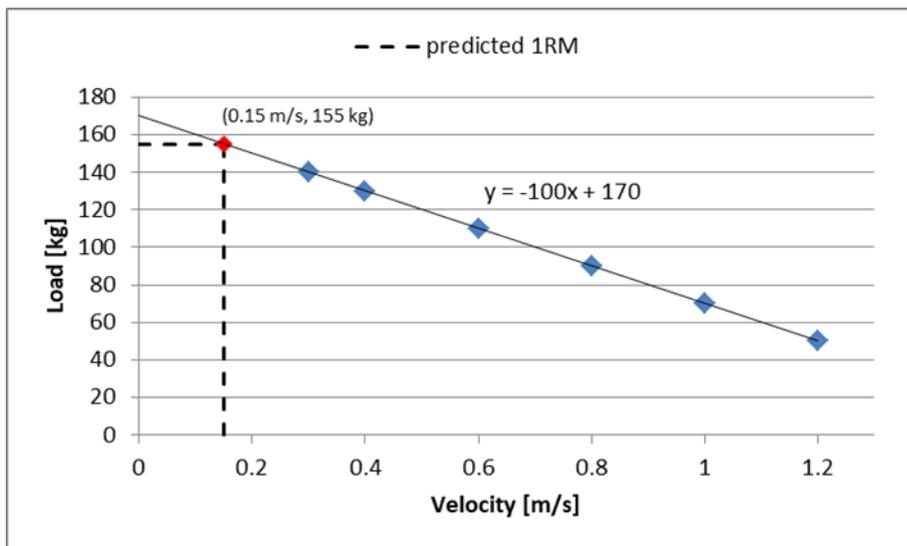


Abbildung 2: Ideale lineare Kraft-Geschwindigkeit Beziehung entnommen aus Jidovtseff et al. (2011)

Die blaue Raute  $\blacklozenge$  steht für bewegte Lasten bei bestimmten Bewegungsgeschwindigkeiten. Das 1RM (waagrechte gestrichelte Linie) wurde bei 0,15 m/s (senkrechte gestrichelte Linie, vgl. Tab. 3 für Bankdrücken) bestimmt und entspricht daher 155 kg.

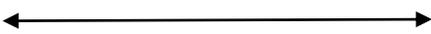
Tabelle 3 zeigt die durchschnittlichen konzentrischen Geschwindigkeiten, welche bei „klassischen“ mehrgelenkigen Langhantelübungen wie beispielsweise Kniebeugen, Bankdrücken, Rudern oder Kreuzheben stellvertretend für die trainierten Kraftfähigkeiten stehen. Im Unterschied dazu werden die maximalen konzentrischen Geschwindigkeiten bei den Übungen aus dem Olympischen Gewichtheben sowie deren Derivaten (Reißen, Stoßen, Nackenstoßen, Hangumsetzen, Standreißen, Züge eng oder breit, Schwungdrücken etc.) als Maximalgeschwindigkeit gemessen. Dies ist der Fall aufgrund der dem Gewichtheben zugehörigen propulsiven Phase in der Konzentrik, in welcher der Sportler nicht mehr in vollständiger Kontrolle über die Hantel ist, sondern diese „fliegen lässt“, was durchaus eine leistungsfördernde Technikkomponente ist (Baker, 2001; Flanagan, 2014, Mann, 2016). Außerdem ist innerhalb der konzentrischen Phase beim Reißen und Umsetzen zwischen erstem und zweitem Zug zu unterscheiden. Während der erste Zug vor allem dazu dient, die Langhantel in die optimale Position zu bringen, wird durch den zweiten Zug und die dazugehörige Extension von Sprung-, Knie- und Hüftgelenk deutlich mehr Leistung produziert. Eine durchschnittliche Geschwindigkeitsangabe genießt daher in diesem Kontext deutlich weniger Aussagekraft als die Messung der Spitzengeschwindigkeit innerhalb der Konzentrik. Zudem kann eine Belastungssteuerung über die Geschwindigkeit der Einzelwiederholung, der durchschnittlichen/maximalen konzentrischen Geschwindigkeit aller Wiederholungen eines Satzes oder den Leistungsabfall bzw. die Leistungssteigerung (eng. Velocity Drop bzw. Velocity Jump) (Baker, 1997; Flanagan et al., 2012; Mann, 2016) vorgenommen werden.

Tabelle 3: VBT-PBT Korrelation verschiedener Trainingsübungen adaptiert nach Baker, 1997

% 1RM	Nackenkniebeuge	Frontkniebeuge	Bankdrücken	Bankziehen
100	0,35 m/s	0,27 m/s	0,15 m/s	0,40 m/s
95	0,41 m/s	0,34 m/s	0,20 m/s	0,45 m/s
90	0,47 m/s	0,40 m/s	0,26 m/s	0,50 m/s
85	0,54 m/s	0,46 m/s	0,31 m/s	0,55 m/s
80	0,60 m/s	0,52 m/s	0,37 m/s	0,59 m/s
75	0,66 m/s	0,59 m/s	0,42 m/s	0,64 m/s
70	0,72 m/s	0,65 m/s	0,48 m/s	0,69 m/s
65	0,79 m/s	0,71 m/s	0,53 m/s	0,73 m/s
60	0,85 m/s	0,78 m/s	0,59 m/s	0,78 m/s

Genauso verhält es sich bei den im Schnellkrafttraining verwendeten Belastungen respektive Bewegungsgeschwindigkeiten: 0,75 - 1,0 m/s durchschnittliche konzentrische Hantelgeschwindigkeit korrelieren mit prozentbasierten Belastungen von 45 - 65 % (s. Tab. 3). Der in der deutschsprachigen trainingswissenschaftlichen Literatur übergreifend als Beanspruchungsbereich der Explosivkraft bezeichnete Raum von 30 - 70 % des 1RM (Güllich & Schmidtbleicher, 1999) wird in der englischsprachigen Literatur übergreifend als Power(-Zone) definiert (Baker, 2008; Baechle & Earle, 2008). Baker (2007) und Mann (2016) differenzieren explizit zwischen Schnellkraft und Kraftschnelligkeit in Bezug auf durchschnittliche konzentrische Bewegungsgeschwindigkeit bzw. prozentuale Belastungszonen. Konkret beginnt hier der Trainingsbereich der Schnellkraft (engl. Speed strength) bei 1,0 m/s und endet bei 1,3 m/s. Die entsprechenden prozentualen Belastungen beim PBT sind hier im Bereich 25 - 45 % des jeweiligen 1RM angesiedelt. Des Weiteren beginnt der Trainingsbereich der Kraftschnelligkeit dort, wo die Schnellkraft endet, das heißt, die Belastungszonen betragen 0,75 - 1,0 m/s und 45 - 65 % respektive. Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird übergreifend die Begrifflichkeit Schnellkrafttraining verwendet, da sich die Belastungen der Trainingsinterventionen sowohl im Trainingsbereich der Schnellkraft als auch Kraftschnelligkeit (engl. Strength-speed) befinden (s. Tabelle 4). Im Zusammenhang des VBT, wie im Übrigen auch im PBT, ist voranzusetzen, dass während der gesamten konzentrischen Bewegungsausführung mit der maximal möglichen muskulären Anstrengung (engl. Maximum Voluntary Contraction, MVC) und daher maximal erreichbaren Bewegungsgeschwindigkeit, welche die Last zulässt, trainiert wird.

Tabelle 4: Strength-Velocity Continuum: Mann, 2016; adaptiert nach Bosco et al., 1995.

Explosivkraft (30-70%)  


% 1RM	0-10%	10-25 %	25-45%	45-65%	65-85%	85-100%
Kraftfähigkeit	-	Startkraft	Schnellkraft	Kraftschnelligkeit	Beschleunigungskraft	Maximalkraft
Geschwindigkeit (Ø)	-	>1,3m/s	1,3-1,0m/s	1,0-0,75m/s	0,75-0,5m/s	<0,5m/s

## 2.2 Kraft im Kontext des Anforderungsprofils der Sportart Handball

Der Begriff Athletiktraining ist in der trainingswissenschaftlichen Literatur nicht eindeutig definiert. Die Bedeutung einzelner motorischer Fähigkeiten, z.B. Koordination, Beweglichkeit, Agilität, Schnelligkeit oder Kraft ist abhängig von der betreffenden Sportart. Ein funktionell ausgerichtetes Athletiktraining erhebt neben dem Anspruch auf Leistungssteigerung auch den Anspruch auf Ganzheitlichkeit unter Einbeziehung des Trainings der Schnelligkeit, Schnellkraft, Explosivkraft, Balance, Stabilität, Flexibilität, Koordination und Ausdauer etc. je nach Belastungsprofil der Sportart (Wirth & Zawieja, 2008; Wirth et al., 2012c.). Die Anforderungen der Sportart Handball an die Athletik beinhalten die notwendigen motorischen Grundbewegungen wie beispielsweise Laufen, Sprinten, Springen und Werfen. Um diesem Anforderungsprofil im Spiel bestmöglich gerecht zu werden (z. B. schneller sprinten, höher springen und härter werfen), bedarf es einer gut entwickelten ganzheitlichen Athletik. Als wesentlicher Aspekt dieser ganzheitlichen Athletik spielt die Maximalkraft sowohl für die Leistungsfähigkeit im Spiel als auch für die langfristige Leistungsentwicklung von Handballern eine zentrale Rolle und gilt neben Technik und Taktik als wichtiger Baustein der Spielfähigkeit. Außerdem bewirkt eine progressive Ausbildung der aktiven und passiven Bewegungsstrukturen eine Steigerung ihrer Belastungsresistenz, was die Verletzungsanfälligkeit reduziert und damit die Ausfallzeit der Spieler für die Mannschaft verringert (Groeger et al., 2019; Lauersen et al., 2014). Die auftretenden Wechselwirkungen der unterschiedlichen Komponenten des Athletiktrainings für die Sportart Handball sowie das Erfordernis, diese in einem ganzheitlichen Konzept im Saisonverlauf auszuprägen, sind dem Autor geläufig, sie sollen jedoch nicht primär Thema dieser Arbeit sein. Vielmehr soll die Relevanz der unterschiedlichen Trainingsmethoden zur Ausprägung der Kraftfähigkeiten Maximal- und Schnellkraft als Zubringerleistung für den Handballsport näher erörtert werden. Handball ist vordergründig als intermittierende Schnellkraftsportart zu definieren (Karcher & Buchheit, 2014a; Karcher & Buchheit, 2014b; Krüger et al., 2014; Luig, P., 2008; Michalsik & Aagaard, 2015). In diesem Zusammenhang ist handballspezifisches Athletiktraining zu verstehen als die Gesamtheit aller Trainingsinterventionen zur Erreichung, Erhaltung und Verbesserung sportart-/sportdisziplinspezifischer Bewegungsleistungen

(Wirth et al. 2012c). Dabei sind Maximal- und Schnellkraft im Vergleich zu überwiegend ausdauerorientierten Sportarten eine kennzeichnende Fähigkeit. Handball ist eine intermittierende Sportart, bei der sich Phasen mit hochgradig intensiver Belastung mit Phasen, welche eher von aktiver Erholung gekennzeichnet sind, abwechseln. Die vorliegende Arbeit sowie die ihr zugrundeliegende Studie beschäftigen sich vorrangig mit den athletischen Fähigkeiten der Maximal- und Schnellkraft. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird auf die Kraftausdauerfähigkeit nur marginal eingegangen, da sich die bestehende Untersuchung mit den relevanten Maximalkraft- und Schnellkraftfähigkeiten im Handballsport beschäftigt. Beide Kraftfähigkeiten sind Basis für eine bestmögliche Leistungsfähigkeit im leistungssportlichen Kontext sowie elementar für die Ausprägung und Erhaltung der handballspezifischen Leistungsparameter Sprint, Sprung und Wurf. Tabelle 5 verschafft einen Überblick einiger Studien, die sich inhaltlich dem Thema Langhantel Krafttraining und dessen Effekt auf Maximal- und Schnellkraftleistungen in den Spielsportarten verschrieben haben. Legt man die Erkenntnisse aus Tabelle 5 zu Grunde, so bleibt zunächst festzuhalten, dass sich Krafttraining positiv auf Maximalkraft und schnellkräftige Bewegungsmuster wie Sprung, Sprint und Wurf auswirkt.

Tabelle 5: Überblick prozentbasierter Krafttrainingsinterventionen Spielsportarten

Autor(en)	Probandenniveau	Sportart	Studien-dauer	Trainierte Kraftfähigkeit(en)	Diagnostik	Signifikanz (Verbesserung von Maximal- bzw. Schnellkraftleistung im Längsschnitt Versuchs- vs. Kontrollgruppe)
Augustsson, S. (2013)	Weibliche Amateure; 19,0 ( $\pm$ 2) Jahre; n=10 Versuchsgruppe und Kontrollgruppe	Volleyball	12 Wochen während der Saison	Maximalkraft	1RM Nackenkniebeuge Vertikalsprung (relativ zum Körpergewicht)	p = 0,005 p = 0,008
Hermassi, S. et al. (2019)	Männliche Profisportler; 20,7 ( $\pm$ 0,5) Jahre; n = 14 Versuchsgruppe und Kontrollgruppe	Handball	12 Wochen während der Saison	Schnellkraft	1RM Halbkniebeuge 30m Sprint Richtungswechsel Wurf <sub>max</sub>	p = <0,001 p = <0,001 p = <0,001 p = <0,001
Hori, N. et al. (2008)	Männliche semiprofessionelle Sportler; 21,3 ( $\pm$ 2,7) Jahre; n = 29; 2 Versuchsgruppen Kreuzstudie	Australian Rules Football	8 Wochen während der Saison	Maximalkraft Schnellkraft	1RM Standumsetzen 1RM Frontkniebeuge Richtungswechsel CMJ +40 Kg CMJ 20 m Sprint	p = <0,01  p = <0,05 p = <0,05 p = <0,01 p = <0,05 p = <0,01
Maques, M. et al. (2006)	Männliche Profisportler; 23,1 ( $\pm$ 4,7) Jahre; n=16; 1 Versuchsgruppe	Handball	12 Wochen während der Saison 7 Wochen Detraining anschließend	Maximalkraft Schnellkraft	1RM Bankdrücken 4RM Kniebeuge CMJ Wurf <sub>max</sub>	p = <0,001 p = <0,001 nicht signif. P = <0,05
Sander, A. et al. (2012)	Männliche Nachwuchs Leistungssportler; 17-19 Jahre, Versuchsgruppe. Kontrollgruppe n = 23	Fußball	20 Wochen während der Saison	Hypertrophie Maximalkraft	1RM Frontkniebeuge 1RM Nackenkniebeuge 30 m Sprint	p = <0,033  p = <0,003 p = <0,000

## 2.3 Definition der motorischen Fähigkeit Kraft

Eine Analyse der sportwissenschaftlichen Literatur ergibt unterschiedliche Modelle bezüglich der Struktur des Kraftverhaltens (Bös & Mechling, 1983; Fetz, 1980; Haare, 1973; Hollmann, 1990; Keiner, 2014; Letzelter, 1982; Letzelter, 1971; Martin, 1977; Verkoshansky & Tatjan, 1975; Weineck, 2000; Zatsiorskij, 1972). Die motorische Fähigkeit Kraft ist in die Erscheinungsformen Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer, sowie Reaktivkraft zu unterteilen. Nett (1967) präsentiert die genannten Krafftfähigkeiten hierarchisch auf einer gemeinsamen Stufe. Demzufolge sollten sämtliche Krafftfähigkeiten gänzlich unabhängig voneinander trainiert werden können. Schon Schmidbleicher (1984) skizziert jedoch die verschiedenen Wechselwirkungen der Krafterrscheinungsformen. Schmidbleicher (1984, 2003) und eine Vielzahl weiterer Sportwissenschaftler identifizieren die Maximalkraft als die Basisfähigkeit jeglicher Kraftqualitäten. Zahlreiche Studien belegen, dass eine Erhöhung des Maximalkraftniveaus einen direkten Einfluss auf die Schnellkraft (Arabatzi et al., 2010; Augustsson et al., 1998; Chelly et al., 2009; Christou et al., 2006; Hartmann et al., 2012a; Kotzamanidis et al., 2005; Lamont et al., 2009; Lockie et al., 2012; Maio Alves et al., 2010; Moss et al., 1997; Ronnestad et al., 2008; Ronnestad et al., 2011.; Wirth, 2010) und die Kraftausdauer (Schlumberger & Schmidbleicher, 2000; Naclerio et al., 2009) besitzt. Krafttraining als sportartübergreifende Zubringerleistung im Leistungssportlichen Kontext ist eine weithin anerkannte Leistungskomponente. Das Training der Fähigkeit Kraft ist bereits seit der Antike (Atha, 1981) fester Bestandteil der Entwicklung von sportlicher Leistungsfähigkeit und der Vorbereitung auf leistungssportliche Wettkämpfe. Ihre Trainierbarkeit bildet die Basis für sportliche (Weiter)entwicklung. Die Krafftähigkeit ist ein Einflussfaktor auf die muskuläre Leistung. Aus diesem Grund ist die Steigerung der Kraft ein leistungsbestimmender Bestandteil in jeder Sportart (Röthig & Prohl, 2003). Kraft ist die Fähigkeit des Nerv-Muskel-Systems, durch Innervations- und Stoffwechselprozesse Muskelkontraktionen mit mehr als 30 % des individuellen Kraftmaximums durchzuführen und dabei Widerstände zu überwinden, ihnen nachzugeben oder sie zu halten (Steinhöfer, 2003). Der Begriff Krafttraining ist ein zentraler Sammelbegriff für eine Trainingsart mit dem generellen Ziel der Verbesserung der Kraft (Röthig et al., 2003). Grundlage jedweder muskulären Leistung ist eine externe Kraftwirkung. Im leistungssportlichen Kontext besteht das Ziel, die muskuläre Leistung zu erhöhen, um dadurch eine verbesserte Wettkampfleistung zu erzielen. Demnach bedeutet eine höhere muskuläre Leistung höhere externe Kräfte, denen der aktive und passive Bewegungsapparat des Sportlers unter sportartspezifischen Voraussetzungen entgegenwirken muss (Sandau, 2020). Das allgemeine Krafttraining umfasst eine Methodik (Übung und Methode) für das Training der Muskeln, die nicht primär für die Entwicklung und Ausprägung der sportartspezifischen muskulären Leistung relevant ist. Das Ziel des allgemeinen Krafttrainings ist der Erhalt des muskulären Gleichgewichts für einzelne Gelenke sowie die Steigerung oder Wiederherstellung der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit (Martin et al., 1977).

### 2.3.1 Maximalkraft

Die Maximalkraft wird gemeinhin als „Mutter aller Kraftqualitäten“ (Schmidtbleicher, 1984) bezeichnet. Dieses Zitat bezieht sich darauf, dass die Kraftqualitäten Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer nicht gleichwertig neben einander stehen: Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer ordnen sich hierarchisch der Maximalkraft unter, da sie in hohem Maße von dem willkürlich aktivierbaren Kraftpotential und damit von der Maximalkraft abhängen. Maximalkrafttraining dient der Steigerung der willkürlichen neuromuskulären Aktivierungsfähigkeit über die möglichst maximale Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation von motorischen Einheiten im Sinne von inter- und intramuskulärer Koordination (Güllich et al., 1999). Um diese neuromuskuläre Aktivierungsfähigkeit bestmöglich zu entwickeln, eignen sich vorrangig komplexe, mehrgelenkige Basiskraftübungen oder Grundübungen entlang der kinetischen Kette, wie beispielsweise verschiedene Varianten von Kniebeugen, Bankdrücken oder Kreuzheben. Die statische oder auch isometrische Maximalkraft wird bei unüberwindlichem Widerstand dynamometrisch gemessen. Die statische Maximalkraft liegt meist höher als die dynamische Maximalkraft (Müller, 1987). Hierbei ist zu beachten, dass beim Bewältigen des 1RM bei einer Langhantelübung eine wesentlich höhere Anforderung an die Koordination gestellt wird als bei der Messung der isometrischen Maximalkraft. So wird beim Langhanteltraining zusätzlich Kraft dafür benötigt die Hantel zu stabilisieren und größere Bewegungen in der Horizontalachse zu vermeiden (Keiner, 2014; Lander, et al., 1985; Müller, 1987). Werden koordinative Anforderungen so weit wie möglich reduziert, ist die dynamische Maximalkraft nur noch geringfügig niedriger als die isometrische (Bührle, 1985). Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass gerade Anpassungen des Zentralen Nervensystems (ZNS) sehr spezifisch sind. So zeigen z.B. Längsschnittuntersuchungen, dass zu meist die höchsten leistungspositiven Anpassungen vor allem in der Trainingsübung oder Kontraktionsform zu finden sind (Keiner, 2014). Die exzentrische Maximalkraft ist in diesem Zusammenhang als weitere Arbeitsweise der Maximalkraft anzuführen. Sie beschreibt einen maximal kontrahierten Muskel, der entgegen seiner Arbeitsrichtung gedehnt wird (Keiner, 2014; Wirth, 2010). Die Absolutkraft entspricht dem Maximum an Kraft, die das neuromuskuläre System maximal gegen einen Widerstand ausüben kann. Die Absolutkraft setzt sich aus der willkürlichen Maximalkraft und den sogenannten autonom geschützten Leistungsreserven zusammen. Die willkürlich aufzubringende Kraft wird als Maximalkraft bezeichnet. Das neuromuskuläre System ist jedoch in der Lage, höhere Kräfte zu produzieren, als dies willkürlich möglich ist. Diese nicht willkürlich abrufbaren Kraftreserven werden als autonom geschützte Reserven bezeichnet (Weineck, 2000). Die Differenz zwischen der willkürlichen Maximalkraft und der tatsächlich vom Nerv-Muskel-System theoretisch produzierbaren Kraft, wird auch als Kraftdefizit bezeichnet (Massalgin & Uwaschkow, 1979). Unter normalen Umständen gibt der menschliche Körper die autonomen Kraftreserven nicht frei, um sich vor Verletzungen und lebensgefährlicher Erschöpfung zu schützen. Die autonom geschützten Reserven abzurufen, gelingt nur unter äußeren Umständen, wie massiven Stresssituationen in Form von beispielsweise Wut und

Todesangst beziehungsweise äußerer Einflussnahme durch Methoden wie Hypnose, Elektrostimulation oder der Gabe von leistungssteigernden Substanzen. Bei einem durchschnittlich trainierten Menschen beträgt der Abstand zwischen willkürlicher Maximalkraft und der Absolutkraft etwa 30 % und lässt sich nachweislich bis auf etwa 10 % verringern, wie im Leistungssport beobachtet werden kann. Das Kraftdefizit, also die Differenz zwischen Maximalkraft und Absolutkraft, lässt sich durch ein IK-Training verringern (Massalgin & Uwaschkow, 1979; Ikai & Steinhaus, 1961). Die Höhe des Kraftdefizits zeigt an, ob ein Kraftzuwachs noch über eine Verbesserung der neuromuskulären Funktionen zu erreichen ist. Bei niedrigerem Kraftdefizitwert kann eine weitere Steigerung der Maximalkraftfähigkeit nur noch über eine Zunahme der Muskelmasse erreicht werden (Bührle, 1989). Als relative Kraft ist das Verhältnis zwischen Körpergewicht und der Maximalkraft eines Sportlers zu verstehen (1RM/Körpergewicht) (Weineck, 2000). Die relative Kraft ist ein leistungsentscheidender Faktor in Sportarten, in welchen Gewichtsklassen existieren. Auch innerhalb von Sportarten mit langer, kontinuierlicher Belastungsdauer, wie Ausdauersport oder Spilsportarten ist die Bedeutung von relativer Kraft oft größer als die der absoluten Kraft (Hori et al., 2008; Krüger, 2012). So zeigt z. B. eine Untersuchung von Hori et al. (2008), dass erst unter Berücksichtigung des Körpergewichts hohe Korrelationen zwischen Maximalkraftleistungen und Schnellkraftleistungen bestehen. Daher empfiehlt es sich, nicht nur die Maximalkraftwerte zu betrachten, sondern ergänzend die Relativkraftwerte zu einer Analyse mit heranzuziehen (Hori et al., 2008). Es kann von Vorteil sein, im Kindes- und Jugendalter die Maximalkraft eines Athleten relativ zum eigenen Körpergewicht zu betrachten. Eine solche Betrachtung würde den Faktor Wachstum und die damit verbundene Gewichtszunahme rechnerisch relativieren. Im Nachwuchssport ist diese Betrachtungsweise zulässig, da davon ausgegangen werden muss, dass aufgrund des Trainingsaufwandes und der Leistungsklassen eine Gewichtszunahme nicht primär durch eine Zunahme an Körperfett zustande kommt (Keiner, 2014). Keiner (2014) skizziert in seiner Dissertationsschrift, dass die Relativkraft auch im Nachwuchssport ein sinnvoller Parameter zur Einordnung der Leistungsfähigkeit im Sprint und Sprung ist. So zeigen diverse Untersuchungen (Davis et al., 2004.; Harris et al., 2008; McBride et al., 2009; Nuzzo et al., 2008) eine starke Korrelation zwischen Relativkraft und schnellkräftigen Fähigkeiten. Forschungen von McBride et al. (2009) zeigen, dass Athleten mit einer Kniebeugeleistung relativiert am Körpergewicht von größer als 2,10 Athleten mit einer Kniebeugeleistung relativiert am Körpergewicht von unter 1,90 signifikant in Sprintleistungen überlegen sind. Im Zusammenhang der unterschiedlichen Formen des Krafttrainings ist zwischen allgemeinem und spezifischem Krafttraining zu unterscheiden (Nett, 1967). Die Methoden des Kraftausdauertrainings, Hypertrophietrainings und NK/IK-Trainings, sind dem allgemeinen Krafttraining zuzuordnen (Leibiger & Büsch, 2018). Während die durch Kraftausdauertraining erzeugten Adaptionen in Bezug auf eine Steigerung der Maximalkraftfähigkeit eine untergeordnete Rolle im Vergleich zu anderen Trainingsanpassungen spielen, werden im Hypertrophietraining sekundär und im IK-Training primär die Maximalkraft trainiert (Toigo, 2006). Die

Maximalkraftfähigkeit wird von diversen Faktoren bestimmt. Der Muskelquerschnitt ist entscheidend für die Größe der Kraftleistung und Widerstandstraining vergrößert den Querschnitt der einzelnen Muskelfasern (Hohmann et al., 2002). Die Zusammensetzung des Muskelfaserspektrums, also das Verhältnis der slow-twitch (ST)-Fasern zu den fast-twitch (FT)-Fasern, bestimmt in starkem Maße die muskuläre Leistungsfähigkeit. FT-Fasern können z.B. mehr Spannung erzeugen als ST-Fasern (Weineck, 2000). Intramuskuläre Koordination ist die Voraussetzung dafür, wie viele Muskelfasern eines einzelnen Muskels rekrutiert werden können. Dieser Ablauf wird als Rekrutierung bezeichnet. Darüber hinaus ist für eine bestmögliche Kraftentfaltung die simultane Aktivierung möglichst vieler motorischer Einheiten vorteilhaft. Dieser Prozess wird als Synchronisation bezeichnet (Güllich et al., 1999). Die Frequenzierung hingegen bezieht sich darauf, wie schnell bzw. wie häufig die Muskelfasern innerviert werden, nicht aber auf die Anzahl der angesteuerten Fasern (Güllich et al., 1999). Die intermuskuläre Koordination beschreibt das Zusammenspiel verschiedener Muskeln innerhalb einer Bewegung (Güllich et al., 1999). Beispielsweise ist die Wurfhärte eines Schlagwurfs beim Handball mitunter davon abhängig, dass die Muskeln der einzelnen beteiligten Körperpartien, grob vereinfacht Bein → Rumpf → Arm, zeitlich in optimaler Reihenfolge hintereinandergeschaltet werden. Bei kurz andauernden maximalen Kraftleistungen hat der Energieumsatz pro Zeiteinheit eine große Bedeutung. Er wird vorrangig gewährleistet über die energiereichen Phosphate Adenosintriphosphat (ATP) und Kreatinphosphat (KP), die den anaerob-alaktaziden Stoffwechsel abdecken (Hohmann et al., 2002) (s. Abb. 3). Eine detailliertere Skizzierung der enzymatischen Anpassungsprozesse beim Krafttraining erfolgt in Kapitel 2.4.3.



Abbildung 3: Anaerob-alaktazide Energiebereitstellung aus Baechle et al. (2006)

Y-Achse: % Anteil an der gesamten Energieversorgung während der Belastung  
X-Achse: Belastungsdauer

Blau: Anaerob-alaktazide Energiebereitstellung durch ATP-CP (Creatin Phosphat)

Rot: Anaerob-laktazide Energiebereitstellung durch Glykolyse

Grün: Aerobe Energiebereitstellung durch oxidative Prozesse

Nicht zu unterschätzen sind die mentalen bzw. psychologischen Leistungsanforderungen des Maximalkrafttrainings. Die sehr hohen Muskelanspannungen erfordern vom Sportler immense Motivation, Selbstbewusstsein und Willen. Äußere Umstände wie Zuschauer, Konkurrenz oder Trainer können sowohl leistungsfördernd als auch leistungshindernd wirken (Moczall & Stoll, 2013). Je höher die Bewegungskompetenz bei der Zielübung ist, desto effizienter kann das vorhandene Kraftpotenzial eingesetzt werden. Technisches Vermögen ist demnach auch ein Leistungsfaktor der Maximalkraftfähigkeit. Neben den primär energetisch determinierten konditionellen Fähigkeiten Ausdauer und Kraft konnte die Koordination als eine relativ unabhängige Einflussgröße motorischer Leistungen nachgewiesen werden (Golle et al., 2019; Bös & Mechling, 1983). Insbesondere die NK/IK-Methode zielt auf die Steigerung der willkürlichen neuromuskulären Aktivierungsfähigkeit über die möglichst maximale Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation von motorischen Einheiten im Sinne von inter- und intramuskulärer Koordination (Güllich et al. 1999) ab. Die Trainingsbelastungen, auf welchen das IK-Training beruht sowie die daraus resultierenden eher langsamen konzentrischen Durchschnittsgeschwindigkeiten der Bewegung sind als anspruchsvoll zu bezeichnen. Auch hat die IK-Methode den Vorteil, durch ihre eher hintergründig entstehenden muskulären Anpassungen zwar das Maximalkraftniveau zu erhöhen, aber eine hypertrophiebedingte Gewichtszunahme nicht primär auszulösen. Eine Steigerung der Relativkraft muss daher das Ziel eines handballspezifischen Kraft- bzw. Athletiktrainings sein.

### 2.3.2 *Schnellkraft*

Da die zeitliche Komponente im Leistungssportlichen Kontext oftmals einen limitierenden Faktor darstellt, ist für den Sportler von elementarer Bedeutsamkeit, einen möglichst großen Anteil der überhaupt zur Verfügung stehenden Maximalkraft in einer möglichst kurzen Zeitspanne zu entfalten. Die Schnellkraft ist die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen Impuls in möglichst kurzer Zeit zu entwickeln (Güllich et al., 1999). Nichtsdestotrotz bleibt die Maximalkraftfähigkeit die Grundvoraussetzung für schnellkräftige Leistungen und hat einen direkten Effekt auf diese. Für sportliche Leistungen, wie Sprünge oder Sprints, ist die Maximalkraft ein wichtiger Einflussfaktor (Bührlé et al., 1985; Keiner, 2014). Dies zeigen in der Trainingspraxis mittlere bis hohe Zusammenhänge zwischen Schnellkraft- und Maximalkraftleistungen in diversen Untersuchungen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Korrelation zwischen Maximalkraftleistungen der Beinstreckerkette und Schnellkraftleistungen unterschiedlicher Untersuchungen nach Keiner, 2014

SJ = Squat Jump; CMJ = Countermovement Jump; r = Korrelationskoeffizient

Autor(en)	Sportart	Krafttest	Schnellkraftleistungen	Korrelation Maximal- und Schnellkraft
McBride et al., 2009	Football	Kniebeugen	Linearsprint	$-0,45 < r < 0,60$
Keiner et al., 2013	Fußball	Kniebeugen	Richtungswechsel	$-0,39 < r < 0,70$
Baker et al., 2001	Rugby	Kniebeugen	SJ mit Zusatzlast	$0,79 < r < -0,86$
Comfort et al., 2012	Rugby	Kniebeugen	Linearsprint	$-0,96 < r < -0,97$
Wisloff et al., 2004	Fußball	Kniebeugen	Linearsprint CMJ	$-0,71 < r < -0,94$ r: 0,78
Requena et al., 2009	Fußball	Kniebeugen	SJ CMJ	r: 0,50 r: 0,50
Chelly et al., 2010	Fußball	Kniebeugen	Linearsprint	$-0,58 < r < -0,68$
Ingebrigtsen & Jeffreys, 2012	Handball	Kniebeugen	Linearsprint	$-0,05 < r < -0,33$

Neben der Maximalkraft, welche die Basis der Schnellkraftfähigkeiten darstellt (Schmidtbleicher, 2003), sind die drei Kraftqualitäten Startkraft, Explosivkraft und Reaktivkraft Bestandteil der Schnellkraft. Die Startkraft beschreibt die Fähigkeit des Systems, einen Impuls aus der Ruhelage bzw. der Geschwindigkeit 0 zu entwickeln, d.h., die Startkraft beschreibt die Kraftentwicklung zu Beginn einer muskulären Kontraktion. Nach Bührle (1985) und Pampus (1995) wird zur Bewertung für die Startkraft die Kraftentwicklung während der ersten 20 bis 30 Millisekunden (ms) des Anstiegs der Kraft-Zeit-Kurve berücksichtigt. Die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, während dieses ersten Zeitfensters einer Kontraktion einen möglichst hohen Kraftanstieg zu produzieren, ist demzufolge Aufgabe der Startkraft. Bedingt durch die limitiert zur Verfügung stehende Zeit ist auch der relative Anteil am 1RM gering. Die Explosivkraft (engl. Power), ist die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen relativ hohen Anteil des 1RM in kurzer Zeit zu entwickeln (Zatsiorsky et al., 2006). Die Explosivkraft lässt sich als die größte Kraftzunahme pro Zeiteinheit innerhalb des Kraft-Zeit Verlaufs definieren (Bührle, 1985; Pampus, 1995). Chronologisch gesehen, bildet die Explosivkraft die Fortsetzung des, durch die Startkraft begonnenen, Kraftanstiegs während des Kraft-Zeit Verlaufs. Sie beschreibt die Fähigkeit, Masse zu beschleunigen: Ob nun das eigene Körpergewicht bei Sprints und Sprüngen, einen Handball beim Werfen oder eine Langhantel beim Olympischen Gewichtheben. Die Fähigkeit eines Sportlers, einen möglichst großen Anteil seines Kraftpotentials in einer möglichst kurzen Zeitspanne zu realisieren, ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor im Leistungssport (Gruber & Gollhofer, 2004).

Die Endgeschwindigkeit eines zu beschleunigenden Widerstands hängt umso mehr von Start- und Explosivkraft (Determinanten des Kraftanstiegsverhaltens) ab, je

kürzer der Beschleunigungsweg ist (Keiner, 2014; Martin et al., 1993). Mit zunehmender Last steigt der Einfluss der Explosivkraft. Bei sehr hohen Lasten stellt die Maximalkraft den entscheidenden Faktor dar. Müller (1987) konnte feststellen, dass der maximal erreichbare Explosivkraftwert für Lasten, die über 25 Prozent des individuellen Kraftmaximums liegen, gleich ist. Demzufolge scheint die Startkraft für Lasten unter 25 Prozent der Maximalkraft von größerer Bedeutung zu sein. Die Kontraktionsgeschwindigkeit eines Muskels bei konzentrischen Kontraktionen beeinflusst die maximale Muskelkraft (Bührlé, 1985). Diese Beziehung kann in einer Hyperbelfunktion dargestellt werden (Hill, 1938). Diese messbare Fähigkeit ist trainierbar und nennt sich Kraftanstiegsrate (engl. Rate of Force Development, RFD). Abbildung 4 zeigt, dass im Zeitfenster von 0 bis 200 ms die Kraftunterschiede zwischen einem Sportler, der Maximalkrafttraining betreibt und einem untrainierten Individuum eher marginal sind, während ballistische Trainingsmethoden, wie auch Explosivkrafttraining eine deutliche Steigerung der Kraftanstiegsrate bis 200 ms hervorrufen. Besonders hervorzuheben ist, dass sich diese sportlichen Vorteile im Wettkampf, beispielsweise im Sprint, Sprung oder Wurf vorrangig auf schnell- bzw. explosivkräftige Handlungen beziehen, d.h. Maximalkraftmethoden resultieren im höheren absoluten Kraftniveau, welches allerdings nicht den limitierenden Faktor Zeit beinhaltet.

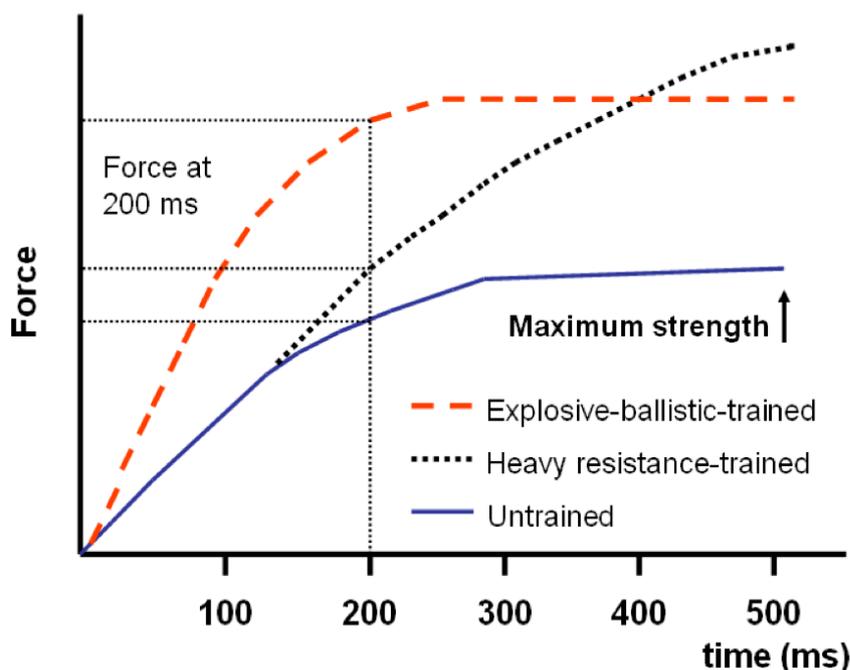


Abbildung 4: Rate of Force Development

Y-Achse: Produzierte Kraft (schematisch ohne Einheit), X-Achse: Zeitverlauf

Rot: explosivkräftig trainierender Sportler; Schwarz: maximalkräftig trainierender Sportler;

Blau: Untrainiertes Individuum; Jeweiliger Endpunkt der 3 Kurven: Maximalkraftniveau

Rate of Force Development adaptiert nach Simmons (2015). Special Strengths for All Sports.

Insbesondere die Übungen aus dem Olympischen Gewichtheben und deren Derivate haben die Besonderheit, dass der Sportler relativ hohe Lasten bei relativ hohen Geschwindigkeiten bewegt (Ribbecke et al., 2018). Sie sind damit eine Ausnahme der Kraft-Geschwindigkeit Relation nach Hill (1938) (Abb. 5), welche vereinfacht ausgedrückt aussagt, dass je mehr sich eine Last dem 1RM annähert, desto geringer die konzentrische Bewegungsgeschwindigkeit ist (vgl. Tabelle 3). Zusätzlich haben Hori et al. (2005) die hohe Korrelation zwischen (Teil)übungen aus dem Olympischen Gewichtheben und Sprint- und Sprungleistungen bei Sportlern nachgewiesen. Die Muskelkraft nimmt mit zunehmender Verkürzungsgeschwindigkeit ab. Je höher die konzentrische Verkürzungsgeschwindigkeit, desto kleiner die Muskelkraft. Die Kraft nimmt zu, je langsamer die Bewegungsgeschwindigkeit ist oder je grösser der externe Widerstand ist, desto weniger schnell kann er bewegt werden. In der exzentrischen Kontraktion hat der Muskel mehr Kraft als in der konzentrischen oder isometrischen Kontraktion (Toigo et al., 2006).

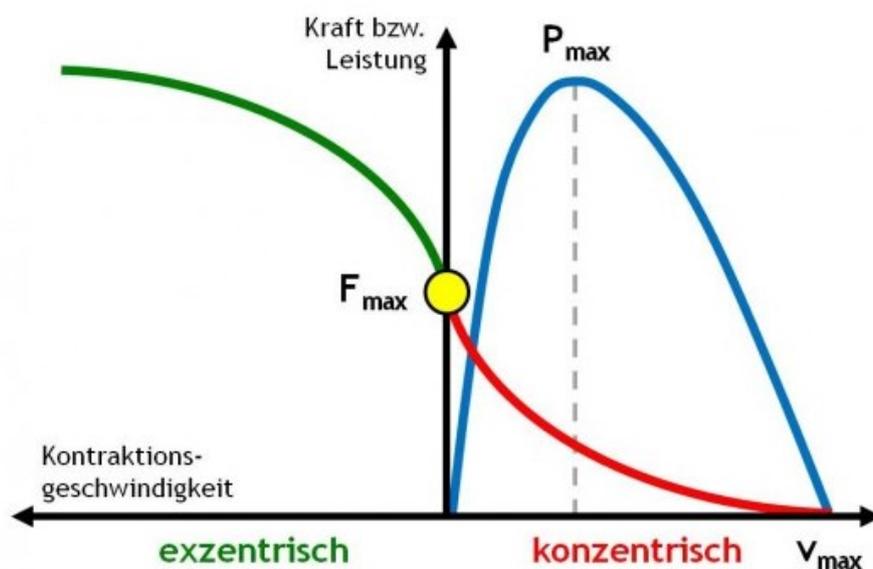


Abbildung 5: Kraft-Geschwindigkeit Relation adaptiert nach Hill et al., 1938

Das Kraftpotential eines Muskels nimmt mit abnehmender konzentrischer Kontraktionsgeschwindigkeit (rot) zu, um im isometrischen Zustand (gelber Punkt) sein Maximum zu erreichen. Im Gegensatz dazu steigt die generierte Kraft bei schnelleren exzentrischen Kontraktionen (grün) an. Die Leistung (blau) ( $P = F \cdot v$ ) erreicht bei ungefähr 30-35%  $v_{max}$  und 50%  $F_{max}$  ihren Maximalwert.

Die Reaktivkraft (lat. „auf Reize reagierend“), oftmals auch als Plyometrie (Altgriechisch: pleiôn = mehr; metreô = messen) bezeichnet, ist die Kraft, die notwendig ist, um reaktive Bewegungen auszuführen. Reaktive Bewegungen zeichnen sich durch eine, schnell nacheinander ablaufende, nachgebende (exzentrische) und anschließend überwindende (konzentrische) Arbeitsweise der Muskulatur aus. Insbesondere bei Sprints und Sprüngen ist hier die Bodenkontaktzeit in Relation zur Schrittlänge bzw. Sprunghöhe der beste Indikator für die Reaktivkraft und wird als Reaktivkraftindex (RKI) berechnet. Während der exzentrischen Phase (auch Lande- bzw.

Amortisationsphase) von reaktiven Bewegungen ist das tendomuskuläre System, d.h. das dehnbare Zusammenspiel aus Sehnen, Bändern und Muskeln, in der Lage, in den seriell- und parallel-elastischen Strukturen kinetische Energie zu speichern. In der sich anschließenden konzentrischen Phase kann die gespeicherte Energie freigegeben werden und es kommt zu einer Kraft- und Leistungszunahme im Vergleich zu einer konzentrischen Kontraktion ohne vorhergehende Exzentrik (Komi & Gollhofer, 1997). Eine gute reaktive Krafftähigkeit liegt dann vor, wenn aus einer kurzen Amortisationsphase ein großer Absprungimpuls generiert wird, der kurze Bodenkontaktzeiten sowie große Sprunghöhen bzw. -weiten ermöglicht. Je länger der Dehnungsverkürzungszyklus (DVZ) bzw. die Bodenkontaktzeit ist, desto irrelevanter ist die Reaktivkraft und desto relevanter ist die Explosivkraft. Ebenfalls wurde durch Elektromyographie (EMG)-Messungen bewiesen, dass dieser Leistungszuwachs im Reaktivkraftbereich nicht direkt durch den Muskel, sondern primär durch den Dehnungsreflex der Sehnen und des Bindegewebes bzw. der Faszie, sowie der neuromuskulären Koordination zustande kommt (Toigo, 2019). Auch wenn ein hohes Maß dieser Reaktivkraft seinen Ursprung in der Faszie und nicht direkt im Muskel hat, ist ein hohes Maß an Maximalkraft notwendig, diese Kraft zu entwickeln und freizusetzen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom kurzen DVZ ( $< 170$  ms Bodenkontaktzeit) und vom langen DVZ ( $\leq 400$  ms Bodenkontaktzeit) (Güllich et al., 1999). Kommt es beim langen DVZ vorwiegend auf muskuläre Krafftähigkeiten an, so bestimmt beim kurzen DVZ die Steifigkeit des tendomuskulären Systems (Quotient aus Kraft und Längenänderung) die Leistungsfähigkeit. Die Dauer der Bodenkontaktzeit und damit die Art des DVZ steht in direkter Korrelation zur beteiligten Muskulatur respektive beteiligter Gelenkamplitude. Die Tatsache, dass ein wesentlicher Anteil der Handlungsaktivitäten in der Sportart Handball zeitlich limitiert ist, hat zur Folge, dass schnellkräftige Athleten einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Sportlern haben, die zwar über eine höhere Maximalkraftleistung verfügen, diese allerdings in zeitlich limitierten Spielhandlungen nicht vollständig wirksam wird (Gröger et al., 2019).

### 2.3.3 Schnelligkeit

Auch die physische Fähigkeit Schnelligkeit bzw. Beschleunigung ist ein leistungslimitierender Faktor im Handball und steht in direkter Korrelation zur Maximalkrafftähigkeit. Maximale Sprint- und Bewegungsgeschwindigkeiten sowie eine hohe Geschwindigkeit bei Richtungswechseln sind gekennzeichnet von einer initialen Beschleunigung einzelner Körpersegmente und/oder des Körperschwerpunkts (KSP). Diese Beschleunigung ist bedingt durch die körpereigene Produktion und Entfaltung von Kräften in limitierten Zeiträumen. Um dementsprechend die Beschleunigung zu maximieren, sind verschiedene Trainingsinterventionen mit dem Ziel notwendig, die Kraftproduktion und/oder -orientierung bei sportartspezifischen Bewegungen innerhalb situationsabhängiger Zeiträume zu erhöhen. Hier geht es vorrangig um physische Kapazitäten und Qualitäten (Gröger et al., 2019). Schnelligkeit ist selbstverständlich trainierbar, allerdings besitzt die motorische Grundeigenschaft

Schnelligkeit die stärkste Genetische Determination aller physischen Leistungsfaktoren auf und ist nur im Bereich von 15 - 20 % zu steigern (Weineck, 2000). Schnabel et al. (2014) beschreiben Schnelligkeit als koordinativ-konstitutionell 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. Schnabel et al. (2014) unterscheiden auch zwischen Aktionsschnelligkeit (azyklisch und zyklisch) sowie Reaktionsschnelligkeit. Die Aktionsschnelligkeit wird über die Kontraktions- und Bewegungsgeschwindigkeiten des Nerv-Muskelsystems erreicht. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist die psychophysische Fähigkeit auf Reize und Signale zu reagieren (Schnabel et al., 2014). Die Praxis von Schnelligkeitsleistungen im Sport zeigt, dass Reaktionsleistungen oft in Verbindung mit Antizipationsleistungen und Beschleunigungsleistungen ein wesentlicher Aspekt der Schnelligkeit sind (Martin et al., 1991). Martin et al. (1993) gehen deshalb von einer zwei- bzw. dreiphasigen Verlaufsform von Schnelligkeitsleistungen aus. Bei der, vom Athleten selbst initiierten, zweiphasigen Beschleunigung folgt auf die Beschleunigungsleistung die Schnelligkeitsleistung. Im Gegensatz dazu beginnt die dreiphasige Beschleunigung, welche nicht vom Athleten selbst gewählt ist, sondern durch einen externen Reiz initiiert, mit der Reaktionsleistung, bevor sich Beschleunigungs- und Schnelligkeitsleistung anschließen. Die Skizzierung der Verlaufsformen der Schnelligkeit im Phasenmodell bezieht sich vornehmlich auf lineare Schnelligkeit bzw. lineare Beschleunigung. Im Handball sind jedoch vorrangig multidirektionale Schnelligkeitsleistungen gefragt, welche von externen Einflussgrößen, wie beispielsweise der Positionierung von Mit- und Gegenspielern, abhängig ist. Die Fähigkeit, Bewegungsrichtungen zu ändern wird als Agilität bezeichnet (Gröger et al., 2019). Agilität ist eine multifaktorielle Fähigkeit, die neben der Ausbildung physischer Kapazitäten im hohen Maße von kognitiven Prozessen beeinflusst wird (Gröger et al., 2019). Da jedoch in der vorliegenden Studie die Agilität nicht Teil der Leistungsdiagnostik ist, soll an dieser Stelle keine tiefgründige Definition der motorischen Fähigkeit Agilität und ihrer Trainierbarkeit erfolgen.

#### 2.3.4 *Kraftausdauer*

Der Begriff Kraftausdauer bezeichnet die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, eine möglichst große Kraftstoßsumme in einer gegebenen Zeit gegen höhere Widerstände zu produzieren (Schmidtbleicher, 2003). Damit setzt sich die Kraftausdauer aus der Größe des Einzelkraftstoßes (Schnellkraft) sowie der Fähigkeit, die Reduktion der Einzelkraftstöße möglichst gering zu halten, zusammen (Schmidtbleicher, 2003). Dies wird daher auch als Ermüdungswiderstandsfähigkeit bezeichnet. Als Einflussgrößen lassen sich die Höhe des Krafteinsatzes pro Kontraktion, die Schnelligkeit des Krafteinsatzes pro Kontraktion, die Dauer des Krafteinsatzes pro Kontraktion, die Frequenz der Krafteinsätze, die Anzahl der Kontraktionen bzw. die Dauer der Kontraktion bei statischer Arbeitsweise, die Arbeitsweise der Muskulatur, die

belastete Muskelgruppe und die Menge der involvierten Muskelmasse beschreiben (Keiner, 2014). Die Beurteilung von Kraftausdauerleistungen ist auf Grund der Vielzahl an Einflussfaktoren durchaus komplex. Rein definitorisch sollte bei Kraftausdauerleistungen die Kraftkomponente und nicht die Ausdauerkomponente dominant sein. Im Falle einer Dominanz der Ausdauerkomponente dürfte nicht von Kraftausdauer, sondern von „Ausdauer mit Kraftkomponente“ geschrieben werden. Widerstände unter 20 Prozent des individuellen Maximums führen langfristig zu einem Kraftverlust (Hollmann, 1990). Güllich und Schmidtbleicher (2000) fordern, dass in der Trainingspraxis Lasten von mindestens 50 % der Maximalkraft erforderlich sind, damit Anpassungen vorwiegend im anaeroben Bereich stattfinden. Folglich dürfte eine Belastung im Kraftausdauerbereich nach Definition dieser Wissenschaftler zwei Minuten nicht überschreiten um den Belastungsreiz anaerob zu gestalten (Güllich & Schmidtbleicher, 2000). Dauerhafte Anpassungen der Maximalkraft sind jedoch auch bei dieser Intensität nicht zu erwarten (Dons et al., 1979; McDonagh & Davies, 1984). Dies bedeutet, dass die Einzelimpulse einer Kraftausdauerleistung bei über 50 % des maximalen Impulses liegen müssten (Güllich & Schmidtbleicher, 2000). Dies stellen Intensitätsbereiche dar, die eine anaerobe Stoffwechsellage ergeben sollten. Ab einer Intensität von 15 bis 30 % der isometrischen Maximalkraft wird die Durchblutung der Muskulatur beeinträchtigt (Fukunaga et al., 1976; Sjøgaard et al., 1988; Ulmer, 1990). Zum vollständigen Verschließen der Gefäße kommt es durch die sogenannte Kapillarkompression nach etwa 50 % der isometrischen Maximalkraft (Hollmann & Hettinger, 2000; Sjøgaard et al., 1988; Weicker & Strobel, 1994). Dies bedingt eine Unterversorgung mit Sauerstoff (O<sub>2</sub>) der arbeitenden Muskulatur. Intensitäten von 60 bis 70 % der Maximalkraft führen zu keiner weiteren Versorgung der arbeitenden Muskulatur mit O<sub>2</sub>, da die intramuskulären Gefäße bei dieser Intensität völlig verschlossen sind (Shephard & Pyley, 1992). Nach etwa zwei bis drei Minuten muss die Produktion von Adenosintriphosphat (ATP) nahezu zu gleichen Anteilen über aerobe und anaerobe Stoffwechselprozesse erfolgen (Hollmann et al., 2000; Spriet, 2006), dies natürlich nur unter der Voraussetzung einer hohen Belastung. Folglich sollten auch unter diesem Gesichtspunkt zwei Minuten als zeitliche Obergrenze für Kraftausdauerbelastungen definiert werden (Keiner, 2014). Ein Fortsetzen der Arbeit führt zwangsläufig zu einem Übergewicht aerober Stoffwechselanteile und sollte damit dem Ausdauertraining zugeordnet werden. Es kann somit grundsätzlich ein hoher Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und der Kraftausdauer angenommen werden. Dieser ist umso höher, je näher die aufzubringende Kraft am individuellen Maximalkraftniveau ist (Güllich & Schmidtbleicher, 2000). Folglich konnten Komi et al. (1978) nach einem Krafttraining eine Verbesserung der maximalen Haltezeit einer Last, die 60% bzw. 50% der Maximalkraft des Eingangstests betrug, messen. Bei allen Verbesserungen der Maximalkraftleistungen gingen nach dem Training auch Steigerungen der Kraftausdauerleistungen einher. Folglich stellt die Maximalkraft eine Basisgröße dar, die sowohl die Schnellkraft als auch Leistungen im Kraftausdauerbereich beeinflusst (Schmidtbleicher, 1984). Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine Studie handelt, die sich mit Krafttrainingsinterventionen aus den

Kraftfähigkeitsbereichen Maximal- und Schnellkraft befasst, wird im Folgenden nicht näher auf das Kraftausdauertraining eingegangen.

## 2.4 Adaptionen an das Krafttraining

In der Folge sollen die neurologischen, morphologischen und enzymatischen Anpassungen an ein Widerstandstraining skizziert werden.

### 2.4.1 Neuronale Adaptionen

Jegliche Art der Kraftentfaltung durch willkürliche oder reflektorische Kontraktionen der Muskulatur geschieht über eine Aktivierung von neuronalen und muskulären Strukturen im menschlichen Körper. Die zentrale Struktur der Kraftbildung ist die motorische Einheit (ME) [vgl. Abb. 6], die durch eine Nervenzelle, das Alpha-Motoneuron, welches sich im Rückenmark befindet, durch eine Nervenfaser, das Axon, mit einer bestimmten Anzahl von Muskelfasern verbunden ist (Fry & Newton, 2002; Rohen, 1975). Die Aktivierung der ME erfolgt durch Erregungen (bioelektrische Impulse, die auch als Aktionspotenziale bezeichnet werden), die an den motorischen Ganglienzellen im Vorderhorn des Rückenmarkes generiert und dann über vorgeschaltete Nervenbahnen zum Motoneuron geleitet werden (Keiner, 2014). Jedes Alpha-Motoneuron innerviert mehrere Muskelfasern.

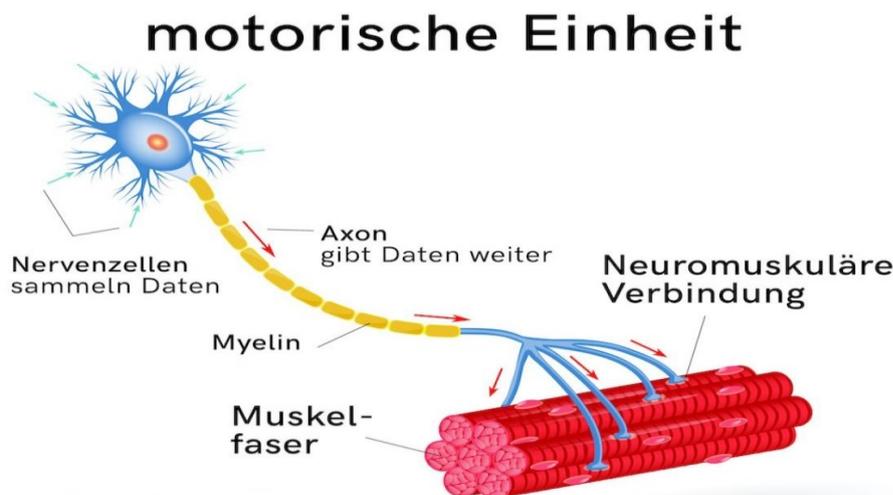


Abbildung 6: Motorische Einheit (Markworth, 1983)

Die Zahl schwankt hierbei zwischen zehn Muskelfasern in der Fingermuskulatur und bis zu 2000 Fasern in der Oberschenkelmuskulatur (Güllich & Schmidtbleicher, 2000). Initiale Steigerungen der Maximalkraft durch ein Krafttraining sind nicht durch strukturelle oder morphologische Adaptionen zu begründen (Del Balso & Cafarelli, E., 2007; Häkkinen & Komi, 1996; Jones & Rutherford, 1987). Vielmehr war in diversen Studien eine erhöhte Elektromyografie (EMG)-Aktivität analog zu den

gesteigerten Maximalkraftfähigkeiten feststellbar (Aagaard et al., 2000; Aargaard et al., 2002; Aargaard et al., 2002b; Andersen et al., 2005; Del Balso et al., 2007; Kyröläinen et al., 2005; McDonagh et al., 1984). Diese Erkenntnis führt zu der Annahme, dass sich die Kraftsteigerungen vornehmlich durch neuronale Veränderungen in den ersten Trainingswochen und -einheiten erklären lassen (Bosco, 1997; Davies et al., 1988; Holtermann et al., 2007; Ishida et al., 1990). Im Zusammenhang der neuronalen Adaptionen ist einerseits die Fähigkeit, einen Muskel möglichst vollständig zu aktivieren, als intramuskuläre Adaption zu verstehen (Milner-Brown et al., 1975; Moritani, 1994). Diese Veränderungen der intramuskulären Koordination, d.h. die nahezu vollständige Ausnutzung des kontraktiven Potentials innerhalb eines möglichst kurzen Zeitfensters, erfolgen bereits Stunden bis Wochen nach Beginn eines Trainings. Hierbei steht die Erhöhung der Anzahl der eingesetzten motorischen Einheiten, die Steigerung der Aktionspotentialfrequenz der alpha-Motoneurone sowie deren vermehrte Synchronisation, gesteigerte Neurotransmitter-Freisetzung, vermehrte Rezeptorbildung sowie eine Hypertrophie der Neuronen im Vordergrund (Holmann et al., 2009; Weineck, 2010).

Eine verbesserte Rekrutierung von motorischen Einheiten wirkt sich darin aus, dass eine möglichst große Zahl motorischer Einheiten willkürlich aktiviert wird. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass je mehr Kraft und Verkürzung benötigt oder gewünscht wird, desto mehr Einheiten müssen aktiviert werden (Schmidt & Schaible, 2005). Hierbei folgt das zentrale Nervensystem (ZNS) einem Größenordnungsprinzip, welches vorsieht, dass die kleinsten motorischen Einheiten zuerst rekrutiert werden. Je mehr Kraft benötigt wird, desto mehr größere ME werden hinzugeschaltet (Henneman, 1981). Die ME folgen hierbei dem „Alles-oder-Nichts-Gesetz“ (engl. „All-or-nothing-principle“). Dies bedeutet, dass nur ein Potenzial, welches über der Reizschwelle liegt, die ME aktiviert. Unterschwellige Reize aktivieren die motorischen Einheiten hingegen nicht. Definiert wird die Rekrutierung als die fortlaufende Einbeziehung von neuen, bisher nicht aktiven Einheiten in den Kontraktionsvorgang (Müller, 1987). Andererseits beschreibt ein hohes Niveau an Aktivierungsfähigkeit eines bestimmten Muskels bzw. einer Muskelkette eine gute intermuskuläre Koordination (Rutherford & Jones, 1986). In diesem Zusammenhang sollte berücksichtigt werden, dass die intermuskuläre Koordination auch immer in direkter Abhängigkeit zur motorischen Zielbewegung bzw. der durchgeführten Übung im Krafttraining steht. Hier sind Faktoren wie beteiligte Agonisten, Antagonisten und Synergisten genauso relevant wie erreichte Gelenkwinkel, Bewegungsgeschwindigkeiten und auftretende Kraftvektoren. Zusammenfassend sollte festgehalten werden, dass initiale Kraftsteigerungen in Anpassung an das Krafttraining in den ersten Wochen nach Beginn dieses in erster Linie auf eine verbesserte neuronale Aktivierung der ME zurückzuführen sind. Komi et al. (1978) beweisen, dass strukturelle und morphologische Anpassungen an und im Muskel erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt im Trainingsprozess für weitere Kraftanstiege verantwortlich zeigen.

## 2.4.2 Morphologische Adaptionen

Nachfolgend sollen die entscheidenden Anpassungen des aktiven und passiven Bewegungsapparates an das Krafttraining zusammengefasst werden.

### 2.4.2.1 Muskelfaserstrukturen

Ein Skelettmuskel ist unterteilt in eine Vielzahl an Faszikeln, in welchen wiederum die einzelnen Muskelfasern zusammengefasst sind (s. Abb. 7). Muskelfasern sind längliche, vielkernige, nicht mehr teilungsfähige Zellen, die durch die Fusion ihrer Vorläuferzellen, den Myoblasten, entstanden sind (Schmidt et al., 2011). Sämtliche nach abgeschlossener Embryonalentwicklung noch vorhandenen Myoblasten verbleiben als einkernige Satellitenzellen im Muskel. Diese Satellitenzellen können durch Fusion und Differenzierung neue Muskelfasern bilden zur Geweberegeneration (Schmidt et al., 2011). Jede einzelne Muskelfaser enthält eine Vielzahl zylindrischer Strukturen, welche parallel zur Muskellängsachse ausgerichtet sind. Diese Myofibrillen werden durch sogenannte Z-Scheiben in die kleinsten kontraktile Einheiten des Muskels, die Sarkomere, unterteilt. Diese Sarkomere verfügen über drei fibrilläre Proteine: Aktin, Myosin und Titin (Schmidt et al., 2011). Während Titin für die Elastizität der Muskulatur verantwortlich zeichnet, bilden Aktin und Myosin der Grundlage des Kontraktionsvorgangs im Muskel.

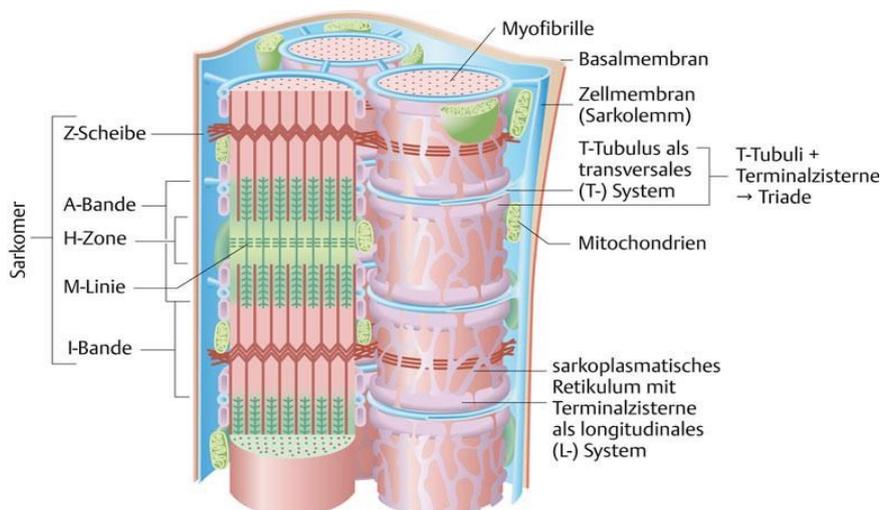


Abbildung 7: Der Aufbau einer Muskelfaser, adaptiert nach Russell et al., 2000

Im Zusammenhang der morphologischen Anpassungen an das Krafttraining sind stellvertretend die Veränderungen im Bereich des Muskelquerschnitts und der Muskellänge sowie die Veränderungen der kontraktile Eigenschaften der Muskulatur zu benennen. Eine Muskeldickenveränderung schließt zwei grundlegende Mechanismen ein: Hypertrophie und Hyperplasie (MacDougall, 2003). Hypertrophie ist gleichbedeutend mit einem Dickenwachstum der einzelnen Muskelfaser bei gleichbleibender Zellanzahl. Hyperplasie hingegen bedeutet eine Zunahme der Anzahl von

Muskelfasern. Einer Vergrößerung des Muskelquerschnitts liegt primär eine Zunahme der Myofibrillenzahl und der Myofibrillendicke bei einer proportionalen Veränderung des nicht-kontraktiven Gewebes zugrunde (Marx et al., 2001; McCall et al., 1996; Stone et al., 1998). Innerhalb dieses Prozesses werden neue Aktin- und Myosinfilamente außen an der Myofibrille angelagert, was die Querschnittszunahme der Myofibrillen zur Folge hat (Abernethy et al., 1994). Der genaue Anpassungsmechanismus, welcher die Adaption Hypertrophie bewirkt, ist nicht final hergeleitet (Vierck et al., 2000). Die aktuelle sportwissenschaftliche Studienlage deutet jedoch darauf hin, dass innerhalb der strukturellen Eiweiße der Muskelzelle (u.a. durch Krafttraining) Mikrotraumen ausgelöst werden (Liu et al., 2007; Schoenfeld, 2012), welche eine Verdickung der betroffenen Zellstrukturen innerhalb des Regenerationsprozesses auslöst. Durch ein intensives Krafttraining wird sowohl die Proteinsynthese als auch der Proteinabbau beeinflusst (McDonagh & Davies, 1984; Vierck et al., 2000). Weiterhin haben anabol wirkende Hormone einen Effekt auf die Proteinsyntheserate (Kraemer, 2000; Kraemer et al., 2004; Kraemer et al., 1995). Eine wichtige Rolle werden dabei Wachstumsfaktoren wie IGF-1 (Insulinlike growth factor 1) und HGF (hepatocyte growth factor) und den myogenen regulatorischen Faktoren Myo D (Myoblast Determination Protein), Myogenin oder Myostatin zugeordnet (Boonyarom & Inui, 2006; Liu et al., 2007; Ahtiainen et al., 2005; Schoenfeld, 2012). Die konkreten Auswirkungen der durch das Krafttraining ausgeschütteten anabolen Hormone soll in Kapitel 2.4.4 näher erläutert werden. Wird die Traumatisierung der Muskelzelle als Stimulus für eine Querschnittszunahme der Muskelfaser anerkannt, so erscheint die Muskelspannung als Stimulus essenziell (Liu et al., 2007). Bezüglich der Muskelfaserzusammensetzung wird aufgrund ihrer kontraktilen, metabolischen und histochemischen Struktur grundsätzlich nach langsam zuckenden Muskelfasern und schnell zuckenden Muskelfasern (Güllich & Schmidtbleicher, 2000) unterschieden. Da neben der jeweiligen Kontraktionsgeschwindigkeit auch die Ermüdungswiderstandsfähigkeit der Muskelfasern ein entscheidendes spezifisches Kriterium ihrer morphologischen Einordnung darstellt, erscheint eine Dreiteilung der Arten von Muskelfaserzusammensetzungen sinnvoll: Typ-I, Typ-IIa und Typ-IIx. Typ-I-Fasern zeichnen sich durch eine geringe ATPase-Aktivität aus und eine dementsprechend langsamere Kontraktionsgeschwindigkeit. Durch ihren hohen Myoglobingehalt und ihren primär oxidativen Stoffwechsel verfügen sie jedoch über eine vergleichsweise größere Ermüdungswiderstandsfähigkeit. Sowohl Typ-IIa- als auch Typ-IIx Muskelfasern besitzen im Vergleich zu den Typ-I Fasern die höhere Kontraktionsgeschwindigkeit. Im Direktvergleich bleibt festzuhalten, dass Typ-IIx Fasern nochmals schneller kontrahieren als Typ-IIa Fasern, welche jedoch, verglichen mit Typ-IIx Fasern, weniger schnell ermüden (Schmidt et al., 2011). Typ-IIa Fasern sind demnach ein Hybrid zwischen Typ-I und Typ-IIx Fasern, da sie Eigenschaften beider Fasertypen vereinen. Die Kraft-Geschwindigkeits-Eigenschaften eines Muskels sind teilweise durch die relativen Anteile der FT- (Typ IIa und IIx) und ST- (Typ I) Muskelfasern definiert (Cormie et al., 2011). Der Anteil der schnellzuckenden Muskelfasertypen ist von besonderer Bedeutung für die Kraftentwicklungsfähigkeit eines Muskels. Aagard & Andersen

(1998) konnten zwischen dem prozentualen Anteil schwerer Myosinketten [engl. Myosin Heavy Chain (MHC)] in Biopsien aus dem Musculus (M.) vastus lateralis und der konzentrischen Kraftentwicklung pro Quadricepsvolumen in isokinetischen Maximalkrafttests eine signifikante lineare Korrelation von  $r = 0,929$  aufzeigen. Grundsätzlich konnte in Längsschnittstudien zwar nachgewiesen werden, dass alle drei Muskelfasertypen mittels Krafttraining zu Muskeldickenwachstum fähig sind (Kraemer et al., 1995), jedoch wird die Kontraktionsgeschwindigkeit durch die MHC Anteilsausprägung bestimmt (Billeter et al., 2003). Eine grundlegende und noch nicht final beantwortete Frage der Trainingswissenschaften ist die nach der Möglichkeit der Transformation von Muskelfasertyp I nach II und umgekehrt. Fasertransformation kann als Umwandlung der MHC-Isoformen betrachtet werden (Keiner, 2014). Eine Fasertransformation wird evident im Zuge der Muskelkontraktion während einer Leistungserbringung im Bereich von Kraft bis Schnelligkeit. Die angesprochene Wandlung der MHC-Isoformen (Keiner, 2014) führt zu einer Änderung des Muskelfaserspektrums, d.h. der Relation der unterschiedlichen Muskelfasertypen zueinander. Die Forschungsergebnisse von Billeter et al. (2003) schließen eine trainingsinduzierte Fasertypentransformation aus. Bei ihren Probanden hypertrophierten durch leistungssportliches Training zwar die FT-Fasern, d.h. der relative Anteil an FT-Fasern im Muskel wuchs, jedoch konnte keine Hyperplasie bzw. eine Transformation von ST-Fasern in FT-Fasern beobachtet werden. Diverse Untersuchungen inklusive Muskelbiopsien bei Kraft- und Schnellkraftsportlern deuten auf eine genetisch determinierte Verteilung von ST- und FT-Muskelfasern von ca. 53-65% (FT) im M. vastus lateralis hin (Fry et al., 2003; Häkkinen et al., 1988; Ingjer, 1979; Prince et al., 1976). Auf der anderen Seite konnte eine Umwandlung von Typ-IIx Fasern hin zu Typ-IIa Fasern in Folge eines Ausdauertrainings bereits nachgewiesen werden (Nemeth, 1990; Saltin & Gollnick, 1983). Eine MHC-Isoformen-Wandlung von MHC-IIx zu MHC-IIa konnte von weiteren Untersuchern nach einem Krafttraining beobachtet werden (Campos et al., 2002; Carroll et al., 1998; Shepstone et al., 2005). Eine Transformation ist daher keinesfalls auszuschließen. Für den Leistungssport ist vielmehr zu diskutieren, welche Reize welche Transformationen zur Folge haben können. Die Motoneuronen und die damit verbundene Art der Stimulation sollen nach Buller et al. (1960) für die Entwicklung der kontraktiven Eigenschaften eines Muskelfasertyps ausschlaggebend sein. Die Art der Stimulation bzw. des Impuls-Musters einer Muskelfaser scheint daher ein wichtiger Parameter bei der Anpassung der Muskelfasern zu sein (Goldspink, 1983). Eine geeignete Krafttrainingsintervention könnte daher theoretisch eine Faserverschiebung hin zu den schnellen Muskelfasern zur Folge haben. Liu et al. (2003), Pette und Staron (2001) meinen jedoch, dass ein Krafttraining zu einer Faserumwandlung von schnellen zu langsamen FT-Fasern führt. Dies konnte innerhalb der Typ-II-Fasern durch Untersuchungen bestätigt werden (Campos et al., 2002; Carroll et al., 1998; Holm et al., 2008; Jürimäe et al., 1996; Jürimäe et al., 1997; Terzis et al., 2008). Die Erklärung könnte darin liegen, dass ein Krafttraining mit sehr hoher Intensität die schnellen ME mit den hohen Rekrutierungsschwellen aktiviert. Weiter wäre die Art des Trainings, die Muskelgruppen sowie der

energetische Metabolismus als Einflussfaktor zu definieren (Jürimäe et al., 1997; Liu et al., 2003). Folglich ist die Wandlung der schnellen in langsamere MHC-Isoformen bzw. Muskelfasertypen durch ein Krafttraining anzunehmen (Campos et al., 2002; Jürimäe et al., 1996; Kraemer et al., 1995). Dennoch muss sich ein Krafttraining nach Liu et al. (2003) nicht negativ auf die maximale Bewegungsgeschwindigkeit auswirken. Zudem gehen Faserverschiebungen zumeist mit einer höheren Maximalkraft einher (Carroll et al., 1998). Zwei Untersucherteams weisen darauf hin, dass sie keinen Zusammenhang zwischen Kraftsteigerungen und einer MHC-Isoformenwandlung fanden (Carroll et al., 1998; Jürimäe et al., 1996). Die Faserverschiebungen können daher also als krafttrainingspositive Adaptation gesehen werden. Interessant sind die Folgerungen von Metaxas et al. (2014) aus ihren Ergebnissen von Muskelbiopsien an jungen Fußballern, welche skizzieren, dass auch Veränderungen an MHC-Isoformen bereits im Kindes- und Jugendalter anzunehmen sind. Allerdings lässt sich in dieser Untersuchung nicht final klären, ob die Beobachtungen primär dem Einflussfaktor Entwicklung oder Training zugeordnet werden können, da die untersuchten Probanden aus dem Nachwuchssport entstammen. Kyröläinen et al. (2005, S. 58) fassen die Fasertransformation im Hinblick auf Training wie folgt zusammen:

„Thus, skeletal muscle is a highly plastic tissue being capable of altering its contractile proteins“.

#### 2.4.2.2 *Passiver Bewegungsapparat*

Der passive Bewegungsapparat profitiert in außerordentlichem Maße vom Krafttraining. So führt dieses zu einem größeren Diaphysendurchmesser, dickerer Kortikalis, gesteigertem Mineralgehalt der Knochen, sowie vergrößerten Knochenvorsprüngen an Sehnenansätzen (Hollmann et al., 2000). Genauso steigt die Widerstandsfähigkeit von Knochen, Bändern, Sehnen und intramuskulärem Bindegewebe als überaus positive Begleiterscheinung von Widerstandstraining (Schoenfeld, 2010). Knochengewebe beispielsweise passt sich funktionell den Belastungen an, denen es ausgesetzt wird. Durch eine entsprechende Verteilung von Substantia compacta und spongiosa sowie die dementsprechende Ausrichtung der Zug- und Drucktrabekel kann auf Basis eines ökonomischen Bausystems eine größtmögliche Stabilität gewährleistet werden [Schünke, 2000]. In diesem Zusammenhang weisen eine Vielzahl von Studien die positiven Auswirkungen einer externen axialen Belastung durch das Krafttraining auf Knochenmineraldichte [engl. Bone Mineral Density (BMD)] nach (Granacher et al., 2009; Kreider et al., 2002; Petranick & Berg, 1997; Mathis & Caputo, 2018). Wulff und Kanstrup, (1998) konnten nachweisen, dass die axiale Belastung der Wirbelsäule sowie die senkrechte Druckübertragung über die unteren Extremitäten während der Kniebeuge zu einer funktionellen Anpassung des Skeletts bei den Probanden führen. Bei sechs Turnerinnen und fünf Gymnastinnen der dänischen Spitzenklasse im Alter von 15 bis 20 Jahren wurde die BMD der Lendenwirbelsäule, des proximalen Oberschenkelknochens und des gesamten Körpers mit der Dual-Röntgen-Absorptiometrie [engl. Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA)]

gemessen (Wulff et al., 1998). Die BMD der Athletinnen war an mehreren Messpunkten deutlich gesteigert, z.B. L2 (21.2%), ganzer Körper (4.3%), rechter (11.5%) und linker (25.5%) Trochanter, linker Ward Dreieck (27.8%) im Vergleich mit den Kontrollprobanden. Diese funktionellen Skelettanpassungen durch krafttrainingsinduzierte Belastungen spielen im langfristigen leistungssportlichen Kontext eine enorme Rolle in der Verletzungsprophylaxe (Granacher et al., 2009). Sämtliche Untersuchungen mit Probanden aus dem Leistungssport untersuchten die Adaptionen des Skeletts auf entweder isokinetisches Krafttraining oder mehrgelenkige Langhantelübungen. Aufgrund der ausbleibenden axialen Belastung sollte der Einsatz von eingelenkigen Isolationsübungen mit dem Ziel der Steigerung der Knochendichte durchaus kritisch hinterfragt werden hinsichtlich ihres Übertrages in die jeweilige Sportart.

### *2.4.3 Enzymatische Adaptionen*

Nachfolgend sollen übersichtlich die während des Krafttrainings beteiligten Enzymaktivitäten beschrieben werden. Die Enzyme, die die Kontraktilität beeinflussen bzw. die Resynthese von ATP fördern, haben eine wichtige funktionelle Bedeutung in den Sportarten, denen Kraft, Schnellkraft oder Geschwindigkeit als leistungsbestimmende Faktoren zuzuordnen sind (Grosser & Renner, 2007). Tesch (1994, S. 245) nennt die Enzyme ATPase, Kreatinkinase und Myokinase. Jakowlev (1977, S. 116) gibt bei einem Schnelligkeitstraining und einem Krafttraining eine Zunahme der ATPase-Tätigkeit an. Thorstensson et al., (1976b) und Komi et al. (1982, S. 97) hingegen konnten in Studien zeigen, dass es zu keinem nennenswerten Anstieg der Enzyme kam. Keine Steigerungen der anaeroben nicht-glykolytischen Enzymaktivität konnten in Untersuchungen während eines Krafttrainings nachgewiesen werden (Thorstensson et al., 1976b; Houston et al., 1983; Tesch, 1987). Weiterhin ist das sarkoplasmatische Retikulum (SR) in schnellen Fasern stärker und umfänglicher ausgebildet als in langsamen (Saltin et al., 1983). Wegen der, hieraus resultierenden, deutlich schnelleren Kalzium (Ca)-Ionen-Aufnahme des SR ist durch die schneller verlaufende Ca-Rückbindung eine schnelle Erschlaffungszeit gegeben (Küchler, 1983). Dies kann wiederum die Kontraktionsgeschwindigkeit verbessern. Auch eine vermehrte intrazelluläre aktive Kalzium (Ca<sup>2+</sup>)-Ausschüttung, die aus einem Krafttraining resultieren kann, kann sich positiv auf Schnellkraftleistungen auswirken (Aargaard et al., 2002).

### *2.4.4 Endokrinologische Adaptionen*

Krafttraining bewirkt einige hormonelle Veränderungen im menschlichen Körper, die bedeutende Konsequenzen bezüglich der Adaptionen für den Trainierenden haben. Somatotropin [engl. Growth Hormone (GH)], Testosteron und die Somatomedine [engl. Insulin-like Growth Factor (IGF)] sind die Hormone, welche für eine Hypertrophiereaktion die entscheidende Rolle spielen (Di Bella, 2008; Hollmann et al., 2000). Unter der Kontrolle des Hypothalamus wird das Peptidhormon Somatostatin von der Adenohypophyse ausgeschüttet. Dieses wirkt direkt über Rezeptoren auf der Zellmembran sowie indirekt über IGF (Schoenfeld, 2010). Die Wirkungen von

Somatropin beinhalten die gesteigerte Aufnahme von Aminosäuren in die Muskelzellen inklusive der daraus resultierenden anabolen Eiweißstoffwechsel sowie eine gesteigerte Lipolyse (Schoenfeld, 2010). Nach Hollmann et al. (2000) zeigt sich, dass das durch Krafttraining vermehrt ausgeschütteten Isoformen eine längere Halbwertszeit aufweist als beispielsweise die während des Schlafes ausgeschütteten. Hemmend auf die GH-Sekretion wirkt das Hypothalamus Hormon Somatostatin, welches aus in der Pankreas produziert wird [Di Bella, 2008]. Dieser Effekt kann durch beta ( $\beta$ )-Endorphine, welche durch Überschreiten der anaeroben Schwelle vermehrt ausgeschüttet werden, unterdrückt werden (Hollmann et al., 2000; Schoenfeld, 2010). Testosteron wird unter der Kontrolle von Hypothalamus und Adenohypophyse von Gonaden und Nebennierenrinde produziert (Schoenfeld, 2010). Es bindet an intrazelluläre Proteine und induziert dadurch die Transkription von Genen für kontraktile Proteine. Darüber hinaus hemmt es den Proteinabbau, steigert die GH-Sekretion und führt zur Proliferation und Differenzierung von Satellitenzellen (Willoughby, 2004). Zahlreiche Studien beweisen einen durch Krafttraining induzierten, erhöhten Serumtestosterongehalt sowie eine gesteigerte Anzahl an Androgenrezeptoren (Kraemer et al., 2020; Kraemer et al., 2017; Shephard & Sidney, 1975). IGF wird sowohl in der Leber als auch von den Muskelfasern produziert (Weineck, 2010). Krafttraining bewirkt hierbei sowohl eine höhere Ausschüttung von IGF durch die Muskelzellen als auch eine verstärkte Aufnahme durch diese (Hollmann et al., 2000). Während zahlreiche IGF-Isoformen existieren, spielen IGF-1Ea, IGF-1Eb und IGF-1Ec die größte Rolle bezüglich der hormonellen Adaptionen auf das Krafttraining [Hollmann et al., 2000; Schoenfeld, 2010]. IGF-1Ec wird auf mechanische Reize hin aktiviert und wird daher auch als MGF (engl. Mechano Growth Factor) bezeichnet (Kraemer et al., 2010, Schoenfeld, 2010). MGF fördert die Proliferation und Differenzierung von Satellitenzellen (Schoenfeld, B., 2010). IGF-1Ea stimuliert die Satellitenzellen zur Fusion mit Muskelzellen, wodurch der Erhalt eines bestimmten Desoxyribonucleinsäure- (DNS) [engl. Desoxyribose Nucleic Acid (DNA)] zu Protein-Verhältnisses gewahrt wird (Schoenfeld, 2010; Hollmann et al., 2000). Zudem erhöht IGF die Proteinsyntheserate innerhalb der Muskelzellen [Hollmann et al., 2000]. In Folge der strukturellen Ähnlichkeit zu IGF wirkt auch Insulin über bestimmte IGF-Rezeptoren anabol auf die Skelettmuskulatur (Schoenfeld, 2010; Kraemer et al., 2017). Während die drei anabolen Hormone GH, Testosteron und IGF bei ausreichendem Trainingsreiz unterstützend wirken bei der Entwicklung von Hypertrophie und Maximalkraft wirkt sich Cortisol negativ auf die genannten Prozesse aus (Kraemer et al., 2017). Landläufig als Stresshormon bezeichnet, wirkt die mechanische Belastung eines Krafttrainings steigernd auf die Sekretionsrate von Cortisol (Kraemer et al., 2020). Da Cortisol über die hypothalamisch-hypophysäradrenokortikale Achse gesteuert wird, wirkt es unter anderem über den Akt (Proteinkinase B-mTor (mechanistic Target of Rapamycin)-Signalweg katabol auf den Eiweißstoffwechsel, verzögert die Bindegewebsregeneration, vermindert die Widerstandsfähigkeit der Knochen und geht mit einem allgemein verminderten Testosteronspiegel einher (Schoenfeld, 2010, Hollmann et al., 2009; Kraemer et al., 2017). Ein weiterer, im Kontext von Studien im

leistungssportlichen Kontext festgestellter, negativer Effekt von gesteigerter Cortisol-Ausschüttung durch Krafttraining ist eine erhöhte Infektanfälligkeit der Probanden durch die bestätigten immunsuppressiven Eigenschaften des Cortisols (Kraemer et al., 2020). Neben den chronischen und akuten Adaptionen, welche durch die unterschiedlichen hormonellen Reaktionen ausgelöst werden im Zusammenhang des Krafttrainings, spielen auch diverse intrazelluläre Transduktionswege eine Rolle bezüglich der unterschiedlichen Adaptionen. Der Akt-mTor-Signalweg scheint sowohl anabole Prozesse zu aktivieren als auch katabole zu inhibieren (Schoenfeld, 2010). Der MAP-Kinase-Weg (mitogen-activated-protein) induziert Zellproliferation und Differenzierung im Muskelgewebe als Reaktion auf mechanischen Stress (Schoenfeld, 2010). Zudem scheinen einige calciumabhängige Signalwege bedeutsam. Calcineurin als Calcium-regulierte Phosphatase scheint über die Aktivierung weiterer Effektormoleküle hypertroph auf sämtliche Muskelfasern zu wirken (Schoenfeld, 2010). Andererseits existiert mit Myostatin ein Signalmolekül, welches die Muskelentwicklung zu hemmen scheint. Myostatin scheint bei Immobilisation, Aufenthalt in der Schwerelosigkeit und ähnlichem vermehrt von den Muskelzellen produziert zu werden (Hollmann et al., 2000).

## 2.5 Krafttrainingsmethoden

Im Folgenden sollen die allgemein gängigsten Krafttrainingsmethoden vorgestellt werden. Der Autor verzichtet in diesem Zusammenhang bewusst auf die Vorstellung der verschiedenen Methoden des Kraftausdauertrainings, da sie im Bereich der Krafttrainings für die Sportart Handball eine eher untergeordnete Rolle spielen. Grundsätzlich kann gemäß der entsprechenden Arbeitsform der Muskulatur zwischen fünf Formen des Krafttrainings unterschieden werden: Statisches, konzentrisches, exzentrisches, isokinetisches und Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus-Training (Plyometrie) (Weineck, 2010). Um eine Trainingsmethode zu charakterisieren, werden in den Sportwissenschaften Belastungsnormativa verwendet, die die Trainingsbelastungen beschreiben sollen. Zu ihnen zählen die Belastungsintensität, die Belastungsdauer, die Belastungshäufigkeit, die Belastungsdichte und der Belastungsumfang. Diese variieren aber zum Teil beträchtlich. Dies kann mitunter zu Problemen in der Trainingssteuerung führen, da aus der Festlegung der Belastungsnormativa die Trainingsgestaltung resultiert und aus der Trainingsgestaltung die Anpassungen des Organismus erfolgen. Unterschiede in der Effektivität müssen jedoch immer vor dem Hintergrund des angestrebten Trainingsziels diskutiert werden. So ist es durchaus denkbar, dass Belastungsnormativa, die geeignet sind, Muskelquerschnittsvergrößerungen zu erzeugen, für die Entwicklung der Schnellkraft nicht zwangsläufig förderlich sind. Bodybuilder trainieren in der Regel mit moderaten und teilweise hohen Belastungen und relativ kurzen Pausen, die hohe Mengen von metabolischem Stress induzieren (Bompa & Haff, 2015). Gewichtheber auf der anderen Seite trainieren regelmäßig mit hoher Intensität und längeren Ruhezeiten zwischen den Sätzen (Bompa et al., 2015). Analysiert man die Voraussetzungen, die an ein

ergänzendes Krafttraining im Leistungssport gestellt werden, um exemplarisch diesen beiden Trainingszielen (Hypertrophie, neuronale Verbesserungen) dienlich zu sein, so ergeben sich in Abhängigkeit von der Zielsetzung unterschiedliche Anforderungen. Während für die Entwicklung des Muskelquerschnitts in erster Linie eine hohe Spannung auf die Muskelfasern einwirken muss, stehen bei der Entwicklung der Schnellkraft zumindest kurzfristig in erster Linie neurophysiologische Anpassungen im Zentrum des Interesses. Für eine explosive Kraftentfaltung ist es von entscheidender Bedeutung, innerhalb eines kurzen Zeitfensters – häufig stehen hierfür weniger als 200 ms zur Verfügung – einen hohen Aktivierungsgrad der beanspruchten Muskulatur zu erreichen. Dies bedeutet, dass in einem kurzen Zeitfenster eine möglichst große Zahl an motorischen Einheiten rekrutiert und gleichzeitig mit einer hohen Innervationsfrequenz angesprochen werden muss. Ein hoher Aktivierungsgrad in einem kurzen Zeitfenster ist jedoch für ein Hypertrophietraining von untergeordneter Bedeutung. Die hohe mechanische Kraft, die auf die Muskelfaser einwirkt, ist im Gegensatz zum Hypertrophietraining keine zwingende Voraussetzung für das Training der Schnell- und Explosivkraft (Siff, 2010; Zatsiorsky, 2006).

### *2.5.1 Neuro- bzw. Intramuskuläres Koordinationstraining*

Die Anpassung des Nervensystems an Trainingsreize spielt bei dieser Trainingsmethode die entscheidende Rolle (Bompa et al., 2015; Bührle, 1993; Hemmling, 1994, Zatsiorsky, 2006). Das IK- bzw. NK-Training ist durch die Belastungsvariablen drei bis sechs Serien, eine bis vier Wiederholungen, mit einem Gewicht von 85 bis 100 Prozent der Maximalkraft und einer Pausenlänge von mindestens fünf Minuten charakterisiert (Bührle, 1993). Die Pausengestaltung bei dieser Trainingsmethode ist von entscheidender Bedeutung. Um neuronale Anpassungen zu generieren, muss dieses Training zwingend in einem nicht ermüdeten Zustand, sowohl physisch als auch psychisch, absolviert werden. Der wesentliche Unterschied zu einer Hypertrophiemethode, die die Erschöpfung ansteuert, ist hierbei die konsequente Vermeidung der Ermüdung. Weiterhin sind die Kontraktionen immer so explosiv wie möglich auszuführen, eine Rhythmisierung im Sinne eines DVZ ist jedoch zu vermeiden (Bührle, 1993; Bührle & Schmidtbleicher, 1981). Die explosive Kontraktionsausführung soll den Trainierenden zwingen, sein Maximalkraftniveau so schnell wie möglich zu erreichen. Analog hierzu sind die Belastungsnormativa im VBT bezüglich der Satz- und Wiederholungszahl, sowie den Pausenzeiten autoregulativ, d.h. abhängig von den erzielten durchschnittlichen oder maximalen Bewegungsgeschwindigkeiten (Mann, 2016). Die Bewegungsgeschwindigkeit, bei welcher die gewünschte Anpassung des Nervensystems geschehen soll, ist stark abhängig von der Trainingsübung und der dementsprechenden Bewegungstrecke.

Tabelle 7: Belastungsnormativa NK/IK-Training (adaptiert nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999)

Legende: Reizinduktion: 0 = kaum/ohne; + = mäßig; ++ = mittel; +++ = hoch

Belastungsnormativa PBT/VBT	Adaption
Intensität: PBT 85-100 % 1RM / VBT <0,5 m/s (MVT übungsspezifisch)	Muskelmasse: +
WDH/Satz: 1-4	Ausnutzung des Muskelpotentials: +++
Sätze: 3-6	Kraftmaximum: +++
Satzpause: ≥ 5 Minuten	Kraftanstieg: +++
Kontraktionsgeschwindigkeit: explosiv	Voraktivierung: ++
Regeneration: 1-2 Tage	Reflexaktivität: 0

Selbstverständlich zielt auch das PBT darauf ab, Bewegungsgeschwindigkeit im Allgemeinen, sowie im konkreten Fall bei Belastungen > 85% zu erhöhen. Dies geschieht jedoch, im Gegensatz zum VBT ohne extrinsisches Feedback in Form einer Rückmeldung der erzielten Geschwindigkeit (Baker, D., 1997; Mann, B., 2016). So unterstreicht eine Vielzahl von Trainingswissenschaftlern diese leistungsfördernde Komponente des klassischen IK-Trainings. Ein IK-Training kann nicht nur zu einer Maximalkraftzunahme führen, sondern ebenfalls die Fähigkeit der schnellen Kontraktion, der maximalen Bewegungsgeschwindigkeit und der Explosivkraft verbessern (Bührle, 1985; Bührle, 1993; Bührle & Schmidtbleicher, 1981). Anpassungen an ein IK-Training werden vor allem durch eine beschleunigte Rekrutierung und Frequenzierung verursacht (Schmidtbleicher, 1984; Bührle et al., 1981; Wirth, 2007). Weiter soll das IK-Training eine gesteigerte Synchronisation der aktiven Muskelfasern bewirken, was einen hohen Einfluss auf explosive Krafteinsätze bewirken soll (Wirth, 2007). Neben einer Verbesserung der neuronalen Ansteuerung ist anzunehmen, dass ein Training mit maximalen Lasten durch die hohen Spannungen Adaptionen im morphologischen und strukturellen Bereich hervorruft.

### 2.5.2 Hypertrophietraining

Das Hypertrophietraining ist eine Trainingsmethode, die primär Anpassungen im Muskelquerschnitt erzeugen soll. Eine Literaturrecherche zeigt jedoch, dass die Belastungsnormativa dieser Trainingsmethode teils deutlich voneinander abweichen. So finden sich die Intensitätsangaben für ein Querschnittstraining zwischen 60 und 90 % des 1RM (Wirth, 2007). Das Muskelaufbautraining spielt in zahlreichen Sportarten als wesentlicher Teil der Periodisierung eine entscheidende Rolle (Fleck., 2002). Hierbei gilt es via spezifischer Reizsetzungen molekulare Reaktionen als Antwort auf den Trainingsreiz auszulösen, um auf diese Weise Strukturanpassungen zu bewirken (Toigo et al., 2006). Eine Orientierung an Wiederholungszahlen erscheint durchaus sinnvoll, da – je nach Muskelgruppe oder Übung – die maximal mögliche

Wiederholungszahl enorm differieren kann (Wirth, 2007). Wirth (2007) gibt an, dass ein Wiederholungsbereich zwischen sechs und zehn zu bevorzugen sei. In Längsschnittuntersuchungen konnte bewiesen werden, dass dieser Intensitätsbereich in Muskelhypertrophie resultiert (Higbie et al., 1996; Holm et al., 2008; Wirth, 2007). Die Anzahl der in der Literatur angegebenen Satz Zahlen pro Trainingseinheit für eine effektive Muskelmassezunahme differenziert durchaus. Vor allem aber fehlen in der Literatur Untersuchungen, die die Effektivität von unterschiedlichen Satz Zahlen pro Trainingseinheit bezogen auf Querschnittszunahmen analysieren. Zumeist beziehen sich die Untersuchungen auf die Effektivität in der Kraftentwicklung. So zeigt eine Vielzahl von Untersuchungen bezogen auf die Maximalkraftentwicklung signifikante Überlegenheit eines Mehrsatztrainings im Vergleich zu einem Einsatztraining (Borst, S. et al., 2001; Humburg et al., 2007; Kelly et al., 2007; Kemmler et al., 2004; McBride et al., 2002; Munn et al., 2005; Rønnestad et al., 2007), welche auch in einer Metaanalyse von Peterson et al. (2004) bestätigt wurde. Mögliche Einflussgrößen resultieren aus den Messmethoden zur Querschnittsvergrößerung, Interventionsdauer, zum Trainingsniveau oder den gewählten Belastungsnormativa, daher sind einige der genannten Studien im Hinblick auf Rückschlüsse auf eine überlegene Anzahl von Sätzen zur Effektivierung eines Hypertrophietrainings kritisch zu hinterfragen. Schon Berger (1962) gibt Satz Zahlen von eins bis drei und Wiederholungszahlen von 3 bis 9 als optimalen Trainingsreiz für den Muskelaufbau an. Allerdings existieren auch Empfehlungen von bis zu 20 Sätzen (Wirth, 2007). Möglich ist, dass bei höherem Trainingsniveau auch höhere Umfänge erfolgen müssen (Rhea et al., 2002). Daher empfehlen Güllich und Schmidtbleicher (2000) fünf bis sechs Sätze pro Trainingseinheit und Muskelgruppe. Weitere Autoren gehen mit dieser Ansicht konform (Wirth, 2007; Schoenfeld, 2010). Auch zeigte sich, dass nur wenige Studien die Trainingshäufigkeit mit der größten Effektivität bezogen auf eine Querschnittszunahme untersucht haben. Die meisten Studien beziehen die Trainingshäufigkeit auf die Entwicklung der Maximalkraft. Eine Untersuchung von Li et al. (1998), die eine und drei Trainingseinheiten in Bezug auf die Veränderungen des Muskelquerschnittes analysierten, stellte fest, dass drei Trainingseinheiten zwei Trainingseinheiten überlegen waren. Weitere Forscher stellten fest, dass ein mehrmaliges Training pro Woche sich positiv auf die Entwicklung der Muskelmasse auswirkt (Cureton et al., 1988; Davies et al., 1988; McCall et al., 1996; Young et al., 1983). Wirth (2007) konnte zeigen, dass zwei und drei Trainingseinheiten einer Trainingseinheit pro Woche überlegen waren, und fügt hinzu, dass es grundlegend zu empfehlen sei, jede Muskelgruppe zumindest zwei Mal pro Woche zu trainieren, um eine effektive Muskelmassezunahme zu erzielen. Diese Annahmen resultieren aus Wirths (2007) Beobachtungen, die sowohl bei Anfängern als auch bei krafttrainingserfahrenen Athleten eine klare Tendenz zu einer größeren Trainingshäufigkeit als einmal pro Woche zeigten. Dies wird von seiner Beobachtung gestützt, dass bei einer trainingserfahrenen Trainingsgruppe keine signifikante Massezunahme bei einer Trainingseinheit pro Woche festgestellt werden konnten. Zustimmung erhält er hierbei von Fröhlich und Schmidtbleicher (2008), die bei Trainierten zwei Trainingseinheiten und bei

Trainingsanfängern drei Trainingseinheiten pro Woche empfehlen. Auch bei den interseriellen Pausen bezüglich eines Querschnittstrainings existieren konträre Ansichten. Eine kurze interserielle Pause hat zum Ziel, zu einer Ermüdungsaufstockung zu führen, um das energetische Potenzial des Muskels auszureizen und so einen Reiz für eine Muskelhypertrophie darzustellen. Für eine vollständige ATP-Speicher-Auffüllung benötigt der menschliche Körper etwa drei bis fünf Minuten und zur Auffüllung der Kreatinspeicher etwa acht Minuten (Hultman & Sjoholm, 1986). Nach etwa 60 bis 80 Sekunden ist die Rephosphorylierung etwa auf 90 Prozent des Anfangsniveaus angelangt (Hollmann & Hettinger, 2000). Interserielle Pausenzeiten von ein bis vier Minuten sind in der Literatur zu finden und stimmen mit der vollständigen ATP-Auffüllung der Speicher überein (Hartmann & Tünnemann, 1987). Einige Autoren präzisieren ihre Angaben über Pausenlängen in zwei bis drei Minuten (Güllich & Schmidtbleicher, 2000). Es waren jedoch zwischen kurzen, zweiminütigen interseriellen Pausen und langen, fünfminütigen interseriellen Pausen keine Unterschiede bei den hormonellen, metabolischen und neuromuskulären Effekten nach einem dreimonatigen Krafttrainingsblock zu finden (Ahtiainen et al., 2005). Zum Studiendesign ist jedoch anzumerken, dass in den Trainingsblöcken mit den kürzeren Pausen ein höheres Volumen absolviert werden musste, was bei der Interpretation zu berücksichtigen ist. Aus trainingspraktischer Sichtweise ist bei der Pausengestaltung zwischen kleinen Muskelgruppen wie den Ellbogenbeugern, den größeren Muskelgruppen wie Rücken, Beine und Brust und Kraftübungen, bei denen besonders viele Muskelgruppen beansprucht werden, wie beispielsweise Kniebeugen, zu differenzieren (Wirth, 2007). Für kleine Muskelgruppen können Pausen von zwei bis drei Minuten ausreichend sein, für größere Muskelgruppen sind Pausen von drei bis vier Minuten und für extrem komplexe Kraftübungen Pausen von bis zu fünf Minuten sinnvoll, um auch Verletzungen vorzubeugen (Wirth, 2007). Entscheidend für die Länge interserieller Pausen ist also vor allem die Menge der in der Übung integrierten Muskelmasse. So sollten die Pausen bei mehr involvierter Muskelmasse länger werden. Dies erscheint logisch, wenn man bedenkt, wie stark auch das Herz-Kreislauf-System bei mehrgelenkigen Übungen, z. B. der Kniebeuge, im Vergleich zu eingelenkigen Übungen, z. B. dem Bizepscurl, beansprucht wird und den Trainierenden so auch zu längeren Pausen zwingt. Eine zu kurz gewählte Pause würde den Trainierenden bzw. dessen Leistungsfähigkeit in der nächsten Serie stark einschränken, was mit einer Reduktion der Trainingslast bei stabiler Wiederholungszahl einhergehen würde. Eine Reduzierung der Trainingslast bewirkt eine verringerte Spannung auf die einzelnen Fasern. Eine hohe Spannung ist neben dem Auslasten des energetischen Potenzials des Muskels ein zusätzlicher Reiz, der eine Muskelhypertrophie auslösen soll. Des Weiteren ist eine längere Pausengestaltung aus präventiver Sicht zu befürworten, da ein Training mit kurzen interseriellen Pausen mit Ermüdungserscheinungen und damit verbundenen Konzentrationsschwierigkeiten einhergeht, was bei komplexen Übungen mit einer großen Last fatale Folgen haben kann. Goto et al. (2005) konnten zeigen, dass ein Training mit größerer muskulärer Auslastung auch größeren metabolischen Stress des Muskels verursachte und nach der Intervention größere

Querschnittszunahmen beobachtet wurden als bei einer nicht-muskulären Auslastung. Sinnvoll ist es, im Zuge eines Hypertrophietrainings die Trainingsintensität so zu gestalten, dass bis zur Muskelermüdung trainiert wird. Izquierdo et al. (2006, S. 1650) stellten nach einem Hypertrophie-Trainingsblock, in dem eine Gruppe bis zur Muskelermüdung und eine nicht bis zur Muskelermüdung trainierte, zumindest bezogen auf die Kraftentwicklung keine signifikanten Gruppenunterschiede fest. Zu bedenken ist, dass diese Kraftzuwächse durch eine Verbesserung der intermuskulären Koordination verursacht worden sein können. Aufgrund der beschriebenen Reizkonfigurationen, die nötig sind, um eine Hypertrophie auszulösen, ist ein Training bis zur Muskelermüdung zu empfehlen. Tabelle 8 skizziert nach Güllich und Schmidtbleicher (1999) die Hypertrophiemethode mit der zusammenfassend größten Schnittmenge an gängigen Belastungsnormativa.

Tabelle 8: Belastungsnormativa Hypertrophietmethode (adaptiert nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999 )

Legende: Reizinduktion: 0 = kaum/ohne; + = mäßig; ++ = mittel; +++ = hoch

Belastungsnormativa PBT/VBT	Adaption
Intensität: PBT 65-85 % 1RM / VBT 1,0-0,6 m/s	Muskelmasse: +++
WDH/Satz: 6-12 (muskuläres Versagen)	Ausnutzung des Muskelpotentials: ++
Sätze: 3-6	Kraftmaximum: ++
Satzpause: 2-5 Minuten je nach involvierter Muskulatur	Kraftanstieg: +
Kontraktionsgeschwindigkeit: langsam bis zügig	Voraktivierung: +
Regeneration: 2-3 Tage	Reflexaktivität: 0

### 2.5.3 Schnellkrafttraining und Plyometrisches Training

Mit Schnellkraft bezeichnet man die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, in der zur Verfügung stehenden Zeit einen möglichst großen Impuls zu erzeugen, physikalisch ausgedrückt also einen möglichst großen Kraftstoß (Grosser & Renner, 2007). Das Schnellkrafttraining zeichnet sich gemäß der Kraft-Geschwindigkeitsrelation durch geringere Intensitäten und schnellere Bewegungsausführungen gegenüber Hypertrophie- und Maximalkraftmethoden aus. Wie in Kapitel 2.3.2 bereits geschildert, beschreibt die Reaktivkraft bzw. Plyometrie einen Teil der Schnellkraft. Ebenso bildet das plyometrische Training einen Teil des Schnellkrafttrainings ab. Das plyometrische Training stammt aus dem amerikanischen Sprachgebrauch und hat sich auch im deutschsprachigen Raum etabliert. Ein plyometrisches Training bezeichnet ein Reaktivkrafttraining bzw. ein Sprung-, Wurf- und Sprinttraining. Ein plyometrisches Training ist also eine Trainingsform, in der der schnelle und langsame DVZ trainiert wird. Das plyometrische Training wird als gesonderte Trainingsmethode betrachtet, da sich das Innervationsverhalten im DVZ gegenüber einem allgemeinen Krafttraining unterscheidet (Komi, 2003). Die Trainingsübungen zeichnen sich durch reaktive Bewegungsformen aus, wie zum Beispiel dem Counter-Movement Jump (CMJ; langsamer DVZ) oder dem Drop Jump (DJ; schneller DVZ) (Schmidtbleicher,

2003). Die Reizkonfiguration kann der Tabelle 10 entnommen werden. Ein Reaktivkrafttraining sollte primär in einem erholten Zustand des Sportlers durchgeführt werden (Schmidtbleicher, 2003).

Tabelle 9: Belastungsnormativa Schnellkraftmethode (adaptiert nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999)

Legende: Reizinduktion: 0 = kaum/ohne; + = mäßig; ++ = mittel; +++ = hoch

Belastungsnormativa PBT/VBT	Adaption
Intensität: PBT 30-70 % 1RM / VBT 1,3-0,75 m/s	Muskelmasse: 0
WDH/Satz: 3-6	Ausnutzung des Muskelpotentials: ++
Sätze: 3-6	Kraftmaximum: ++
Satzpause: 3-5 Minuten	Kraftanstieg: +++
Kontraktionsgeschwindigkeit: explosiv	Voraktivierung: +
Regeneration: 1-3 Tage	Reflexaktivität: +

Tabelle 10: Belastungsnormativa Reaktivkraftmethode (adaptiert nach Güllich & Schmidtbleicher, 1999)

Reaktive Krafttrainingsmethoden	Kurzer DVZ	Langer DVZ
Reizintensität	Maximal	Maximal
Wiederholungen pro Satz	10 bis 12	10 bis 12
Pause zwischen den Wiederholungen	≥ 6 s	≥ 8 s
Sätze pro Trainingseinheit	3 bis 5	3 bis 5
Satzpause	≥ 10 min	≥ 10 min
Kontraktionsgeschwindigkeit	Explosiv	Explosiv
Kontraktionsdauer	≤ 170 ms	≤ 400 ms

#### 2.5.4 Transfer von gesteigerter Krafftähigkeit in motorische Zielbewegungen

Die grundsätzliche Frage, ob ein Transfer einer verbesserten Kraftqualität aus den Bereichen Maximalkraft, Schnellkraft oder Reaktivkraft gelingt, bezieht sich darauf, ob die neuromuskulären Adaptionen an ein Krafttraining in einer Leistungsverbesserung resultieren bzw. ob ein Transfer der verbesserten Krafftähigkeiten in die motorische Zielbewegung der Sportart gelingt. Es ist davon auszugehen, dass, je ähnlicher die Zielbewegung der Trainingsbewegung ist, desto größer der mögliche Transfer der Leistungssteigerung ist. Die Komplexität der Zielbewegung und die Bewegungsgeschwindigkeit stellen zudem immer Faktoren dar, die den Transfer von gesteigerten Leistungen bei Krafttrainingsübungen in sportartspezifische Bewegungen beeinflussen. Je schwieriger (komplexer) und/oder schneller die Zielbewegung ist, desto schwieriger ist der Transfer. Demzufolge wird der Aufwand größer sein, der im Trainingsprozess betrieben werden muss, um diesen Transfer zu gewährleisten. Steigerungen der Maximalkraft nach einer Trainingsperiode werden oftmals nur für die Bedingungen ermittelt, die denen des Trainings entsprachen. Hierbei sind spezifische Anpassungen sowohl an im Training gewählte Gelenkwinkel, Bewegungsgeschwindigkeiten und Kontraktionsformen dokumentiert (Carroll et al., 1998; Farthing & Chilibeck, 2003; Higbie et al., 1996). Kraftsteigerungen nach Trainingsperioden scheinen demnach teilweise an motorische Aufgaben gebunden zu sein. Eine Kraftsteigerung, die in einer Trainingsübung erzielt wird, ist daher nicht zwangsläufig auch in einer anderen Bewegung, in gleichem Maße feststellbar (Carroll et al., 2001;

Kraemer, et al., 1995). Carroll et al. (2001) beschreiben die Schwierigkeiten, die mit dem Transfer diverser Krafftfähigkeiten in unterschiedliche Zielbewegungen einhergehen. Auch Kraemer et al. (1995) stellten fest, dass die höheren Zuwachsraten beim Training mit der Beinpresse-Maschine im Vergleich zum Knieextensionsgerät zu messen waren, welches nur in den Testphasen genutzt wurde. Demgegenüber stehen Beobachtungen von Hortobagyi et al. (1989), die für Kraftmessungen der „Bankdrück“-Bewegung bei unterschiedlichen Diagnostikmethoden hohe Korrelationen feststellen konnten. Nach einem isokinetischen Krafttraining, in dem eine Trainingsgruppe nur konzentrisch trainierte, die andere Trainingsgruppe nur exzentrisch trainierte, konnte die Spezifik der Muskelaktionen gezeigt werden (Higbie et al., 1996). So erbrachte die konzentrisch trainierende Gruppe bei konzentrischer Testung deutlich bessere Leistungen als bei exzentrischer Testung. Bei der nur exzentrisch trainierenden Gruppe verhielt es sich genau umgekehrt. Es war also ein Übertrag der verschiedenen Muskelaktionen zu messen, der aber bei einer Muskelaktion, bei der Trainingsübung und Testübung identisch waren, deutlich größer war. Ähnliche Ergebnisse konnten von Seger et al. (1998) beobachtet werden. Auch Wirth et al. (2006/07) berichten, dass es bei Kniebeugen zu extremen Kraftsteigerungen kam, die die Kraftsteigerungen unter isometrischer Messung deutlich überstiegen. Ein weiteres Beispiel wurde bereits durch die Studie von Rutherford et al. (1986) beschrieben. Die „spezifischen“ Kraftanpassungen an Gelenkwinkelstellungen konnten in Studien aufgezeigt werden. Nach einem isometrischen Krafttraining zweier Trainingsgruppen bei 15 Grad bzw. 60 Grad Knieflexion wurde die isometrische Kraft in beiden Gelenkwinkelstellungen gemessen. Bei Kraftmessungen in der Kniewinkelstellung, in der trainiert wurde, wurden die größten Kraftanpassungen gefunden (Lindh, 1979). Die Spezifik der Geschwindigkeit konnte in einer Studie von Häkkinen und Komi (1986) beschrieben werden. Eine Trainingsgruppe absolvierte ein intensives Krafttraining der Knieextensoren, die andere Trainingsgruppe übte in dieser Zeit vor allem unterschiedliche Sprungformen. Die Trainingsgruppe mit den Sprüngen konnte nach dem Treatment signifikant schneller Kraftwerte erreichen als die Krafttrainingsgruppe, konnte aber weniger Gewinne bei der Maximalkraft verzeichnen. Die Ergebnisse der Krafttrainingsgruppe verhielten sich umgekehrt. Kanehisa und Miyashita (1983) ließen zwei Trainingsgruppen nach einem vorangegangenen identischen, isometrischen Training über acht Wochen trainieren. Eine Trainingsgruppe trainierte hierauf mit einem isokinetischen Trainingsgerät die Ellenbogenflexoren mit hohen Winkelgeschwindigkeiten und die zweite Trainingsgruppe mit niederen Winkelgeschwindigkeiten und dementsprechend höheren Widerständen. Nach sechs Wochen Training konnte die Trainingsgruppe, die mit höheren Bewegungsgeschwindigkeiten trainierte, signifikante Verbesserungen bei der dynamischen Kraft bei leichteren Widerständen aufweisen, als die Gruppe, die mit niederen Winkelgeschwindigkeiten bei höheren Widerständen trainierte. In einer weiteren Untersuchung von Kanehisa und Miyashita (1983b) konnten ähnliche Ergebnisse nach einem Training der Knieextensoren an einem isokinetischen Trainingsgerät beobachtet werden. Auch Schlumberger und Schmidtbleicher (1999) berichten von spezifischen Anpassungen

der Bewegungsgeschwindigkeit. So erreichten nichttrainierte Probanden bei einer Ausstoßbewegung der Arme, die der Bankdrückbewegung nachempfunden ist, durch ein Bewegungsschnelligkeitstraining hochsignifikante Verbesserungen der maximalen Bewegungsschnelligkeit. Das Beschleunigungsverhalten veränderte sich nach dem Treatment, unter anderem verlängerte sich die Startzeit signifikant. Weiterhin wurden die Trainingsleistungen im Verlaufe des Treatments stabiler, was durch eine Technikstabilisierung oder -verbesserung zu erklären wäre. Testapparatur, Trainingsgerät und verwendete Lasten waren identisch. Dennoch zeigen sich nach einem Krafttraining mit maximalen Lasten und geringer Bewegungsgeschwindigkeit auch Überträge auf die maximale Bewegungsgeschwindigkeit, vor allem wenn die Kontraktionen explosiv ausgeführt werden. Diese Untersuchungen zeigen, dass schon ein Wechsel der Arbeitsweise eines Muskels oder einer Muskelgruppe bzw. der Wechsel zu einer anderen Krafttrainingsübung für dieselbe Muskelgruppe dazu führen kann, dass sich der Kraftzuwachs, der in der Trainingsübung erzielt werden kann, nicht problemlos auf eine andere Übung oder Arbeitsweise der Muskulatur übertragen lässt. Eine Vielzahl weiterer Studien konnte diese schlechte Übertragbarkeit einer gesteigerten Leistungsfähigkeit in der Trainingsübung auf ein Testkriterium, das dieser nicht entsprach, bestätigen. Die beschriebene Anpassungsspezifität ist auf neuronale Adaptionen bzw. neuronale Mechanismen zurückzuführen (Higbie et al., 1996; Seger et al., 1998; Tax et al., 1989; Thorstensen, 1989). Seger et al. (1998) konnten nur geringe morphologische Veränderungen in ihrer Studie finden und machen daher andere Veränderungen wie neuronale Mechanismen für die Anpassungsspezifität verantwortlich. So konnten Nakazawa et al., (1993) eine unterschiedliche Aktivierung bei gleicher Winkelstellung des Ellenbogengelenkes, aber unterschiedlicher Kontraktionsform über EMG-Messungen aufzeigen. Die Vermutung, dass Muskelaktionen eine bestimmte Spezifität aufweisen, wird dadurch unterstützt, dass nach dem exzentrischen und konzentrischen Training zwar ähnliche Zuwächse im integrierten EMG (iEMG) aufzufinden waren, betrachtete man jedoch das maximale iEMG nach einem exzentrischen Training bei einer konzentrischen Muskelaktion, so konnte keine Erhöhung festgestellt werden (Higbie et al., 1996). Auch Tax et al. (1989) konnten anhand von EMG-Messungen auf unterschiedliche Aktivierungsmuster bei isometrischen und dynamischen Bewegungen schließen. Bührle und Schmidtbleicher (1981) geben an, dass die intermuskuläre Koordination sich bewegungsspezifisch ausbildet und nicht übertragbar ist. Die neuronalen Verschaltungswege, die bei einer Bewegung involviert sind und mit einem Lerneffekt einhergehen, sind, wie bereits beschrieben, sehr komplex und können auf mehreren Ebenen des ZNS auftreten und verschiedene sensorische Afferenzen mit einbeziehen. Da Kraftsteigerungen wie oben beschrieben nicht nur morphologisch bzw. strukturell bedingt sind, sondern auch auf adaptive Mechanismen einer intermuskulären und intramuskulären Koordination zurückgehen, scheinen sie nur bedingt übertragbar (Wilson et al., 1996). Die morphologischen Adaptionen könnten hingegen besser übertragbar sein (Morrissett et al., 1995). Dennoch lässt sich final schlussfolgern, dass der Grund für die Anpassungsspezifität mit der Form der unspezifischen Testung

zusammenhängt (Jones & Rutherford, 1987; Kitai & Sale, 1989; Knapik et al., 1983). Abschließend ist festzuhalten, dass, wenn die Testübung mit der Trainingsübung übereinstimmt, die größten Verbesserungen zu beobachten sind (Morrissey et al., 1995).

## 2.6 Periodisierung des Krafttraining

Erfahrungsgemäß ist es nicht möglich, ein extrem hohes Leistungslevel über ein ganzes Jahr oder gar über eine ganze Karriere zu halten. Hoher physiologischer und psychologischer Stress im Training und in der Wettkampfsaison können bewirken, dass die Sportler einen Status von Übertraining erreichen (Fry et al., 1992; Haff, 2004; Hasegawa et al., 2002). Übertraining beschreibt in der Sportmedizin eine chronische Überlastungsreaktion, die meist durch kontinuierlich zu hohe Trainingsintensitäten, zu hohes Trainingsvolumen und/oder unzureichende Regenerationszeiten zwischen den Trainingseinheiten ausgelöst wird. Das Leistungsniveau des betroffenen Sportlers sinkt. Begleitsymptome wie erhöhter Ruhe- und Belastungspuls, Schlafstörungen oder Kopfschmerzen treten auf. Dieser Zustand hat Krankheitswert. Als Vorstufe des Übertrainings wird die Überbelastung angesehen. Die Übergänge sind fließend, bezüglich der Nomenklatur besteht bislang kein verbindlicher Konsens (Vogel, 2001). Die Einteilung ist bislang international uneinheitlich. Im deutschsprachigen Raum werden die letztlich symptomorientierten Begriffe basedowoides (auch sympathisches oder klassisches) und addisonoides (auch parasymphathisches oder modernes) Übertraining unterschieden. Im angloamerikanischen Sprachraum hingegen wird eher zwischen einer leichteren und kürzer andauernden Form, dem Overreaching und einer längerfristigen, schwerwiegenderen Form, dem Overtraining Syndrome unterschieden. Die Übergänge zwischen den einzelnen Formen sind fließend, harte diagnostische Kriterien bislang nicht etabliert (Vogel, 2001). Hohe Belastungen innerhalb einer Saison werden häufig in Phasen von Ermüdung und Leistungsstagnation resultieren. Daher ist eine langfristige Planung essenziell. Die Periodisierung des Trainings kann sowohl den mehrjährigen Aufbau eines Sportlers umfassen als auch die letzten Wochen und Tage vor einem Wettkampf. Die Periodisierung des Trainings wird eingeteilt in den Makrozyklus, Mesozyklus und Mikrozyklus. Die wellenförmige Gestaltung innerhalb der verschiedenen Perioden kann sowohl im Mikrozyklus (eine bis vier Wochen innerhalb eines Mesozyklus), im Mesozyklus (ein Trainingsblock innerhalb der Periodisierung) als auch im Makrozyklus (ein Periodisierungsjahr) durchgeführt werden (Fleck, 2002). Innerhalb dieser Zyklen verlaufen die Wellen der Belastungsintensität und des Belastungsumfangs gegenläufig, da ein Steigern der Intensität und des Umfangs nur bis zu einem gewissen Punkt möglich ist (Fleck, 2002; Matveev, 1972; Tschiene, 1985). Das Training wird also durch wellenförmige Belastungsvariationen definiert (Matveev, 1972), die durch drei Perioden gekennzeichnet sind: Vorbereitungs-, Wettkampf- und Übergangsperiode (Abbildung 8). Damit erzeugen sie eine Dynamik des Leistungszustandes von Sportlern (Verkoshanskij et al., 1982).

# Matveev: Klassische Periodisierung

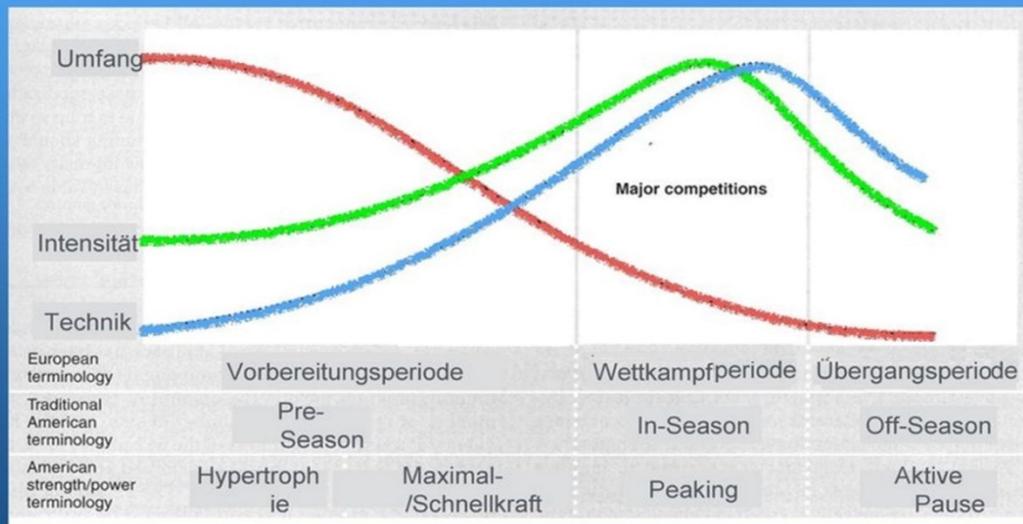


Abbildung 8: Periodisierungsmodell nach Matveev inklusive Wechsel von Umfang und Intensität (nach Tschiene, 1985)

Die Periodisierung im Nachwuchsleistungssport umfasst mehrere Phasen. Diese definieren sich in der Aufbau-, einer Leistungs- und einer Hochleistungsphase. Diese langfristig angelegte Trainingsplanung zielt auf einen kontinuierlichen Aufbau des Athleten über Jahre hinweg ab und umfasst je nach Sportart bis zu 12 Jahre, bis Leistungen auf Weltklassenniveau zu erreichen sind (Tab. 11). Dieser langjährige Leistungsaufbau bezieht sich auf die Ausbildung technisch-taktischer Fertigkeiten. Zudem werden die verschiedenen Organsysteme in Abhängigkeit vom konditionellen Anforderungsprofil der jeweiligen Sportart ausgebildet. Gerade in einem zu schnell vorangetriebenen Aufbau vor allem jugendlicher Sportler liegt häufig das Risiko von Verletzungen. So stellt z.B. die Muskulatur ein Organ dar, das sich sehr schnell anpassen kann, jedoch der Sehnen- und Bandapparat im menschlichen Körper benötigt deutlich längere Anpassungszeiten. Die Kenntnis von Trainingsmethoden in Bezug auf die Ansteuerung von auszubildenden Parametern (z.B. Kraft und Schnellkraftleistungen) ist eine essenzielle Voraussetzung für die Trainingssteuerung gerade im Nachwuchsleistungssport (Fleck, 1999). Ebenso ist die Kenntnis von physiologischen Adaptionen durch eine Reizsetzung Voraussetzung, dass eine optimale Ausnutzung der konditionellen Fähigkeiten erreicht werden kann. Im Zuge des langfristigen Leistungsaufbaus (engl. long term athletic development) gilt das youth physical development model (Lloyd et al., 2015) (Tab. 11) als Vorbild für eine altersgerechte leistungssportliche Entwicklung inklusive der dazugehörigen athletischen Schwerpunkte innerhalb der jeweiligen Entwicklungsphasen.

Tabelle 11: Ganzheitliches motorisches Entwicklungsmodell im Kindes- und Jugendalter

(adaptiert nach Büsch, D. et al., 2017; Lloyd et al., 2015)

Altersstufe	Frühes Kindesalter	Mittleres/spätes Kindesalter	Jugendalter	Erwachsenenalter
Kalendarisches Alter (Jahre) ♂	2 – 4	5 – 11	12 – 20	21+
Kalendarisches Alter (Jahre) ♀	2 – 4	5 – 9	10 – 19	20+
Reifungsphase	Präpubertär (prä PHV)		PHV	Postpubertär (post PHV)
Körperliche Entwicklung	<b>EBF</b>	<b>EBF</b>	<b>EBF</b>	<b>EBF</b>
	SSF	SSF	SSF	SSF
	Beweglichkeit	Beweglichkeit		Beweglichkeit
	Gewandtheit	Gewandtheit		Gewandtheit
	Schnelligkeit	Schnelligkeit		Schnelligkeit
	Schnellkraft	Schnellkraft		Schnellkraft
	<b>Kraft*</b>	<b>Kraft*</b>		<b>Kraft*</b>
	Hypertrophie		Hypertrophie	Hypertrophie
	Ausdauer und Stoffwechszustand	Ausdauer und Stoffwechszustand		Ausdauer und Stoffwechszustand
			Ausdauer und Stoffwechszustand	<b>Ausdauer und Stoffwechszustand</b>

PHV: Peak-Height-Velocity (Zeitpunkt des Eintritts in den Wachstumsschub)  
 EBF: Elementare Bewegungsfertigkeiten  
 SSF: Sportspezifische Fertigkeiten  
 \*: Kraftausdauer und Maximalkraft

**Hinweise zum Modell:** Die unterschiedliche Größe der Begriffe verdeutlicht die Gewichtung. Eine größere (gefettete) Schrift zeigt eine entsprechend höhere Gewichtung an. Die Schattierungen kennzeichnen eine unterschiedliche Gewichtung in den differenzierten Reifungsphasen (prä PHV, PHV, post PHV).

Im Handball erstreckt sich die Wettkampfperiode über einen sehr langen Zeitraum und teilt sich im Profibereich in zwei Wettkampfblöcke. Ein dritter Wettkampfblock entsteht im Vierjahresrhythmus durch die Olympischen Sommerspiele. Ende August beginnt im Männerhandball die Handballsaison in der Bundesliga, weist ab Ende Dezember bis Ende Januar eine Pause auf, in der die Nationalmannschaften ihre Europameisterschaft (EM) oder Weltmeisterschaft (WM) austragen. In der Sportart Handball dominiert also im Sommer die Vorbereitungsperiode gefolgt von der ersten Wettkampfperiode. Die wettkampffreie Zeit im Winter für diejenigen Sportler, welche im Januar nicht an einer EM/WM teilnehmen, kann als Übergangsperiode betitelt werden gefolgt von einer zweiten Vorbereitungsperiode. Hieran schließt sich die zweite Wettkampfperiode gefolgt von einer weiteren Übergangsperiode an. Der in Abbildung 8 dargestellte Zyklus wird grundsätzlich also während einer Saison zweimal durchlaufen. In der Vorbereitungsperiode sollen zunächst die funktionellen Möglichkeiten des Organismus erhöht werden. Nach Michalsik (2019) wird dies oft durch einen hohen Anteil eher allgemeiner unspezifischer Trainingsübungen (mit relativ geringem Anteil spezieller Übungen) erreicht. Dabei steht anfangs die Steigerung des Belastungsumfanges im Vordergrund (Knaf & Pfeiffer, 2014). In einem zweiten Abschnitt kommt es zu einer Steigerung der Intensität bei Senkung des Umfanges (Knaf et al., 2014). Gleichzeitig nimmt man eine Verschiebung zugunsten des Anteils spezieller Trainingsübungen vor (Michalsik et al., 2019). In der Wettkampfperiode erfolgt zu meist eine Steigerung der Intensität bei Beibehaltung des Umfanges bzw. leichter Umfangssenkung (Michalsik & Aagaard, 2015). Der Anteil der speziellen Trainingsübungen wird weiter erhöht (Michalsik et al., 2019). Allgemein entwickelnde Übungen werden dann berücksichtigt, wenn es um die Erhaltung des vorher erarbeiteten Niveaus geht (Michalsik et al., 2019). In der Übergangsperiode nimmt man einen zeitweiligen Verlust der sportlichen Form in Kauf (Michalsik et al., 2019). Geprägt ist die

Übergangsperiode durch eine geringere Intensität bei allenfalls mittlerem Umfang. Es überwiegt deutlich ein allgemeiner Teil von Trainingsübungen (zum Teil auch aus anderen Sportarten) bei minimalem Anteil spezifischer Trainingsübungen, die meist der Behebung individueller Schwächen dienen sollen (Knaf et al., 2014) Periodisierungsvorschläge dieser Art sind allerdings nicht auf alle Sportarten und Leistungsklassen zu übertragen, zumal sie im Grunde von den Bedingungen der Leistungssteuerung in Individualsportarten ausgehen. Im Handball besteht dagegen das Problem, dass relativ viele Leistungsvoraussetzungen gegeben sind, die meist mit dieser eher allgemeinen Einteilung und Abfolge nicht adäquat erarbeitet werden können. Laut oben beschriebener Definition würde sich ein Krafttraining im Handball hauptsächlich in den Übergangs- und Vorbereitungsperioden finden. An dieser Stelle muss kritisch hinterfragt werden, ob es sinnvoll ist, eine Krafttrainingsmaßnahme im Hinblick auf die langfristige Leistungsentwicklung von Schnellkraftleistungen im Handball periodenweise abzusetzen. Das Absetzen des Krafttrainings nach einer bestimmten Trainingsphase wird als Detrainingsphase bezeichnet. Ein Detraining schafft zwar ausreichend Zeit für die Regenerationsvorgänge bzw. Adaptionsvorgänge im Körper (Hecht, 1972), diese leistungspositiven Anpassungen finden jedoch nur über einen gewissen Zeitraum nach dem Absetzen des Krafttrainings statt. In einer Detrainingsperiode finden sowohl strukturelle, morphologische als auch neuronale Veränderungen statt (Fry et al., 2002; Gondin et al., 2006). Hortobagyi et al. (1993) konnten bei krafttrainierten Probanden nach einer Detrainingsphase von zwei Wochen nur geringe, aber signifikante Verluste der Maximalkraft bei der Übung Kniebeugen und Bankdrücken finden. In dieser Untersuchung kam es bei den Übungen CMJ und DJ in der Detrainingsperiode sogar zu einer Zunahme der Sprunghöhe. Die Detrainingsphase ging mit einem signifikanten Anstieg an Wachstumshormonen und Testosteron sowie einem signifikanten Rückgang an Kortisol und dem Enzym Creatinkinase einher. Prinzipiell sollen gegenteilige Anpassungen nach Beendigung eines Krafttrainings auftreten, verglichen mit den Adaptationen, die zuvor in der Trainingsphase erzielt wurden (Fry et al., 2002; Narici et al., 1989; Shima et al., 2002). Häkkinen et al. (1981) konnten in einer achtwöchigen Detrainingsphase eine Reduktion des Faserquerschnittes messen, der bei FT-Fasern höher ausfiel als bei den ST-Fasern. Dies ging mit einem Rückgang der isometrischen und dynamischen Maximalkraft einher. Unter Betrachtung dieser Ergebnisse ist bei einem Absetzen des Krafttrainings in der Wettkampfperiode wahrscheinlich, dass die erzielte leistungspositive Adaptation, die durch ein Krafttraining in der Vorbereitungsphase erzielt wurde, aufgrund der Dauer dieser Periode verloren geht. Hierfür spricht auch die Trainingspraxis. Kraemer et al. (2004) fanden bei amerikanischen Erstliga [National Football League (NFL)] Spielern im Verlauf einer 11-Wochen-Fußball-Saison (19 Liga-Spiele) Leistungsabnahmen der Maximalkraft [isokinetische und isometrische Messungen (bis 12 Prozent)] sowie der Sprungleistungen (13,8 Prozent) und langsamere Sprintzeiten (4,3 Prozent) über den Beobachtungszeitraum. Möglich ist, dass die zu erwartenden entwicklungsbedingten Leistungssteigerungen durch potenzielle Ermüdungseffekte, die sich innerhalb einer Saison aufsummieren können, überlagert werden.

Hingegen konnte gezeigt werden, dass es im Verlaufe einer Saison sogar zu Leistungssteigerungen in den Maximalkraftleistungen kommen kann, sofern ein Krafttraining auch während der Wettkampfphase beibehalten wird (Hoffman & Kang, 2003). Eine weitere Studie mit professionellen Handballspielern zeigt, dass es durch ein Krafttraining auch innerhalb der Saison zu Leistungssteigerungen in Schnellkraftleistungen kommt (Marques & Gonzalez-Badillo, 2006). Auch Hermassi et al. (2011) kommen zu ähnlichen Ergebnissen, jedoch scheinen diese Effekte abhängig vom Ausgangsniveau zu Saisonstart zu sein (Hermassi et al., 2011). Daher sollte ein Krafttraining nahezu ganzjährig auch bei Mannschaftssportarten erfolgen (Hermassi et al., 2011). Um die positiven Effekte auf Maximal- und Schnellkraftleistungen eines Krafttrainings innerhalb der Saison zu erhalten, jedoch Ermüdungseffekte zu vermindern, reduzieren Trainer den Umfang des Krafttrainings in der Wettkampfphase (Rønnestad et al., 2011). Rønnestad et al. (2011) konnten jedoch zeigen, dass Kraft- und Schnellkraftleistungen nur dann beibehalten werden können, wenn mindestens eine Krafttrainingseinheit stattfindet. Die zweite Interventionsgruppe dieser Untersuchung, die alle zwei Wochen eine Krafttrainingseinheit durchführte, musste sogar reduzierte Kraft- und Schnellkraftleistungen am Ende des Untersuchungszeitraumes hinnehmen. Auch konnte in dieser Untersuchung gezeigt werden, dass eine Krafttrainingseinheit pro Woche nicht ausreichte, um weitere Leistungssteigerungen auch innerhalb der Saison zu erzielen. Marques und Gonzalez-Badillo (2006) und Hermassi et al. (2011) konnten hingegen zeigen, dass zwei Krafttrainingseinheiten auch innerhalb der Saison von Leistungssportlern umsetzbar sind und diese außerdem sogar zu Leistungssteigerungen in Maximal- und Schnellkraftparametern führten. Hierbei ist die über die lange Wettkampfperiode bedingte potenziell kumulierende Ermüdung der Sportler zu beachten. Im Falle des Handballs soll eine sich durch das Krafttraining und das Handballtraining potenzierende Ermüdung vermieden werden. Hierbei gilt es zu bedenken, dass nach einem mehrfachseriellen submaximalen Training mit dynamischen Krafteinsätzen, also z. B. ein Training mit der Hypertrophie-Methode, aber auch isometrischen Krafteinsätzen aufgrund von einer zunehmenden Anhäufung von Stoffwechselprodukten wie Wasserstoffionen, Adenosindiphosphat und anorganischem Phosphat im Sarkoplasma sowie Elektrolytverschiebungen wie Natriumionen und Kaliumionen im Sarkolemma und einer Abnahme der energiereichen Phosphate eine periphere Ermüdung eintreten kann (Billeter & Hoppler, 1994; Cheng & Rice, 2005; Edman, 1994; Hortobagyi et al., 1996; Martin, 1987; Raastad & Haalen, 2000). Diese Phänomene sind jedoch kurzfristig zu betrachten (Raastad & Haalen, 2000). Jedoch ist zu beachten, dass sich nach einem langen intensiven Trainingsblock Ermüdungseffekte aufstauen können. Dies ist in einem Mikrozyklus zu bedenken. Die beschriebenen Ermüdungserscheinungen nach einem intensiven Trainingsblock sollen jedoch nicht länger als drei Tage nach der letzten Trainingseinheit andauern (Wirth, 2007). Es lassen sich jedoch länger anhaltende Ermüdungserscheinungen z.B. durch Störungen in der Reizübertragung nach einem Krafttraining finden. Die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit kann durch mechanische Schäden an den transversalen Tubuli und dem sarkoplasmatischen Retikulum mehrtägig

eingeschränkt sein (Warren et al., 2001). Nach einem intensiven Krafttraining kann es in strukturellen Eiweißen der Muskelzelle und dem Bindegewebe zu Mikrotraumata kommen (Liu et al., 2007). Dies wird vor allem mit exzentrischen Kontraktionen, aber auch mit Kontraktionen mit einer hohen Belastungsintensität assoziiert (Friden & Lieber, 1992; Stone, 1994). So konnte bei einer Trainingseinheit mit exzentrischen Kontraktionen eine signifikante Reduktion der isometrischen Maximalkraft der Armbeuger fünf bis sieben Tage nach der Trainingseinheit gemessen werden (Ebbeling & Clarkson, 1990; Endoh et al., 2005; Howatsen & Vansomeren, 2007; Michaut, 2001). Clarkson et al. (1992) geben in ihrem Review an, dass nach einer Krafttrainingseinheit Kraftverluste bis zehn Tage nach der Trainingseinheit festzustellen sind. Diese fallen in den ersten Tagen am stärksten aus und reduzieren sich innerhalb weniger Tage, bei extremen Belastungen konnte selbst nach 14 Tagen eine noch nicht vollständig wiederhergestellte isometrische Maximalkraft im Vergleich zum Eingangstest festgestellt werden (Donnelly et al., 1992; Golden & Dudley, 1992; Kroon & Naeje, 1991). Daher sollten in den Mannschaftssportarten bei zweimal wöchentlichem Krafttraining die „ermüdenden“ Trainingseinheiten mit hohen Satz- und Wiederholungszahlen (Hypertrophietraining) vornehmlich in den Vorbereitungsphasen absolviert werden, jedoch auch in den ersten Wochen der Wettkampfphase fortgeführt werden (Allerheiligen, 2003). Die Umfänge (vor allem der Wiederholungen) sollten bei steigenden Intensitäten in der Wettkampfphase reduziert werden, um vor allem die mechanische Zerstörung in der Muskulatur durch extensive Hypertrophie-Einheiten und damit aufsummierende Ermüdung zu verhindern. Weiterhin ermöglichen wohl die hohen Intensitäten eine Stabilisierung bzw. sogar Verbesserung der neuronalen Anpassungen. Um die Ermüdung bzw. die Regenerationszeit der Sportler auf einem Niveau zu halten, sodass am Wochenende zum Wettkampfzeitpunkt wieder Bestleistungen erbracht werden können, müssen die Krafttrainingseinheiten zu Beginn bis Mitte der Woche stattfinden. Weiter ist eine nicht vollständige Auslastung der Sportler zu empfehlen (Ebben & Blackard, 2001). „Erzwungene Wiederholungen“, d.h. ein Training bis zum absoluten Muskelversagen sind daher nicht zu empfehlen, auch wenn dies potenziell Einbußen in der Effektivität der einzelnen Krafttrainingseinheit zur Folge haben kann (Schoenfeld, 2010), jedoch nicht muss (Izquierdo et al., 2006). Zudem ist es im Krafttraining im langfristigen Trainingsprozess als äußerst hilfreich anzusehen, wenn in einem gewissen Rahmen eine Variation innerhalb der Belastungsnormativa bzw. eine Periodisierung des Krafttrainings erfolgt, um Trainingsplateaus zu vermeiden (Fleck, 2002; Fry & Newton, 2002; Stone et al., 1998), daher scheint auch aus dieser Sicht das beschriebene Periodisierungsmodell auf den langfristigen Leistungsaufbau (LLA) in Mannschaftssportarten zu passen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Krafttraining ganzjährig auch in der Wettkampfphase durchgeführt werden sollte (Allerheiligen, 2003; Hutchins, 1980; Turner & Steward, 2014). Sinnvoll erscheint es im Saisonverlauf, das Volumen der Krafttrainingseinheiten blockweise zu reduzieren, dennoch das Krafttraining ganzjährig durchzuführen (Turner & Steward, 2014).

### 3 Forschungsfragen und Hypothesen

Die Spielsportart Handball mit einer oder mehrerer Wettkampfbelastungen pro Woche in der Wettkampfsaison und ihr komplexes Anforderungsprofil an die (athletischen) Fähigkeiten der Sportler bietet diverse Möglichkeiten der Anpassung von Trainingsinterventionen zur Leistungsoptimierung und Gesunderhaltung der Athleten. Grundlage dieser Studie sollte der Leistungssektor Physis (Abb. 1) und hier konkret die „Stellschrauben“ Maximalkraft und Schnelligkeit bzw. Schnellkraft sein. Eine klassische Belastungsgestaltung im Krafttraining der Sportler basiert einzig auf dem erhobenen 1RM einer oder mehrerer Übungen im Krafttraining. Dieses 1RM fluktuiert jedoch individuell innerhalb einer Saison, eines Trainingsblocks, einer Trainingswoche und sogar innerhalb einer einzigen Trainingseinheit. Belastungsfaktoren wie körperliche Beanspruchung in Spiel und Training, psychologische Belastungen sowie das individuelle Regenerationsmanagement bzw. die grundsätzlichen Regenerationsfähigkeiten sind nur einige von vielen Parametern, die einen Einfluss auf das individuelle 1RM eines Sportlers an dem Zeitpunkt besitzen, an dem er mit maximal möglicher Intensität trainieren soll. Das Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit liegt daher darin, die Effektivität einer geschwindigkeitsbasierten Belastungsgestaltung mit einer prozentbasierten Belastungsgestaltung im Krafttraining zu vergleichen. Die durchgeführte Studie soll den Effekt eines geschwindigkeitsbasierten Krafttrainings auf die, für den Handballsport wesentlichen, athletische Leistungsfähigkeiten aus den Bereichen Maximalkraft, Schnell- und Reaktivkraft, d.h. Sprint, Sprung und Wurf überprüfen. Dies geschah im Vergleich zu einer prozentorientierten Belastungssteuerung bei 20 trainierten Handballer im Überkreuzstudiendesign. Um eine Hypothese vollständig bestätigen zu können, muss die Trainingsmethode VBT sowohl im Vergleich der Mittelwertsunterschiede der Eingangs- und Ausgangstests der ersten 12 Trainingswochen (T1-1 zu T1-3), als auch im Vergleich der Eingangs- und Ausgangstests der zweiten 12 Trainingswochen (T2-1 zu T2-3) signifikante Leistungsunterschiede gegenüber PBT hervorbringen. Die jeweilige Signifikanz der unterschiedlichen Trainingsmethodik soll im Kontext der folgenden 20 Forschungshypothesen untersucht werden.

#### Fragestellung 1

Wirkt sich eine geschwindigkeitsbasierte Belastungssteuerung des Krafttrainings im Handball leistungspositiv aus auf die Maximal- und Relativkraftfähigkeiten bei den Langhantelübungen Frontkniebeuge und Bankdrücken im Vergleich zu einer prozentbasierten Belastungsgestaltung? Aus Fragestellung 1 ergeben sich die Hypothesen 1.1 - 1.4

##### - Hypothese 1.1

Das 1RM der Frontkniebeuge wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur

prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport verbessern.

- **Hypothese 1.2**

Die Relativkraft in der Frontkniebeuge wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport verbessern.

- **Hypothese 1.3**

Das 1RM des Bankdrückens wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport verbessern.

- **Hypothese 1.4**

Die Relativkraft im Bankdrücken wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport verbessern.

Da sich die Schnellkraft ebenso wie die Reaktivkraft in Abhängigkeit zur Maximalkraft befindet [Güllich et al., 1999], sind die Vergleichswerte der Leistungsentwicklungen der Versuchsgruppen im Kontext dieser Krafftähigkeiten ebenfalls von sportwissenschaftlichem Interesse.

## **Fragestellung 2**

Werden die Leistungsparameter aus den schnell- bzw. reaktivkräftigen Bewegungsmustern im Sprint, Sprung und Wurf analog zu den Maximal- bzw. Relativkraftleistungen leistungspositiv beeinflusst durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung des Krafttrainings der Probanden aus dem Handballleistungssport? In der Leistungsdiagnostik der vorliegenden Studie befinden sich sowohl Tests zur Erfassung des langen DVZ und des kurzen DVZ. Eine Differenzierung der Reaktivkraft erfolgt in Kapitel 2.3.2. Aus Fragestellung 2 ergeben sich die Hypothesen 2.1 bis 2.10.

- **Hypothese 2.1**

Die Leistungsfähigkeit im Schlagwurf aus dem Stand wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport verbessern.

- **Hypothese 2.2**

Die Leistungsfähigkeit im 20 m Sprint wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport verbessern.

- **Hypothese 2.3**  
Die Leistungsfähigkeit im 10 m Sprint wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.
- **Hypothese 2.4**  
Die Leistungsfähigkeit im 5 m Sprint wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.
- **Hypothese 2.5**  
Die Leistungsfähigkeit, bezogen auf die Sprunghöhe, im DJ aus 40 Zentimetern (cm) Höhe wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.
- **Hypothese 2.6**  
Die Leistungsfähigkeit, bezogen auf die Bodenkontaktzeit, im DJ aus 40 cm Höhe wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.
- **Hypothese 2.7**  
Die Leistungsfähigkeit, bezogen auf den RKI, im DJ aus 40 cm Höhe wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.
- **Hypothese 2.8**  
Die Leistungsfähigkeit im CMJ wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.
- **Hypothese 2.9**  
Die Leistungsfähigkeit im SJ wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.
- **Hypothese 2.10**  
Die Leistungsfähigkeit im Standweitsprung wird sich durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr ( $p < 0,05$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessern.

Im Leistungssportpraktischen Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Trainingsmotivation der Trainierenden, sowie ihrem subjektiven Beanspruchungsempfinden. In Folge dessen vergleicht die vorliegende Studie ebenfalls diese Segmente der Leistungssportlichen Entwicklung.

### **Fragestellung 3**

Wie wirkt sich der auto-regulative Charakter einer geschwindigkeitsbasierten Belastungsgestaltung des Krafttrainings auf die Trainingsmotivation und das subjektive Beanspruchungsempfinden der Probanden aus dem Handballeistungssport aus? Die Phänomene des Overreaching und Übertraining sind in Zusammenhang zur Belastungssteuerung zu sehen und werden in Kapitel 2.6 beschrieben. Daher ist auch zu hinterfragen, wie sich die geschwindigkeitsorientierte Belastungssteuerung im Vergleich zur prozentbasierten Belastungssteuerung auf den morgendlichen Ruhepuls, die Schlafdauer und die subjektiv empfundene Schlafqualität auswirkt. Aus Fragestellung 3 ergeben sich die Hypothesen 3.1 – 3.6. Die Bestätigung der Hypothesen 3.1 – 3.6 war nur erwiesen, wenn sowohl Signifikanz ( $p < 0,05$ ) als auch Effektstärke ( $r \leq 0,5$ ) entsprechend gegeben waren.

- **Hypothese 3.1**

Der morgendliche Ruhepuls ist bei der geschwindigkeitsorientierten Trainingsmethodik im Wochendurchschnitt signifikant ( $p < 0,05$ ) geringer als bei der prozentbasierten Trainingsmethodik.

- **Hypothese 3.2**

Die wochendurchschnittliche Schlafdauer in Stunden ist bei der geschwindigkeitsbasierten Trainingsmethodik signifikant ( $p < 0,05$ ) höher als bei der prozentbasierten Trainingsmethodik.

- **Hypothese 3.3**

Die subjektiv empfundene Schlafqualität ist bei der geschwindigkeitsorientierten Trainingsmethodik im Wochendurchschnitt signifikant ( $p < 0,05$ ) höher als bei der prozentbasierten Trainingsmethodik.

- **Hypothese 3.4**

Die allgemeine subjektiv empfundene morgendliche Befindlichkeit ist bei der geschwindigkeitsorientierten Trainingsmethodik im Wochendurchschnitt signifikant ( $p < 0,05$ ) höher als bei der prozentbasierten Trainingsmethodik.

- **Hypothese 3.5**

Das subjektive Beanspruchungsempfinden der Versuchsgruppe, welche geschwindigkeitsbasiert trainiert, ist signifikant ( $p < 0,05$ ) geringer als das subjektive Beanspruchungsempfinden der Versuchsgruppe, deren Belastungsgestaltung prozentbasiert skaliert wird.

- **Hypothese 3.6**

Eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung im Krafttraining der Probanden aus dem Handballeistungssport sorgt für eine signifikant ( $p < 0,05$ ) höhere Trainingsmotivation verglichen mit der Versuchsgruppe, deren Belastungsgestaltung prozentbasiert umgesetzt wird.

## 4 Material und Methoden

Es wurde eine 28-wöchige Studie (s. Tabelle 14) durchgeführt, welche die Effekte einer geschwindigkeitsbasierten Belastungsgestaltung des Krafttrainings im Handball verglichen mit einer klassischen prozentbasierten Belastungsgestaltung, untersuchte. Verglichen wurden die Auswirkungen der jeweiligen Trainingsmethodik auf Maximalkraft (1RM Frontkniebeuge und 1RM Bankdrücken), Sprung- (Drop Jump, Countermovement Jump, Squat Jump und Standweitsprung) und Sprintleistung (5 m, 10 m, 20 m Sprint) sowie Wurfgeschwindigkeit (Schlagwurf aus dem Stand) Die Entwicklung der Leistungsparameter wurde in insgesamt 6 Leistungsdiagnostiken (LD) überprüft. Der Eingangstest (T1-1) erfolgte im September 2019, Re-Test 1 (T1-2) erfolgte im Oktober 2019, Re-Test 2 (T1-3) wurde im Dezember 2019 durchgeführt. Nach einer 4-wöchigen Detrainingsphase erfolgte Eingangstest 2 (T2-1) im Dezember 2019, Re-Test 1 (T2-2) im Februar 2020 und Re-Test 2 (T2-3) im März 2020. Ein geplanter Abschlusstest (T3-1) nach einer weiteren 4-wöchigen Detrainingsphase musste in Folge der COVID-19-Pandemie und der dazugehörigen Sicherheitsmaßnahmen und Kontaktbeschränkungen ausbleiben.

### 4.1 Probanden und Studiendesign

Die Probanden setzten sich aus Handballern (männlich) der U19 und U23 des SC Magdeburg zusammen. Im Zusammenhang der vorliegenden Studie wurden zu Untersuchungsbeginn 28 Handballspieler auf leistungssportlichem Niveau (U19 in der A-Junioren Bundesliga und U23 in der 3. Bundesliga der Senioren) im Kreuzstudiendesign für jeweils 12 Wochen entweder geschwindigkeitsbasiert oder prozentbasiert trainiert. Die Studienteilnehmer unterzeichneten vor Untersuchungsbeginn eine Teilnahmeeinverständniserklärung bzw. wurde diese von einem Erziehungsberechtigtem unterzeichnet, sofern der Proband zu Studienbeginn noch nicht volljährig war (Anlage 2). Versuchsgruppe A (VG A) und Versuchsgruppe B (VG B) setzten sich möglichst parallel im Intergruppenvergleich zusammen bezüglich ihrer biometrischen Voraussetzungen (s. Tabelle 9) sowie ihrer im Eingangstest (T1-1) ermittelten, sportlichen Leistungsfähigkeit hinsichtlich ihrer Maximalkraftleistung in der Frontkniebeuge (s. Tabelle 32). Die Probanden wurden also dementsprechend über die beiden Versuchsgruppen aufgeteilt, dass die Mittelwerte beider Versuchsgruppen bezogen auf die Parameter Alter, Körpergröße, Körpergewicht und 1RM Frontkniebeuge aus T1-1 die größtmögliche Parallelität aufwiesen. VG A verfügte über 3,2 ( $\pm$  0,8) Jahre Krafttrainingserfahrung und VG B verfügte über 2,9 ( $\pm$  0,4) Jahre Krafttrainingserfahrung. Nach einer versuchsgruppenübergreifenden sechswöchigen Trainingsphase der Techniks Schulung in den Zielübungen Frontkniebeuge und Bankdrücken trainierte VG A zunächst 12 Wochen nach der geschwindigkeitsbasierten Methodik, während VG B parallel dazu die ersten 12 Wochen der Intervention prozentbasiert trainierte. Nach einer 4-wöchigen Detrainingsphase trainierte VG A für 12 Wochen prozentbasiert, während VG B parallel dazu für 12 Wochen

geschwindigkeitsbasiert trainierte. Die 12 Trainingswochen waren jeweils unterteilt in 6 Wochen Maximalkrafttraining und 6 Wochen Schnellkrafttraining. Da nur Probanden mit einem vollständigen Datensatz (n=20) in die Auswertung mit einfließen, betrug die Drop-Out Quote in der Längsschnittbetrachtung 28,5 % über den gesamten Untersuchungszeitraum. VG A und VG B begannen die Untersuchung mit jeweils 14 Probanden. Durch verletzungsbedingte Ausfälle konnten nur die Daten von VG A mit n = 10 und VG B mit n = 10 verglichen werden. Beide Mannschaften absolvierten die gleiche Anzahl an handballspezifischen Trainingseinheiten, sowie zweimal wöchentlich ein ca. 90-minütiges Krafttraining nach den Vorgaben des Studienleiters. Sämtliche Sportler wiesen eine Trainingserfahrung von mindestens 6 Jahren im Handballsport und mindestens 2 Jahren im Krafttraining auf.

*Tabelle 12: Biometrische Daten der Handballer im Eingangstest*

*Wie die p-Werte in der letzten Zeile der Tabelle zeigen, ergab die Prüfung auf Mittelwertsunterschiede zwischen VG A und VG B bzgl. der biometrischen Daten mittels t-Tests keine Unterschiede.*

Versuchsgruppe	Alter (Jahre) (MW ± SD)	Größe (cm) (MW ± SD)	Gewicht (Kg) (MW ± SD)
VG A (n=14)	19,5 ± 1,6	188,1 ± 5,4	86,5 ± 10,1
VG B (n=14)	18,6 ± 1,4	187,5 ± 5,4	85,7 ± 10,5
P	0,095	0,837	0,894

## 4.2 Krafttrainingsinterventionen

Nachfolgend soll in chronologischer Reihenfolge die Periodisierung der dieser Studie zugrundeliegenden Krafttrainingsinterventionen veranschaulicht werden. Nach einer sechswöchigen Phase der Technikschiulung wurde jeweils für 6 Wochen eine Methodik des Maximalkrafttrainings und des Schnellkrafttrainings verfolgt. Nach dem jeweiligen Trainingsblock folgte ein Re-Test der Kraft-, Sprung-, Sprint- und Wurffähigkeiten der Probanden. Nach einer vierwöchigen Detrainingsphase, um eventuelle residuale Effekte zu minimieren, wiederholten sich die Maximal- und Schnellkraftblöcke mit dem Unterschied, dass VG A und VG B die Trainingsmethodik (VBT & PBT) untereinander wechselten. Innerhalb der jeweiligen Trainingsblöcke wurde eine einfache, lineare Periodisierung verwendet, d.h. die Umfänge wurden von Woche 1 bis 6 reduziert, während die Beanspruchungen im gleichen Zeitraum gesteigert wurden. Die lineare Periodisierung ist ein Modell der Trainingsplanung, bei dem der Trainingsumfang mit zunehmendem Zeitintervall abnimmt, wohingegen sich die Beanspruchung erhöht. In der Regel wird mit niedrigen Belastungen und hohen

Trainingsumfängen begonnen, um im Laufe des Trainingsblockes kontinuierlich zu höheren Belastungen und geringeren Trainingsumfängen zu gelangen. Sätze und Wiederholungen sind hierbei die Parameter, die den Umfang bilden und die bewegten Lasten in Relation zum 1RM bilden die Stellschraube der Belastung. Ein lineares Periodisierungsmodell wurde im Kontext der Untersuchung einer wellenförmigen Periodisierung vorgezogen, denn eine Literaturrecherche zeigte keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Steigerung der Maximalkrafftähigkeiten im Kontext von Studien mit Probanden mit einer Krafttrainingserfahrung von < 5 Jahren bezogen auf das Periodisierungsmodell (Rhea et al., 2003; Fröhlich et al., 2008; Bompa et al., 2009; Issurin, 2010; Miranda et al., 2013; Buford et al., 2007). Auch Harries et al. (2015) konnten in ihrer Meta-Analyse ebenfalls keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Maximalkraftsteigerungen zwischen den beiden Periodisierungsmodellen feststellen. Da die Probanden über eine Krafttrainingserfahrung von 3,2 ( $\pm$  0,8) Jahre (VG A) bzw. 2,9 ( $\pm$  0,4) Jahre (VG B) verfügten und es laut Studienlage nur bei deutlich krafttrainingserfahreneren Sportlern zu geringfügig größeren Adaptionen der Maximalkraft durch eine wellenförmige Periodisierung, verglichen mit einem linearen System, kommt, wurden die Trainingsblöcke linear periodisiert. Es wurde bewusst eine lineare Periodisierung verwendet, da ein leistungspositiver Aspekt der wellenförmigen Periodisierung darin vermutet wird, dass durch das häufigere Wechseln der Trainingsvariablen bei einer wellenförmigen Periodisierung eine größere Anzahl verschiedener Reize gesetzt wird und es so zu Anpassungen auf neuronaler Ebene kommen könnte (Eifler, 2016; Rhea et al., 2002; Zourdos et al., 2015). Nun sollten sich im Zusammenhang der vorliegenden Studie die Wechsel der Trainingsvariablen vornehmlich auf eine kontinuierliche Veränderung der Belastung beschränken und dadurch der Parameter Hantelgeschwindigkeit im VBT deutlich dem Parameter prozentuale Steigerung der Trainingsgewichte im PBT möglichst isoliert gegenübergestellt werden während alle anderen Kenngrößen (Pausenzeit, Sätze, Wiederholungen, Vor- und Nachbereitung, Dauer und Anzahl der Trainingseinheiten etc.) identisch waren im Vergleich von VBT und PBT. Sämtliche Belastungsnormative der Krafttrainingsinterventionen entsprachen für beide Trainingsmethoden den gängigen Empfehlungen für das Maximalkrafttraining und das Schnellkrafttraining (s. Abbildungen 2, 3 und Tabellen 1, 2, 3, 6, 8, 9) um eine größtmögliche Vergleichbarkeit von VBT und PBT sowie die jeweils größte Effektivität der Trainingsprogramme zu gewährleisten. Tabelle 13 verschafft einen Überblick über die aktuelle Studienlage hinsichtlich Krafttrainingsinterventionen, welche einen Vergleich von VBT und PBT vorsahen oder zumindest eine Belastungssteuerung mittels VBT vornahmen.

Tabelle 13: Studien zum Thema Krafttrainingsintervention inkl. Nutzung VBT

Autor(en)	Probandenniveau	Sportart	Studiendauer	Belastungssteuerung
Banyard et al. (2020)	24 Freizeitsportler	-	6 Wochen	VBT vs PBT
Dorrell et al. (2019)	16 männliche Freizeitsportler	-	6 Wochen	VBT vs PBT
Hirsch (2019)	13 männliche Leistungssportler	Kraftdreikampf	4 Wochen	VBT (mit Feedback) vs VBT (ohne Feedback)
Orange et al. (2019)	27 männliche Leistungssportler	Rugby	7 Wochen	VBT vs PBT
Nagata et al. (2018)	37 männliche Leistungssportler	Rugby	4 Wochen	VBT (verschiedene Feedback Varianten)
Rodriguez-Rossell et al. (2020)	25 männliche Freizeitsportler	-	8 Wochen	VBT (10% Velocity Loss) vs VBT (30% Velocity Loss)

Während sich aktuelle Studien (Tabelle 13) entweder nicht im Leistungssportlichen Kontext oder über kürzere Zeiträume mit den Themen Belastungssteuerung durch VBT und Vergleich von VBT und PBT beschäftigen, befasst sich die Untersuchung des Autors im Gegensatz dazu mit den Auswirkungen des VBT auf eine Population aus dem Leistungssport im saisonbegleitenden Längsschnitt über insgesamt 28 Wochen. Auch das verwendete Kreuzstudiendesign, währenddessen sämtliche Probanden nach PBT und VBT trainierten, bedeutet ein Alleinstellungsmerkmal der vorliegenden Studie (Tabelle 14).

Tabelle 14: Chronologischer Aufbau der Untersuchung

Probanden	Woche 1-6	Woche 7-12	Woche 13-18	Woche 19-22	Woche 23-28	Woche 29-34
VG A	Technik	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT	Detraining	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT
VG B	Technik	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT	Detraining	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT



#### 4.2.1 Technikerwerbstraining

Die beiden in dieser Untersuchung verwendeten mehrgelenkigen Haupttrainingsübungen Frontkniebeuge und Bankdrücken stellen gewisse Anforderungen an die Bewegungskompetenz des Trainierenden. Daher war ein sechswöchiges Technikerwerbstraining vor Studienbeginn zwingend erforderlich, um einerseits die nötigen Grundvoraussetzungen bezüglich der Koordination, Mobilität und Stabilität zu schaffen und andererseits initial auftretende Maximalkraftzuwächse durch verbesserte

übungsspezifische koordinative Fähigkeiten bereits im Vorfeld der Studie zu erzielen, um deren Einfluss, d.h. den Faktor „Lernen“, auf die Entwicklung der Kraftfähigkeiten innerhalb der ersten Intervention zu minimieren. Als ursprüngliche mehrgelenkige Haupttrainingsübung für die unteren Extremitäten war die Nackenkniebeuge vorgesehen. Allerdings wurde im Verlauf des Technikerwerbstrainings offenkundig, dass eine deutlich größere Anzahl Probanden bei dieser Kniebeugenvariante Schwierigkeiten hatten, einen Kniewinkel von ca. 60° bzw. eine Positionierung des Beinbizepses parallel zum Boden am Umkehrpunkt der Bewegung bei gleichzeitig möglichst vertikalem Torso und stabiler Position des Bereichs der Lendenwirbelsäule zu erreichen. In Folge dieser Defizite, welche in einer geringeren Stichprobengröße aufgrund der Anforderungen an die Bewegungsamplitude resultierten sowie zur Gewährleistung einer größtmöglichen gesundheitlichen Sicherheit der Probanden, fiel die Wahl der Zielübung zur Ausprägung der Kraftfähigkeiten der unteren Extremitäten auf die Frontkniebeuge. Auch tief ausgeführte Kniebeugen mit einer Hantelablage vor dem Körper (Frontkniebeugen) haben einen erwiesenermaßen leistungspositiven Effekt auf Sprint- und Sprungleistungen im Leistungssportlichen Kontext (Hartmann, 2017; Schmidbleicher et al., 2009). Die koordinativen Voraussetzungen für das Bankdrücken als Haupttrainingsübung zur Ausprägung der Kraftfähigkeiten der oberen Extremitäten sind als deutlich geringer zu bewerten im Vergleich zur Kniebeuge. Demzufolge konnte in diesem Zusammenhang die ursprünglich geplante Zielübung Langhantel Bankdrücken beibehalten werden. Sowohl die Frontkniebeuge als auch das Bankdrücken wurden während der 6-wöchigen Phase des Technikerwerbstrainings jeweils zweimal pro Woche mit 3 Sätzen á 6-10 Wiederholungen mit 20 bis 40 Kg Last durchgeführt (Tabelle 15). Die Vorgabe an die Probanden bezüglich der Ausführungsgeschwindigkeit waren eine kontrollierte 3-sekündige exzentrische Bewegungsphase sowie ein 1-sekündiges isometrisches Kontrollieren der Bewegung am Umkehrpunkt, d.h. am Ende der exzentrischen Phase und am Endpunkt der konzentrischen Phase der jeweiligen Langhantelübung. Durch die Betonung der exzentrischen Kontraktion erfuhren beide VG einen trainingswirksamen Reiz (Haller, 2007; Suchomel et al., 2019).

Tabelle 15: Ablauf Technikerwerbstraining

Ablauf	Woche 1-2	Woche 3-4	Woche 5-6
Technikeinheit 1	Frontkniebeuge 3x10 20 Kg Bankdrücken 3x10 20 Kg	Frontkniebeuge 3x8 30 Kg Bankdrücken 3x8 30 Kg	Frontkniebeuge 3x6 40 Kg Bankdrücken 3x6 40 Kg
Technikeinheit 2	Frontkniebeuge 3x10 20 Kg Bankdrücken 3x10 20 Kg	Frontkniebeuge 3x8 30 Kg Bankdrücken 3x8 30 Kg	Frontkniebeuge 3x6 40 Kg Bankdrücken 3x6 40 Kg
Kadenz	3-1-X-1, d.h. 3 Sekunden Exzentrik, 1 Sekunde isometrisch halten, explosive konzentrische Bewegungsausführung, 1 Sekunde isometrisch halten	3-1-X-1, d.h. 3 Sekunden Exzentrik, 1 Sekunde isometrisch halten, explosive konzentrische Bewegungsausführung, 1 Sekunde isometrisch halten	3-1-X-1, d.h. 3 Sekunden Exzentrik, 1 Sekunde isometrisch halten, explosive konzentrische Bewegungsausführung, 1 Sekunde isometrisch halten

Neben der Schulung der eigentlichen Haupttrainingsübungen wurden die Probanden in die standardisierte Erwärmung für die Krafttrainingsinterventionen eingewiesen (Kapitel 4.2.4). Insbesondere die Komponenten der Schulung der Mobilität von Sprunggelenk, Hüftgelenk und Brustwirbelsäule sowie die Schulung der Stabilität bzw. Aktivierung von ischiocruraler Muskulatur, ventraler Rumpfmuskulatur und auch der Schulterblattfixaktoren sollten für eine erhöhte Bewegungskompetenz sorgen (Liebenson & Hyman, 1995; Willardson, 2007; Keferstein et al., 2016; Boyle, 2016; Verstegen & Williams, 2004).

#### 4.2.2 Maximalkraftintervention

Die Spieler beider Versuchsgruppen führten im Rahmen des Maximalkrafttrainings zwei Trainingseinheiten (TE) pro Woche durch. Stand am Freitag oder Samstag ein Handballspiel für den individuellen Probanden, unabhängig davon, ob in der U19 oder in der U23, an, so wurden die TE am Montag und am Mittwoch durchgeführt. Fiel der Spieltag auf einen Sonntag, so fand das Krafttraining am Dienstag und Donnerstag statt. Im Falle einer „englischen Woche“, d.h. zwei Spiele innerhalb einer Woche, was im Zeitraum der Untersuchung zweimal zutraf (jeweils Mittwoch und Sonntag), fanden die TEs am Montag und Freitag statt. Eine Doppelbelastung im Sinne eines Einsatzes eines Spielers bei beiden Mannschaften innerhalb einer Woche fand im Zeitraum der Datenerhebung nicht statt. Die Tabellen 16 bis 19 veranschaulichen die jeweiligen Wochenverläufe aufgeteilt nach Spieltag(en). Unabhängig davon, ob das jeweilige Spiel an einem Freitag, Samstag oder Sonntag absolviert

wurde, belief sich das Wochenpensum der Probanden auf 2 Krafttrainingseinheiten, 5 handballspezifische Trainingseinheiten von unterschiedlicher Belastung und 1 Videoanalyse-Sitzung in Vorbereitung auf den Gegner. Im Falle einer Belastung von 2 Spielen innerhalb einer Woche reduzierte sich das Pensum auf 2 Krafttrainingseinheiten, 2 handballspezifische Einheiten und 2 Videoanalysen.

*Tabelle 16: Wochenverlauf: Spieltag am Freitag*

Uhrzeit	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
06:00-11:00	Kraft	Handball	Kraft	Handball	Frei	Frei	Frei
15:00-20:00	Handball	Handball	Handball	Videoanalyse	Spiel	Frei	Frei

*Tabelle 17: Wochenverlauf: Spieltag am Samstag*

Uhrzeit	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
06:00-11:00	Kraft	Handball	Kraft	Frei	Frei	Frei	Frei
15:00-20:00	Handball	Handball	Handball	Handball	Videoanalyse	Spiel	Frei

*Tabelle 18: Wochenverlauf: Spieltag am Sonntag*

Uhrzeit	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
06:00-11:00	Handball	Kraft	Handball	Kraft	Frei	Videoanalyse	Spiel
15:00-20:00	Handball	Frei	Handball	Frei	Handball	Frei	Frei

*Tabelle 19: Wochenverlauf: Englische Woche*

Uhrzeit	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
06:00-11:00	Kraft	Handball	Frei	Frei	Kraft	Videoanalyse	Spiel
15:00-20:00	Frei	Videoanalyse	Spiel	Handball	Frei	Frei	Frei

Die beiden 6-wöchigen Maximalkraftinterventionen wurden (wie erwähnt) nach dem Vorbild einer linearen Periodisierung durchgeführt und dauerten inklusive Erwärmung und Nachbereitung jeweils 90 Minuten. Nach beiden TE waren mindestens 4 Stunden Pause bis zum Handballtraining gegeben. Abbildung 9 skizziert exemplarisch den Aufbau einer Maximalkrafteinheit innerhalb der beiden 6-wöchigen Maximalkraftinterventionen.



Abbildung 9: Ablauf eines Maximalkrafttrainings (VBT und PBT)

Die vorgegebenen Geschwindigkeitsbereiche der VBT-Gruppe basieren auf den aktuellen trainingswissenschaftlichen Empfehlungen für die Applikation des geschwindigkeitsbasierten Trainings (Baker, 2008; Izquierdo et al., 2011; Jovanovic et al., 2012; Mann, 2016) (vgl. Abb. 2, 3 und Tabelle 1, 2, 3, 6, 8, 9) und wurden für die Frontkniebeuge auf eine durchschnittliche konzentrische Bewegungsgeschwindigkeit von 0,3 – 0,5 m/s und für das Bankdrücken auf 0,2 – 0,4 m/s festgelegt. Die Belastungen der PBT-Gruppe wurden analog (s. Abb. 2, 3 und Tabelle 1, 2, 3, 6, 8, 9) dazu ausgewählt. Die dazugehörigen Kriterien für eine Anpassung der Trainingslast der VBT-Gruppe werden in Kapitel 4.4.4 hinreichend skizziert. Die Intensitäten für die PBT-Gruppe beliefen sich auf 85 – 90 % des 1RM. Die jeweiligen Haupt- und Ergänzungsübungen wurden als Satz- und nicht als Zirkeltraining absolviert. Die Bewegungsmuster der Ergänzungsübungen während des Maximalkrafttrainings sind als horizontales Zugmuster des Oberkörpers (Langhantel Rudern) sowie Kräftigung der ischiocruralen Muskulatur (Rumänisches Kreuzheben) zu klassifizieren. Die ischiocrurale Muskulatur beugt die Knie, streckt die Hüfte und stabilisiert die Ausrichtung des Beckens. Diese Auswahl wurde vor dem Hintergrund der Verbesserung der Belastungsverträglichkeit der gefährdeten Strukturen getroffen. Eine Kräftigung der Schulterblattfixatoren sowie der ischiocruralen Muskulatur steht laut trainingswissenschaftlicher Literatur im Zusammenhang mit einer Reduktion von durch wiederholte

Wurf-, Sprint- und Sprungbewegungen induzierten Verletzungssituation in Schulter- und Kniegelenk (Fieseler et al., 2014; Gröger et al., 2019; Luig et al., 2020; Luig, et al., 2018; Pieper, 2002; Rühlemann et al., 2019). Die konkreten Belastungsnormativa im Wochenverlauf der Maximalkraftinterventionen sind dargestellt in Tabelle 20 (PBT) und Tabelle 21 (VBT). Die Ergänzungsübungen wurden hinsichtlich ihrer Belastung weder geschwindigkeits- noch prozentbasiert skaliert, sondern versuchsgruppenübergreifend subjektiv nach RIR belastet.

Tabelle 20: Belastungsnormativa Maximalkraftinterventionen PBT-Gruppe

Trainingswoche	Woche 1-2	Woche 3-4	Woche 5-6
Sätze Frontkniebeuge	5	5	5
WDH Frontkniebeuge	5	4	3
Belastung Frontkniebeuge	85 % 1RM	87,5 % 1RM	90 % 1RM
Satzpause Frontkniebeuge	3 Minuten	4 Minuten	5 Minuten
Sätze Bankdrücken	5	5	5
WDH Bankdrücken	5	4	3
Belastung Bankdrücken	85 % 1RM	87,5 % 1RM	90 % 1RM
Satzpause Bankdrücken	3 Minuten	4 Minuten	5 Minuten
Sätze Rumänisches Kreuzheben	3	3	3
WDH Rumänisches Kreuzheben	10	8	6
Belastung Rumänisches Kreuzheben	RIR 5	RIR 3	RIR 2
Satzpause Rumänisches Kreuzheben	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten
Sätze LH Rudern	3	3	3
WDH LH Rudern	10	8	6
Belastung LH Rudern	RIR 5	RIR 3	RIR 2
Satzpause LH Rudern	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten

Tabelle 21: Belastungsnormativa Maximalkraftinterventionen VBT-Gruppe

Trainingswoche	Woche 1-2	Woche 3-4	Woche 5-6
Sätze Frontkniebeuge	5	5	5
WDH Frontkniebeuge	5	4	3
Belastung Frontkniebeuge	0,3-0,5 m/s	0,3-0,5 m/s	0,3-0,5 m/s
Satzpause Frontkniebeuge	3 Minuten	4 Minuten	5 Minuten
Sätze Bankdrücken	5	5	5
WDH Bankdrücken	5	4	3
Belastung Bankdrücken	0,2-0,4 m/s	0,2-0,4 m/s	0,2-0,4 m/s
Satzpause Bankdrücken	3 Minuten	4 Minuten	5 Minuten
Sätze Rumänisches Kreuzheben	3	3	3
WDH Rumänisches Kreuzheben	10	8	6
Belastung Rumänisches Kreuzheben	RIR 5	RIR 3	RIR 2
Satzpause Rumänisches Kreuzheben	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten
Sätze LH Rudern	3	3	3
WDH LH Rudern	10	8	6
Belastung LH Rudern	RIR 5	RIR 3	RIR 2
Satzpause LH Rudern	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten

#### 4.2.3 Schnellkraftintervention

Analog zum Ablauf der Maximalkraftinterventionen absolvierten die Probanden auch während des Schnellkrafttrainingsblockes zweimal wöchentlich ein Krafttraining. Auch hier richteten sich die Trainingstage nach den Einsätzen der Spieler im Meisterschaftsbetrieb der jeweiligen Mannschaft (s. Tabellen 15 bis 18). Eine Doppelbelastung der Handballer war auch im Zeitraum der beiden Schnellkraftinterventionen nicht gegeben. Die vorgegebenen Geschwindigkeitsbereiche der VBT-Gruppe basieren auf den aktuellen trainingswissenschaftlichen Empfehlungen für die Applikation des geschwindigkeitsbasierten Trainings (Baker, 2008; Izquierdo et al., 2011; Jovanovic, et al., 2012; Mann, 2016) und wurden für die Frontkniebeuge auf eine durchschnittliche konzentrische Bewegungsgeschwindigkeit von 0,8 – 1,0 m/s und für das Bankdrücken auf 0,6 – 0,8 m/s festgelegt (vgl. auch Abb. 2, 3 und Tb. 1, 2, 3, 6, 8, 9). Die Belastungen der PBT-Gruppe betragen 40 – 60% des 1RM bei der Frontkniebeuge und dem Bankdrücken. Die Bewegungsmuster der Ergänzungsübungen während der Schnellkrafttrainingsblöcke [Kurzhandel (KH) Rudern und Nordic Hamstring Curls] dienen wiederum der Kräftigung der Scapulafixatoren und der ischiocruralen Muskulatur, welche beide eine entscheidende Rolle bei der Verletzungsprophylaxe im Handballsport spielen (Luig et al., 2020). Abbildung 10 veranschaulicht den Ablauf eines Krafttrainings im Rahmen der Schnellkraftinterventionen für beide Versuchsgruppen. Die Belastungsnormativa für VG A und VG B sind in den Tabellen 22 und 23 veranschaulicht. Auch innerhalb der Schnellkraftintervention

wurden die verwendeten Lasten und Wiederholungen bei den Ergänzungsübungen dokumentiert und in der Erfassung der Absolutlast im Wochendurchschnitt inkludiert.

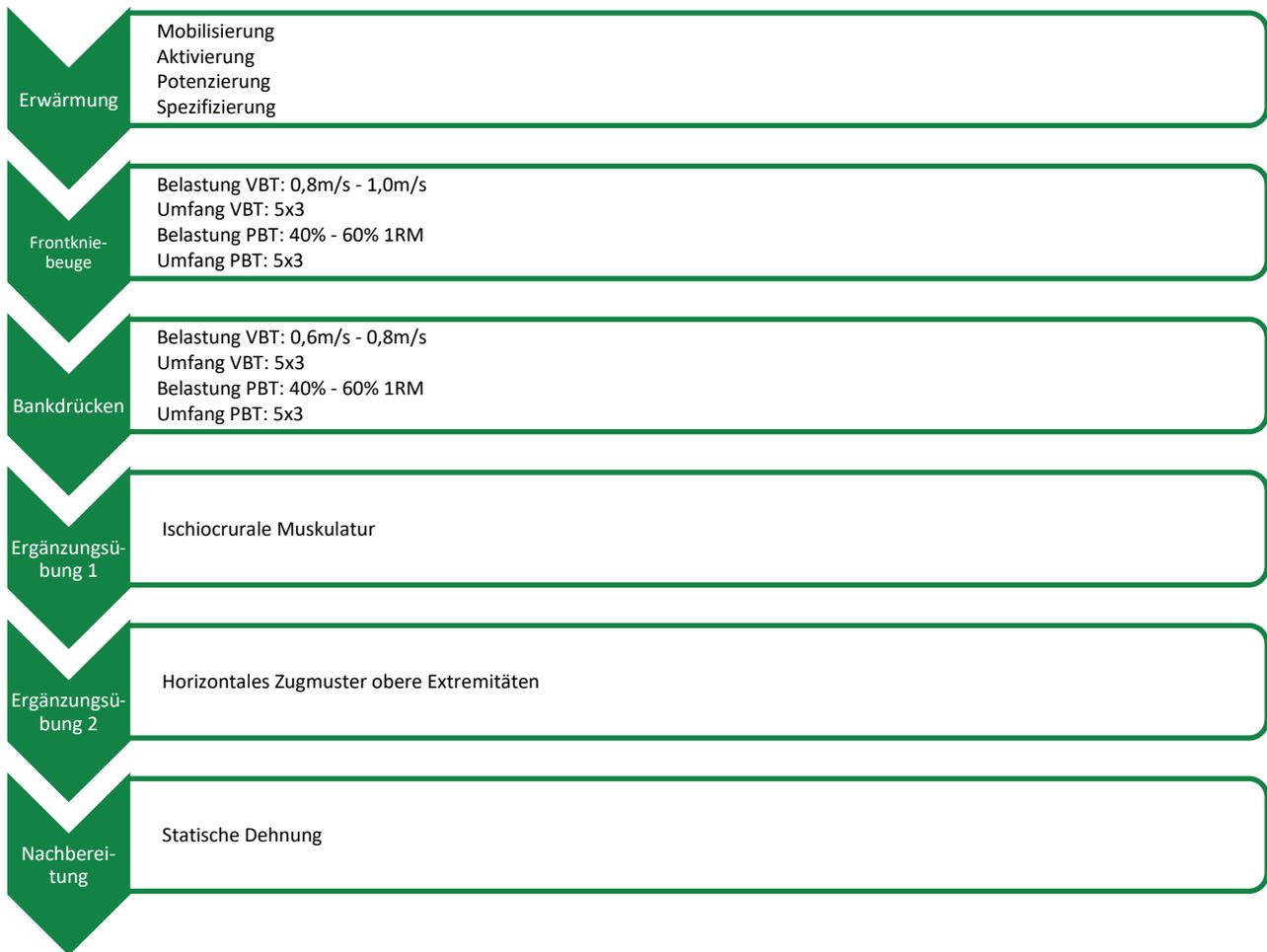


Abbildung 10: Ablauf eines Schnellkrafttrainings (VBT und PBT)

Tabelle 22: Belastungsnormativa Schnellkraftinterventionen PBT-Gruppe

Trainingswoche	Woche 1-2	Woche 3-4	Woche 5-6
Sätze Frontkniebeuge	5	5	5
WDH Frontkniebeuge	3	3	3
Belastung Frontkniebeuge	40 % 1RM	50 % 1RM	60 % 1RM
Satzpause Frontkniebeuge	4 Minuten	4 Minuten	4 Minuten
Sätze Bankdrücken	5	5	5
WDH Bankdrücken	3	3	3
Belastung Bankdrücken	40 % 1RM	50 % 1RM	60 % 1RM
Satzpause Bankdrücken	4 Minuten	4 Minuten	4 Minuten
Sätze Nordic Hamstring Curls	3	3	3
WDH Nordic Hamstring Curls	5	5	5
Belastung Rumänisches Kreuzheben	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe
Satzpause Rumänisches Kreuzheben	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten
Sätze KH Rudern	3	3	3
WDH KH Rudern	5 je Arm	5 je Arm	5 je Arm
Belastung KH Rudern	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe
Satzpause KH Rudern	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten

Tabelle 23: Belastungsnormativa Schnellkraftinterventionen VBT-Gruppe

Trainingswoche	Woche 1-2	Woche 3-4	Woche 5-6
Sätze Frontkniebeuge	5	5	5
WDH Frontkniebeuge	3	3	3
Belastung Frontkniebeuge	0,8-1,0 m/s	0,8-1,0 m/s	0,8-1,0 m/s
Satzpause Frontkniebeuge	4 Minuten	4 Minuten	4 Minuten
Sätze Bankdrücken	5	5	5
WDH Bankdrücken	3	3	3
Belastung Bankdrücken	0,6-0,8 m/s	0,6-0,8 m/s	0,6-0,8 m/s
Satzpause Bankdrücken	4 Minuten	4 Minuten	4 Minuten
Sätze Nordic Hamstring Curls	3	3	3
WDH Nordic Hamstring Curls	5	5	5
Belastung Nordic Hamstring Curls	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe
Satzpause Nordic Hamstring Curls	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten
Sätze KH Rudern	3	3	3
WDH KH Rudern	5 je Arm	5 je Arm	5 je Arm
Belastung KH Rudern	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe
Satzpause KH Rudern	2 Minuten	2 Minuten	2 Minuten

#### 4.2.4 Erwärmung

Eine Erwärmung vor dem Krafttraining hat die Zielstellung, den Sportler bestmöglich sowohl körperlich als auch mental auf das bevorstehende Training vorzubereiten. Zur Vorbereitung der 48 Trainingseinheiten der vorliegenden Untersuchung wurde eine standardisierte Erwärmung strukturiert nach den Bestandteilen des M.A.P.S (Mobilisierung, Aktivierung, Potenzierung, Spezifizierung) (Gröger et al., 2019; Jeffreys, 2018) verwendet. Mayo et al., (2014) zeigen in ihrer Studie, dass ein Warm-up-Programm, welches insbesondere die athletischen Fähigkeiten Beweglichkeit und Stabilität ausbildet, das Risiko einer Verletzungswahrscheinlichkeit signifikant senken kann. Die vier Komponenten des M.A.P.S. Prinzips gehen fließend ineinander über und die Erwärmung dauerte ca. 15-20 Minuten insgesamt. Mobilisation bedeutet, ein Gelenk oder mehrere Gelenke einer kinetischen Kette aktiv durch den gesamten Bewegungsradius zu bewegen. Ziel ist es, die Gelenkviskosität zu erhöhen und Mechano- und Golgirezeptoren von Gelenken und Gewebe zu stimulieren (Gröger et al. 2019). Die vorliegende Erwärmung fokussierte sich auf die Verbesserung der Mobilität der Sprunggelenke, des Hüftgelenks sowie der Brustwirbelsäule. Eine gute Mobilität dieser drei Gelenke ist eine Leistungsvoraussetzung zur technisch korrekten Ausführung der Zielübungen Frontkniebeuge und Bankdrücken. Aktivierung wird durch die gezielte Ansteuerung einzelner Muskeln und Muskelgruppen einer kinetischen Kette erzielt. Es wird auf eine Erhöhung der Muskelspannung und eine damit verbundene optimierte Kraftübertragung späterer Zielbewegungen abgezielt. Eine einhergehende Erhöhung der Dehnungstoleranz, der Durchblutung, der Innervation sowie eine Beschleunigung des Metabolismus der beteiligten Muskulatur sind weitere Ziele der Aktivierung (Gröger et al. 2019; Jeffreys, 2018). Die vorliegende Erwärmung konzentrierte sich auf eine Aktivierung von ventraler Rumpfmuskulatur, dorsaler Rumpfmuskulatur mit besonderem Fokus auf die gluteale Muskulatur, sowie eine Stabilisierung des Schultergürtels bzw. eine Aktivierung der Scapularertraktoren. Eine Aktivierung dieser Strukturen ist ebenfalls als leistungssteigernder Faktor bei der Ausführung von Frontkniebeuge und Bankdrücken einzuordnen. Potenzierung beinhaltet intensive Übungsformen, die eine erhöhte Erregbarkeit des neuromuskulären Systems bezwecken. In den Teamsportarten können zyklische und azyklische Bewegungen mit maximaler Bewegungsschnelligkeit sowie plyometrische Übungsformen gewinnbringend für die Potenzierung eingesetzt werden. Zum Zeitpunkt der Potenzierung müssen die involvierten Strukturen des musculoskeletalen Systems optimal bis maximal aktiviert sein, um Verletzungen zu vermeiden. Um Ermüdung zu vermeiden, sollte der Umfang bewusst niedrig und die Pausen dementsprechend lang sein (Gröger et al. 2019). Eine Vielzahl an Studien beweist den leistungssteigernden Effekt dieser Post Activation Potentiation (PAP) (Blazevich & Babault, 2019; Borba et al., 2017; Chavda et al., 2019. Hodgson et al., 2005; Tsimachidis et al., 2013). Spezifizierung ist die Vorbereitung der sportlichen Zielhandlung der Athleten. Im sportartspezifischen Kontext werden die Bewegungen und Handlungen des Handballs direkt vorbereitet. Im Kontext des Krafttrainings geschieht die Spezifizierung während der Erwärmungssätze der Zielübung (Gröger et al. 2019).

Die Belastungen der Erwärmungssätze betragen in der vorliegenden Studie 40 %, 60 % und 70 % (75 % in Woche 3-6) des 1RM für jeweils 5 WDH während der Maximalkraftinterventionen. Während der Schnellkraftinterventionen wurde ein Erwärmungssatz verschrieben, dessen Belastung 20 % (Woche 1-2), 30 % (Woche 3-4) oder 40 % (Woche 5-6) betrug. Eine Spezifizierung, d.h. Aufwärmssätze an der LH erfolgten für die Frontkniebeuge unmittelbar nach Beendigung der Potenzierung. Die Aufwärmssätze für das Bankdrücken erfolgten nach Beendigung der Arbeitssätze in der Frontkniebeuge. Abbildung 11 skizziert die Standardisierte Erwärmung der 24 Trainingswochen. Die Abbildungen 12 bis 27 zeigen den Studienleiter bei der Durchführung der einzelnen Erwärmungselemente innerhalb von M.A.P.S.

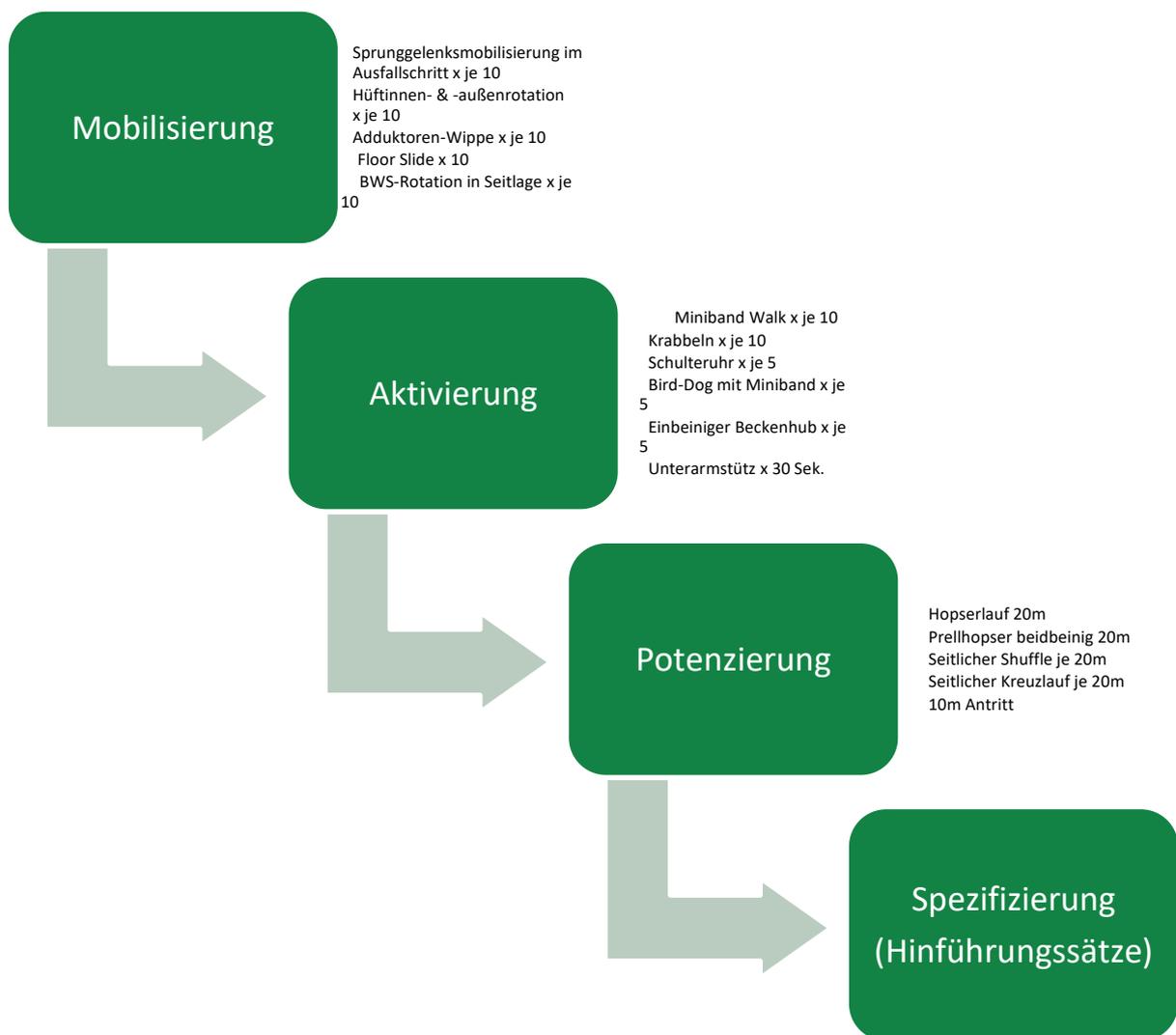


Abbildung 11: Standardisierte Erwärmung nach den Bestandteilen von M.A.P.S.



Abbildung 12: Mobilisierung oberes Sprunggelenk mit Traktion



Abbildung 13: Hüftaußenrotation und Hüftinnenrotation aus dem Z-Sitz



Abbildung 14: Hüftmobilisierung in der Adduktoren-Wippe



Abbildung 15: Mobilisierung Brustwirbelsäule in Extension und Schulter: Floor Slide



Abbildung 16: Mobilisierung Brustwirbelsäule in Rotation: Open Book



Abbildung 17: Aktivierung Hüftaußenrotatoren: Miniband Walk



Abbildung 18: Aktivierung ventrale Rumpfmuskulatur und Scapulafixatoren: Krabbeln



Abbildung 19: Aktivierung ventrale Rumpfmuskulatur und Scapulafixatoren: Schulteruhr



Abbildung 20: Aktivierung dorsale Rumpfmuskulatur: Bird-Dog



Abbildung 21: Aktivierung gluteale Muskulatur: einbeiniger Beckenhub



Abbildung 22: Aktivierung ventrale Rumpfmuskulatur: Unterarmstütz



Abbildung 23: Potenzierung: Hopsellauf



Abbildung 24: Potenzierung: Prellhopser



Abbildung 25: Potenzierung: Seitlicher Shuffle



Abbildung 26: Potenzierung: Seitlicher Kreuzlauf



Abbildung 27: Potenzierung: 10m-Antritt

#### 4.2.5 Nachbereitung

Zur Nachbereitung der Krafttrainingseinheiten absolvierten die Probanden ein statisches Dehnprogramm, welches aus 10 Dehnübungen bestand, die pro Übung für jeweils 20 Sekunden durchgeführt wurden. Abbildung 28 zeigt das verwendete Dehnprogramm in chronologischer Reihenfolge.

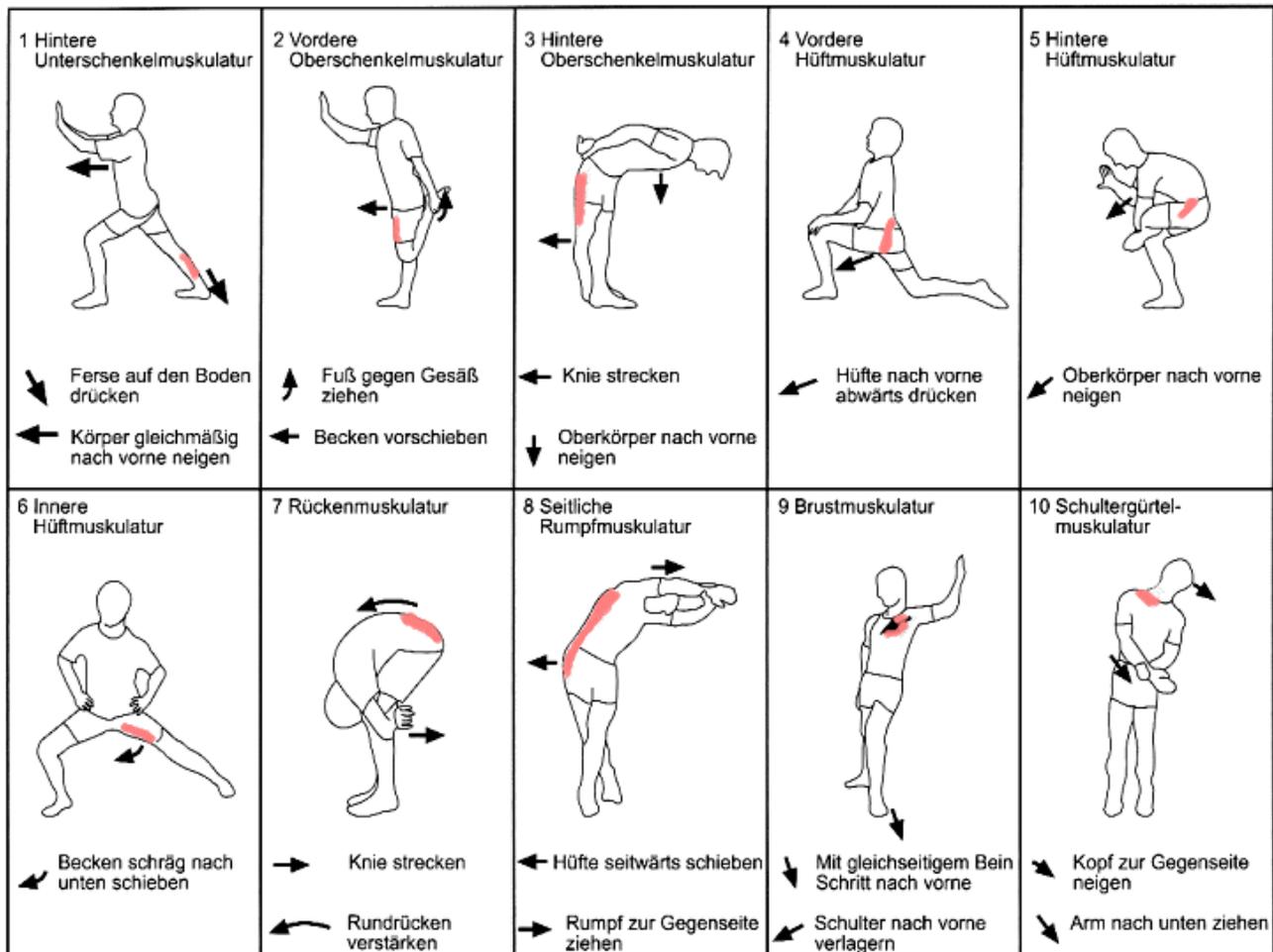


Abbildung 28: Statisches Dehnprogramm nach Weineck, 2012

#### 4.2.6 Monitoringverfahren und Trainingsmotivation

Das Ziel jedes Trainingsprozesses ist die Erhöhung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit, um den sportlichen Wettbewerb möglichst erfolgreich zu gestalten. Trainingsbelastung und individuelle Leistungsfähigkeit stehen jedoch in komplexen Zusammenhängen und sind abhängig von diversen Faktoren. Um den Trainingsprozess für die einzelnen Athleten zu optimieren, ist es notwendig, zu verstehen, dass jede Trainingsbelastung eine individuelle physiologische und psychologische Reaktion beim Sportler hervorruft. Diese wird Beanspruchung genannt. Erst die quantitative Erfassung der Belastung und der damit einhergehenden Beanspruchung ermöglicht eine systematische Steuerung des Trainings. Dies gilt im Besonderen auch für das Athletiktraining (Rohmert, 1984). Es gibt einen Zusammenhang zwischen der

Belastung (inkl. Unter- als auch Überbelastung), der Verletzungswahrscheinlichkeit und der Leistungsfähigkeit (Malone et al., 2018). Sowohl ein unzureichendes als auch übermäßiges Training kann demnach die Verletzungsanfälligkeit erhöhen, die Leistungsfähigkeit mindern und somit die Erfolgswahrscheinlichkeit der gesamten Mannschaft im Wettbewerb reduzieren (Gabbett, 2016). Folglich ist nicht die schiere Anzahl der Trainingseinheiten entscheidend, sondern viel mehr die Trainingsplanung mit einem optimalen Verhältnis von Belastung und Erholung, um die Leistungsfähigkeit langfristig zu maximieren (Rohmert, 1984). Dazu ist eine stetige prozessbegleitende Diagnostik der Beanspruchungs- und Erholungszustände erforderlich (Collette et al., 2018). Je nach biologischem Alter, genetischer Prädisposition, (Kraft-) Trainingskompetenz, dem aktuellen psychischen Zustand sowie vielen weiteren individuellen Faktoren kann dieselbe Belastung unterschiedliche individuelle Beanspruchungen verursachen. So kann man in einem Mannschaftssportszenario niemals davon ausgehen, dass z. B. eine Athletikeinheit einen kollektiven Trainingsreiz setzt. Die individuell erfahrene Beanspruchung und einhergehende Ermüdung ist somit für die nachfolgende Adaptation und Regeneration verantwortlich. Die Schwierigkeit, vor allem in Mannschaftssportarten, ist die Gestaltung eines Trainings, das möglichst allen Spielern einen optimalen Trainingsreiz bietet. Um dem Dilemma bezüglich der optimalen Trainingsdosierung entgegenzuwirken (zu hoher oder zu niedriger Trainingsreiz), ist eine Quantifizierung der Belastung (aber viel wichtiger noch der individuellen Beanspruchung) notwendig (Gröger et al. 2019; Rohmert, 1984). Sowohl objektive, als auch subjektive Verfahren sind denkbar, um Belastung und Beanspruchung zu quantifizieren. Zu den objektiven Messmethoden zählen neuromuskuläre Tests vor dem (Kraft)training, wie beispielsweise vertikale Sprünge oder submaximale Kniebeugen im Belastungsbereich der Schnellkraft, um einen Ausgangswert bezüglich der Leistungsfähigkeit des Sportlers zu ermitteln und aus eventuellen Abweichungen davon Rückschlüsse für das bevorstehende Training zu ziehen. Aus organisatorischen Gründen wurde im Zusammenhang der vorliegenden Untersuchung auf diese Methodik verzichtet. Jedoch dokumentierten die Probanden ihren Herzrhythmus am Morgen nach dem Aufwachen und vor dem Aufstehen in Rückenlage für drei Minuten mit einem Beurer PO 40 Pulsoximeter als Parameter des Regenerationszustands im Studienverlauf. Der Regenerationsfaktor wurde sowohl quantitativ (in Stunden Schlafzeit) als auch qualitativ als subjektiv empfundene Schlafqualität auf einer Skala von 1-10 abgefragt. Des Weiteren wurde jeden Morgen während der Intervention das subjektive Empfinden auf einer Skala von 1-10 abgefragt. Zusätzlich wurden die Probanden vor jeder Trainingseinheit nach ihrer Trainingsmotivation auf einer Skala von 1-10 gefragt. Das subjektive Belastungsempfinden gemäß der RPE-Methode auf einer Skala von 1-10 (Borg, 1998; Marschall et al., 2014) wurde jeweils unmittelbar nach dem Krafttraining abgefragt. Tabelle 24 veranschaulicht die erhobenen Belastungs- bzw. Regenerationsparameter im Untersuchungsverlauf.

Tabelle 24: Übersicht über erhobene Belastungs- bzw. Regenerationsparameter inkl. Trainingsmotivation

Belastungs-/Regenerationsparameter	Bewertung	Skalierung/Einheit
Morgendlicher Ruhepuls	Objektiv	Schläge/Minute (Beurer PO 40)
Schlafquantität	Objektiv	Stunden Schlaf/Nacht
Schlafqualität	Subjektiv	Empfinden auf einer Skala 1-10
Belastungsempfinden nach Krafttraining (Session RPE)	Subjektiv	Empfinden auf einer Skala 1-10
Morgendliche allgemeine Befindlichkeit	Subjektiv	Empfinden auf einer Skala 1-10
Motivation vor Krafttraining	Subjektiv	Empfinden auf einer Skala 1-10

### 4.3 Trainingsübungen

Nachfolgend werden die in der Studie verwendeten Haupttrainingsübungen und Assistenzübungen vorgestellt und deren technische Ausführung beschrieben. Zunächst sollte hierzu angemerkt werden, dass ausschließlich mehrgelenkige Grundübungen trainiert wurden und somit auf den Einsatz jeglicher eingelenkiger Isolationsübungen bewusst verzichtet wurde. Grundsätzlich sind an allen kraftvollen Bewegungen im Handball mehrere Gelenke beteiligt. Die unteren Extremitäten vollführen beim Laufen, Sprinten, Springen etc. stets eine Kombinationsbewegung aus mehr oder weniger starker Extension von Knie und Hüfte, sowie einer Plantarflexion im oberen Sprunggelenk. Analog dazu ist innerhalb der oberen Extremitäten beim Wurf ebenfalls mehr als ein Gelenk beteiligt.

#### 4.3.1 Hauptübung Frontkniebeuge

Bedingung für die Teilnahme eines Probanden an der Studie war die Fähigkeit, eine Frontkniebeuge auszuführen, an deren Endposition/Umkehrpunkt die Oberschenkelrückseite horizontal bzw. parallel zum Boden positioniert ist. Die parallele Ausführung wurde gewählt, da die Literatur für diese Variante hohe Zusammenhänge mit Schnellkraftleistungen angibt (Baker & Nance, 1999; Baker & Newton, 2008; McBride et al., 2009), in Längsschnittanalysen die Überlegenheit dieser Ausführungsvariante gegenüber weniger tiefen Ausführungen ermittelt werden konnte (Hartmann et al., 2012a) und in Übersichtsarbeiten dargestellt werden konnte, dass tiefere Ausführungsweise unter Berücksichtigung der Lasthöhe auch aus präventiven Gesichtspunkten einen Vorteil versprechen (Hartmann et al., 2013). Die Frontkniebeuge trainiert die Muskelschlingen der Beinstreckerkette und des Rumpfes. Die Muskelschlingen des Schultergürtels werden ebenfalls gefordert. Sämtliche Probanden nutzten spezielle Gewichtheberschuhe mit einer festen Sohle und integriertem Fersenkeil (s. beispielhaft Abbildung 29).



Abbildung 29: Gewichtheberschuh „Powerlift 4“. (o.D.). Adidas.

Abgerufen am 20.11.2020, von <https://www.adidas.de/powerlift-gewichthebeschuh/GZ2864.html>

Den Probanden war die Nutzung eines Gewichtheber Gürtels nicht gestattet. Vor Übungsbeginn befand sich eine 20 kg LH in einem Power-Rack oder Langhantelständer etwa auf Höhe der Mitte des Brustbeins. Es wurde von vorne an die Langhantel herangetreten und der Sportler nahm eine etwa schulterbreite Standposition unterhalb der LH ein. Der Sportler platzierte die LH mit einem etwa schulterbreiten Griff, sodass die Hantel auf der Schulter und dem Schlüsselbein ruht. Hierzu ist es ganz entscheidend, die Ellenbogen so hoch wie möglich zu halten, damit die Hantel nicht auf den Händen liegt. War der Sportler aus Gründen mangelnder Mobilität des M. latissimus dorsi, Schulter, Brustwirbelsäule, Unterarme und Handgelenke nicht in der Lage, die Ellbogen horizontal zum Boden zu positionieren während er mit mindestens zwei Fingern Kontakt zur LH behielt, so wurde mittels Zughilfen die LH in die korrekte Position gebracht. Abbildung 30 veranschaulicht diese Vorrichtung. Anschließend wurde die LH aus der Ablage entnommen und jeweils ein Schritt rückwärts getätigt. Dann wurde wiederum eine Standposition eingenommen werden, bei der die Füße ca. in Schulterbreite positioniert waren. Die Füße waren dabei leicht nach außen rotiert. Eine Inhalation erfolgte vor Beginn der Abwärtsbewegung, welche durch eine gleichzeitige Flexion von Knie- und Hüftgelenk erfolgt. Der Körperschwerpunkt bzw. die Druckbelastung lagen hierbei verteilt auf dem gesamten Fuß. Sobald die zuvor definierte parallele Endposition der Abwärtsbewegung erreicht wurde, wurde die Last muskulär und ohne Abfedern abgebremst. Bei der Aufwärtsbewegung verschob sich der Körperschwerpunkt tendenziell leicht nach hinten in Richtung Fersen. Mit aufrechtem Torso und den Ellbogen/Oberarmen horizontal zum Boden positioniert richteten sich die Probanden durch Extension von Knien und Hüften bei gleichzeitig aktiven Hüftaußenrotation zur Vermeidung eines Knie Valgus auf. Eine Exhalation erfolgte erst nach Öffnung von Knie- und Hüftwinkeln, d.h. unmittelbar vor erfolgreichem Abschluss der konzentrischen Bewegung. Die

Bewegungsausführung der Frontkniebeuge endete mit dem Erreichen der aufrechten Ausgangsposition. Abbildungen 31 und 32 zeigen Ausgangsposition und Endposition der Frontkniebeuge. Hilfestellung jeweils links und rechts vom Trainierenden respektive der LH erfolgte ab Intensitäten von 85 % 1RM bzw. im dazugehörigen Geschwindigkeitsbereich von  $<0,5$  m/s. Eine entsprechende Schulung der Probanden erfolgte im Rahmen des Technikerwerbstrainings.



Abbildung 30: Studienleiter demonstriert Fronthalteposition mit Zughilfen



Abbildung 31: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Frontkniebeuge



Abbildung 32: Studienleiter demonstriert Endposition Frontkniebeuge

### 4.3.2 Hauptübung Bankdrücken

Flachbankdrücken mit der Langhantel ist eine mehrgelenkige Grundübung, die vorrangig die folgenden Muskeln trainiert: M. pectoralis major, m. pectoralis minor, m. deltoideus (vorderer Anteil) und m. m. triceps brachii. Die Probanden lagen auf einer Flachbank in supinierter Position. In dieser Position war der Kopf auf der Bank abgelegt und die Füße sind flach auf dem Boden aufgestellt mit einem vertikalen Schienbeinwinkel. Die LH befand sich in der Halterung auf Augenhöhe, wobei die Höhe der Halterung so zu wählen war, dass die Hantel mit fast gestreckten Armen problemlos aus der Halterung genommen werden konnte. Hierbei war darauf zu achten, die Halterung nicht zu tief einzustellen, um nicht beim Herausheben der LH unverhältnismäßig viel Kraft aufbringen zu müssen. Die Hantel war im Obergriff zu fassen, wobei der Daumen die LH umschloss. Die Griffbreite war so zu wählen, dass sich die Unterarme senkrecht zur Hantelstange befinden. Dies entsprach einem Ellbogenwinkel von etwa  $90^\circ$ , wenn der Oberarm parallel zum Boden ausgerichtet war. Während der gesamten Übungsausführung verblieben das Gesäß und die Schultern auf der Bank. Besonderes Augenmerk war in diesem Zusammenhang auf eine durchgängige Scapularetraktion der Probanden zu legen, um zu verhindern, dass der Kopf des Humerus` nach vorne gegen die Gelenkkapsel und den Bandapparat drückt. Das kontrollierte exzentrische Absenken der LH erfolgte langsam bis zügig zur Mitte des Brustbeins bis ein Kontakt zwischen LH und Oberkörper stattfand. Das anschließende konzentrische Herausdrücken der Langhantel erfolgte schnell und explosiv mit maximalem Kraftausstoß. Vor jeder Wiederholung wird neu eingeatmet, während der Bewegung wird die Luft angehalten. Abbildungen 33 und 34 zeigen Ausgangsposition und Endposition des Bankdrückens. Hilfestellung jeweils links und rechts vom Trainierenden respektive der LH erfolgte ab Intensitäten von 85 % 1RM bzw. im dazugehörigen Geschwindigkeitsbereich von  $<0,4$  m/s. Eine entsprechende Schulung der Probanden erfolgte im Rahmen des Technikerwerbstrainings.



Abbildung 33: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Bankdrücken



Abbildung 34: Studienleiter demonstriert Endposition Bankdrücken

### 4.3.3 Ergänzungsübungen

Versuchsgruppenübergreifend wurden jeweils eine Übung, welche dem Bewegungsmuster des horizontalen Oberkörperzuges entspricht, und eine Übung zur Kräftigung der ischiocruralen Muskulatur durchgeführt. Wie bereits beschrieben waren die Beweggründe für genau diese Übungsauswahl in einer Stabilisierung der Antagonisten der für die Wurfbewegung verantwortlichen Muskulatur sowie der Korrelation zwischen kräftiger ischiocruraler Muskulatur und Sprung- und Sprintbewegungen zu finden (Augustsson, 2013; Möck et al., 2018). Nachfolgend soll die Ausführung der Ergänzungsübungen beschrieben werden.

#### 4.3.3.1 Langhantel Rumänisches Kreuzheben

Das rumänische Kreuzheben ist eine mehrgelenkige Grundübung des Krafttrainings, welche vorrangig die ischiocrurale Muskulatur sowie der m. erector spinae beansprucht. Im Gegensatz zum klassischen Kreuzheben (engl. Deadlift = eine ruhende Last vom Boden heben) beginnt das rumänische Kreuzheben in aufrechter Position. Die Probanden wählten einen hüftbreiten Stand und fassten die LH mit proniertem Griff schulterbreit. Der beim Kreuzheben oftmals verwendete Wechselgriff, bei dem eine Hand proniert positioniert ist und die andere supiniert, wurde im Kontext der vorliegenden Untersuchung nicht verwendet. In Fällen, bei denen die Griffkraft des Spielers der limitierende Faktor dafür war, wieviel Gewicht verwendet werden konnte, wurden Zughilfen zur Griffunterstützung benutzt. In der beschriebenen Ausgangsposition (Abbildung 35) wurde eine ventrale Rumpfspannung erzeugt und eine leichte natürliche Lordosierung eingehalten, sowie eine Inhalation durchgeführt. Das exzentrische Ablassen der LH wurde durch ein Rückwärtsschieben der Hüfte initiiert während der Oberkörper in Vorlage bis zu einer waagerechten Position über dem Boden abgelassen wird (Abbildung 36). Die an den durchgestreckten Armen hängende LH wurde dabei möglichst dicht an den Oberschenkeln nach unten geführt. Anschließend richtete sich der Oberkörper über das Hüftgelenk wieder auf, indem die LH wieder an den Oberschenkeln entlang nach oben geführt wurde.



Abbildung 35: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Rumänisches Kreuzheben



Abbildung 36: Studienleiter demonstriert Endposition Rumänisches Kreuzheben

#### 4.3.3.2 Langhantelrudern vorgebeugt

Das LH Rudern ist eine mehrgelenkige Krafttrainingsübung. Sie stärkt die gesamte obere Rückenmuskulatur, vor allem aber den m. latissimus dorsi, m. trapezius, m. teres major, m. rhomboideus minor et major, m. infraspinatus, m. erector spinae, m. biceps brachii und den m. deltoideus pars clavicularis. Auch sind stabilisierend respektive isometrisch folgende Muskeln bei der Übung involviert: M. rectus abdominis, m. biceps femoris, m. semitendinosus und m. semimembranosus. Die Sportler positionierten sich in einem ca. hüftbreiten Stand während die LH mit supiniertem Griff ca. schulterbreit gegriffen wurde. Die Knie der Probanden waren leicht angewinkelt und der Oberkörper wurde so weit in Vorlage gebracht bis er sich ca. im 45° Winkel zum Boden befand. Durch eine aktive Bauchmuskulatur wurde die Wirbelsäule in dieser Ausgangsposition (Abbildung 37) stabilisiert. Anschließend wurde die LH nach oben in Richtung des Bauchnabels gezogen. Die Ellenbogen zeigten dabei in Zugrichtung (nach hinten-oben). Die Handgelenke blieben immer gerade und wurden auch am Ende der Zugbewegung nicht gebeugt. In der Endposition (Abbildung 38) befanden sich der Rücken und insbesondere der Bereich der Lendenwirbelsäule (LWS) in einer neutralen Position. Danach wurde die LH kontrolliert wieder in Richtung Boden abgesenkt. Sobald die Arme gestreckt waren, folgte die nächste Wiederholung.



Abbildung 37: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition LH Rudern vorgebeugt



Abbildung 38: Studienleiter demonstriert Endposition LH Rudern vorgebeugt

#### 4.3.3.3 *Nordic Hamstring Curls*

Der Nordic Hamstring Curl ist eine mehrgelenkige Übung, welche die ischiocrurale Muskulatur beansprucht. Verletzungen der ischiocruralen Muskulatur gehören zu den häufigsten nicht-kontaktbedingten Verletzungen in Sportarten wie Handball, Fußball, Rugby, American Football und Baseball (Al Attar et al., 2016). Am aktivsten arbeitet während des Nordic Hamstring Curls der m. semitendinosus (Delahunt et al., 2016; Bourne et al., 2016). Darüber hinaus wurde gezeigt, dass sich durch ein sechswöchiges Training mit dem Nordic Hamstring Curl die Kinematik und das neuromuskuläre Muster verbessern kann (Delahunt et al. 2016). Knapp ein Viertel aller Verletzungen in der 1. und 2. Handballbundesliga treten im Kniegelenk (14,1 %) oder der Schulter (9,1 %) auf und sind für fast die Hälfte der Arbeitsunfähigkeitszeit verantwortlich (Knie: 36,9 %, Schulter: 11,5 %) (Klein et al., 2019). Eine deutlich höhere isometrische Kraft der vorderen Oberschenkelmuskulatur (m. quadriceps femoris) im Vergleich zur hinteren Oberschenkelmuskulatur (Ischiocrurale Muskulatur; engl. Hamstrings) führt zu einer „Quadrizeps-Dominanz“ (Luig et al., 2016) und wird mit einem erhöhten Risiko von Knieverletzungen in Verbindung gebracht (Kim & Hong, 2011). Neben dem sogenannten H(amstring)/Q(uadriceps)-Index, der für jedes Bein berechnet wird, ist die absolute und die relative Kraft beider Beine relevant, um das Risiko einer Verletzung durch Asymmetrien zu minimieren (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016). Im Rahmen der Trainingsinterventionen wurde der Nordic Hamstring Curl wie folgt durchgeführt: Der Trainierende befand sich in kniender Position auf einer Turnmatte und fixierte seine in Dorsiflexion befindlichen Sprunggelenke mittels einer Sprossenwand (Abbildung 39). Aus dieser Ausgangsposition kontrollierte der Sportler bei aktiver ventraler Rumpfmuskulatur und glutealer Muskulatur mittels seiner ischiocruralen Muskulatur die exzentrische Abwärtsbewegung (Abbildung 40).

Bei Kontakt der Hände mit der Turnmatte beförderten sich die Probanden durch eine explosive Streckung der Arme wieder zurück in die Ausgangsposition.



Abbildung 39: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition Nordic Hamstring Curl



Abbildung 40: Studienleiter demonstriert Nordic Hamstring Curl Exzentrik

#### 4.3.3.4 Kurzhantelrudern vorgebeugt einarmig

Auch die unilaterale Variante eines horizontalen Oberkörper Zugmusters ist eine mehrgelenkige Grundübung. Beim Rudern mit Kurzhanteln (KH) sind ähnliche muskuläre Strukturen beteiligt wie beim LH Rudern. Durch die einarmige Ausführung ergibt sich die Möglichkeit, eventuelle muskuläre Dysbalancen zwischen den oberen Extremitäten anzugleichen. Die Übung wurde in einer Ausfallschritt-Position durchgeführt, aus welcher zunächst die WDH mit einem Arm durchgeführt wurden, bevor ein Wechsel des Armes erfolgte. Wurde mit dem linken Arm gerudert, so war das rechte Bein im Ausfallschritt in vorderer Position und umgekehrt. Aus der Ausgangsposition (Abbildung 41) wurde die KH unter Rumpfspannung und bei geradem Rücken kontrolliert nach unten und leicht nach vorne hin abgelassen bis zur Endposition (Abbildung 42) mit gestrecktem Ellbogen. Auch in der Endposition befand sich das Schulterblatt in Retraktion. Während der Exhalation wurde die KH durch den m. latissimus dorsi wieder nach oben gezogen. Der Ellbogen sollte dabei möglichst eng am Torso nach oben geführt werden.



Abbildung 41: Studienleiter demonstriert Ausgangsposition KH Rudern vorgebeugt einarmig



Abbildung 42: Studienleiter demonstriert Endposition KH Rudern vorgebeugt einarmig

#### 4.4 Messmethodik

Bewegungen werden in der Physik als Ortsveränderungen von Körpern in Raum und Zeit verstanden. Laut Schwameder (2009) beschäftigt sich die Kinematik mit der Erfassung, Analyse und Darstellung kinematischer Merkmale bei Haltungen und Bewegungen. Bei der Erfassung kinematischer Merkmale ist zwischen direkter und indirekter Methode zu unterscheiden. Eine Beschleunigungsmessung per Akzelerometer zählt genauso zu den direkten Methoden wie auch eine Zeitmessung per Lichtschranke oder Stoppuhr. Im Zuge der indirekten Messmethodik werden Bewegungen zunächst aufgezeichnet, um zu einem späteren Zeitpunkt eine Bewegungsanalyse durchzuführen. Im Kontext der vorliegenden Studie wurde eine direkte Methode verwendet. Marktübliche Messsysteme, lineare Messaufnehmer oder lineare Positionsgeber, im Krafttraining dienen der Trainingssteuerung und -überwachung im Leistungssport. Hierbei ist die Genauigkeit der Erhebung und der mathematischen Ableitungen für eine wahrheitsgetreue Wiedergabe der Realität das entscheidende Qualitätskriterium. Unter einer Vielzahl gängiger Messsysteme wurde Vmaxpro vom Studienleiter zur Messung der konzentrischen durchschnittlichen Ausführungsgeschwindigkeiten der VBT-Gruppe verwendet. Nachfolgend sollen das verwendete Messsystem sowie die relevanten Parameter im Kontext der angewandten Messmethodik näher erläutert werden.

#### 4.4.1 Messsystem

Voraussetzungen für ein effektives VBT sind eine korrekte Technikausführung, sowie die Intention, mit der maximal möglichen konzentrischen Geschwindigkeit zu trainieren. Die daraus resultierende Hochrechnung für ein tagesaktuelles 1RM ist nur „gültig“ bei einer polynomen Regression 2. Grades ( $R^2$  0,993-0,999) (Gonzales-Badillo & Sanchez-Medina, 2010) oder linearer Regression ( $R^2 > 0,95$ ) (Flanagan et al., 2014). Bei der Verwendung eines Systems zur Messung der Geschwindigkeit der LH ist die Messgenauigkeit das entscheidende Qualitätsmerkmal bei der Auswahl dieses linearen Positionsaufnehmers. Inertialsensoren, wie der Vmaxpro (Blaumann & Meyer - Sports Technology UG), arbeiten mit Beschleunigungsaufnehmern und Gyroskopen. Sie nehmen dreidimensionale Beschleunigungsdaten auf. Geschwindigkeits- und Streckendaten können über die Integration der Beschleunigungsdaten berechnet werden. In einer unabhängigen Validitätsstudie mit einer heterogenen, krafttrainingserfahrenen Probandengruppe (Menrad & Edelmann-Nusser, 2021) wurde die Messgenauigkeit des Vmaxpro im Vergleich zu zwei anderen Messsystemen (GymAware und PUSH Band) evaluiert und bewiesen. Eine lineare Regressionsanalyse, durchgeführt aufgrund des quasi linearen Zusammenhangs von Last und Bewegungsgeschwindigkeit, ergab beim Vmaxpro und Gymaware übungsübergreifend gemeinsam die geringsten Grenzen der Vereinbarung hinsichtlich der Messung der durchschnittlichen konzentrischen Bewegungsgeschwindigkeiten. Da in der vorliegenden Studie einzig Durchschnittsgeschwindigkeiten erfasst und hieraus Ableitungen für die jeweilige Trainingsintervention getätigt wurden, kann Vmaxpro als valides Messinstrument im gegebenen Kontext angesehen werden. Der Vmaxpro wird mittels eines Magneten in möglichst zentraler Position auf der LH platziert während der Geschwindigkeitsmessung (Abbildung 43).



Abbildung 43: Vmaxpro Sensor zentral platziert auf einer Langhantel

Im Laufe der Trainingsinterventionen wurden mittels der dazugehörigen Software die gemessenen Ausführungsgeschwindigkeiten sowie die erbrachte Kraft ( $F = m \cdot a$ ) bei der Durchführung von Frontkniebeuge und Bankdrücken an das Endgerät übermittelt. Auf Basis der Geschwindigkeitsdaten wurde außerdem das 1RM der Übungen prognostiziert, welches als Größe für Trainingssteuerung genutzt werden kann. Alle Daten wurden dabei vollautomatisch ausgewertet und ausgegeben, ein Zugriff auf die Rohdaten war hierbei nicht möglich. Neben der nachgewiesenen Validität des Vmaxpro-Sensors war vor allem die Praktikabilität im Aufbau, sowie die vergleichsweise simple Datenübermittlung entscheidende Kriterien für seine Nutzung im Zusammenhang dieser Untersuchung. Anders als beispielsweise beim Gymaware System (Kinetic Performance Technology Pty Ltd.) oder dem Tendo System (TENDO SPORTS MACHINES UK LTD) wird kein Seilzugsystem zur Bestimmung der Handtelgeschwindigkeiten verwendet, welches vom Trainierenden leicht als ablenkend empfunden wird. Neben der Kraft und der Geschwindigkeit über den Zeitverlauf misst der Vmaxpro Sensor auch die Trajektorie der Langhantel.

#### *4.4.2 Geschwindigkeitszonen*

Wie in Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 beschrieben, wurden für die VBT Gruppe übungsspezifische Geschwindigkeitskorridore vorgegeben, welche der zu trainierenden Kraftqualität zugeordnet waren. Als Last für den 1. Arbeitssatz nach der Erwärmung wurde die jeweilige prozentbasierte Belastung analog zur PBT Gruppe ausgewählt. Eine Steigerung oder Reduktion des Trainingsgewichts erfolgte für die weiteren Arbeitssätze nur basierend auf dem Durchschnitt der durchschnittlichen konzentrischen Ausführungsgeschwindigkeiten des Satzes. Der entscheidende Messwert für die Aussage über das Erreichen bzw. Nichterreichen einer Geschwindigkeitszone war hierbei der Mittelwert der mittleren Geschwindigkeit aller Wiederholungen innerhalb eines Satzes im Durchschnitt.

#### *4.4.3 Geschwindigkeitsveränderungen durch Autoregulation*

Um eine möglichst hohe Motivation unter den Probanden zu erzielen, wurde die Ausführungsgeschwindigkeit im Durchschnitt des Trainingssatzes zur Ermittlung des Trainingsgewichts für den folgenden Satz herangezogen. Zwar wurde bereits in Applikationen des VBT (Jovanovic, 2012) die Bewegungsgeschwindigkeit der schnellsten WDH eines Satzes als Grundlage für Gewichtsadjustierungen verwendet, jedoch erschien dem Autor die Zielstellung einer maximal möglichen Ausführungsgeschwindigkeit bei jeder einzelnen Wiederholung im gegebenen Kontext durchaus eher erreichbar durch die Einbeziehung jeder einzelnen Wiederholung. Der beschriebene Aufbau sollte ein Sinken der Intention verhindern, sollte die Durchschnittsgeschwindigkeit bereits in der ersten oder zweiten Wiederholung erzielt worden sein bzw. eine Einzelwiederholung so langsam ausgeführt worden sein, dass der entsprechende Geschwindigkeitsabfall definitiv und unabhängig von den restlichen Wiederholungen des Satzes in einer Lastreduktion resultiert. Die Tabellen 25 bis 28 veranschaulichen die Lastenadjustierungen ab dem zweiten Arbeitssatz basierend auf dem aktuellsten

1RM aus der Leistungsdiagnostik. So wurde bei Unter- bzw. Überschreiten der Geschwindigkeitsvorgabe prozentual vom 1RM eine Steigerung oder Reduktion des Trainingsgewichts für den jeweils nächsten Satz vorgenommen. Eine Anpassung des Trainingsgewichts ohne Berücksichtigung der Absolutkraftfähigkeiten der Probanden würde eine zu große Beanspruchung bzw. Erleichterung für eher „schwache“ Sportler nach sich ziehen, und eine reine Anpassung in Form von festgelegten Gewichten würde eine Unterforderung von eher „starken“ Sportlern bedeuten. Die geplanten Lastanpassungen sollten der auto-regulatorischen Natur der Bewegungsgeschwindigkeit gerecht werden und damit der Tagesform der Probanden aus der VBT Gruppe bzw. ihrem tagesaktuellen 1RM entsprechen. Um die Einhaltung der Pausenzeiten gewährleisten zu können, trainierten maximal zwei Sportler mit vergleichbarem 1RM an einem Kniebeugenständer bzw. einer Bankdruckanlage.

Tabelle 25: Maximalkraftintervention VBT Gruppe in der Frontkniebeuge

Bewegungsgeschwindigkeiten unterhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen					Zielvorgabe	Bewegungsgeschwindigkeiten oberhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen					
0,05-0,09m/s	0,1-0,14m/s	0,15-0,19m/s	0,2-0,24m/s	0,25-0,29m/s	0,3-0,5m/s	0,51-0,55m/s	0,56-0,6m/s	0,61-0,65m/s	0,66-0,7m/s	0,71-0,75m/s	
-25% 1RM	-20% 1RM	-15% 1RM	-10% 1RM	-5% 1RM	Last wird beibehalten	+5% 1RM	+10% 1RM	+15% 1RM	+20% 1RM	+25% 1RM	

Tabelle 26: Maximalkraftintervention VBT Gruppe im Bankdrücken

Bewegungsgeschwindigkeiten unterhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen			Zielvorgabe	Bewegungsgeschwindigkeiten oberhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen						
0,05-0,09m/s	0,1-0,14m/s	0,15-0,19m/s	0,2-0,4m/s	0,41-0,45m/s	0,46-0,5m/s	0,51-0,55m/s	0,56-0,6m/s	0,61-0,65m/s	66-0,7m/s	0,71-0,75m/s
-15% 1RM	-10% 1RM	-5% 1RM	Last wird beibehalten	+5% 1RM	+10% 1RM	+15% 1RM	+20% 1RM	+25% 1RM	+30% 1RM	+35% 1RM

Tabelle 27: Schnellkraftintervention VBT Gruppe in der Frontkniebeuge

Bewegungsgeschwindigkeiten unterhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen					Zielvorgabe	Bewegungsgeschwindigkeiten oberhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen				
0,55-0,59m/s	0,6-0,64m/s	0,65-0,69m/s	0,7-0,74m/s	0,75-0,79m/s	0,8-1,0m/s	1,01-1,05m/s	1,06-1,1m/s	1,11-1,15m/s	1,16-1,2m/s	1,21-1,25m/s
-25% 1RM	-20% 1RM	-15% 1RM	-10% 1RM	-5% 1RM	Last wird beibehalten	+5% 1RM	+10% 1RM	+15% 1RM	+20% 1RM	+25% 1RM

Tabelle 28: Schnellkraftintervention VBT Gruppe im Bankdrücken

Bewegungsgeschwindigkeiten unterhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen					Zielvorgabe	Bewegungsgeschwindigkeiten oberhalb der Zielvorgabe mit entsprechenden Lastanpassungen				
0,35-0,39m/s	0,4-0,44m/s	0,45-0,49m/s	0,5-0,54m/s	0,55-0,59m/s	0,6-0,8m/s	0,81-0,85m/s	0,86-0,9m/s	0,91-0,95m/s	0,96-1,0m/s	1,01-1,05m/s
-25% 1RM	-20% 1RM	-15% 1RM	-10% 1RM	-5% 1RM	Last wird beibehalten	+5% 1RM	+10% 1RM	+15% 1RM	+20% 1RM	+25% 1RM

#### 4.4.4 Gewichts Anpassung

Erinnert werden soll hier bezüglich der Belastungsgestaltung der VBT Gruppe noch einmal an die Tatsache, dass die Intensität des jeweils ersten Arbeitssatzes der beiden Trainingsübungen Frontkniebeuge und Bankdrücken rein prozentual basierend auf dem aktuellen 1RM (T1-1 – T2-2) wie auch innerhalb der PBT Gruppe bestimmt wird. Aus T1-3 und T2-3 wurden keine Prozentwerte für den ersten Arbeitssatz bestimmt, da anschließend entweder ein Detraining (T1-3) oder pandemiebedingt das Ende der Studie erfolgen musste (T2-3). Die Möglichkeit einer Anpassung der Last des ersten Arbeitssatzes über die Geschwindigkeiten der Erwärmungssätze wurde nicht angewendet. Die durch die erzielten Ausführungsgeschwindigkeiten bedingten Gewichts Anpassungen erfolgten demnach erst mit dem zweiten Arbeitssatz und für jeden weiteren Arbeitssatz stets einzig orientiert an der gemessenen durchschnittlichen konzentrischen Bewegungsgeschwindigkeit. Die Regulation der individuellen Belastung des Trainings geschah demnach während der interseriellen Pausen.

#### 4.4.5 Externe Rückkopplung

Die Probanden erhielten nach jeder erfolgten WDH eine akustische Rückmeldung über die soeben erreichte Bewegungsgeschwindigkeit. Ein Bewusstsein über die eigene Leistung hinsichtlich der zu erbringenden Geschwindigkeiten, um den Zielkorridor zu erreichen oder gar zu überbieten, war demnach zu jedem Zeitpunkt gegeben.

### 4.5 Leistungsdiagnostik: Erwärmung und Protokoll

Die Abläufe der sechs Leistungsdiagnostiken (T1-1 – T2-3) innerhalb der Untersuchung waren standardisiert. So erfolgten die Inhalte der Erwärmung mit den Schwerpunkten Mobilisierung, Aktivierung und Potenzierung analog zu der Erwärmung, welche die Probanden im Rahmen der einzelnen Trainingsinterventionen durchführten. Der Erwärmungsbaustein der Spezifizierung war auf den Inhalt des einzelnen Tests abgestimmt bzw. orientiert an der motorischen Zielbewegung und soll nachfolgend im jeweiligen Zusammenhang der einzelnen Überprüfung beschrieben werden. Innerhalb der Testwoche wurden am ersten Testtag neben den anthropometrischen Messungen noch Drop Jump, Counter Movement Jump und Frontkniebeuge überprüft. Am zweiten Testtag wurden 20 m Sprint, Standweitsprung, Schlagwurf und Bankdrücken durchgeführt. Bei einem Ligaspiel am Freitag oder Samstag in der Woche vor der Testwoche wurden die Tests am Montag und am Mittwoch durchgeführt. Bei einem Ligaspiel am Sonntag fanden die Tests in der darauffolgenden Woche am Dienstag und am Donnerstag statt. Tabelle 29 veranschaulicht den zeitlichen Ablauf der beiden Testtage im standardisierten Testprotokoll für die sechs Messungen.

Tabelle 29: Standardisierte Testabfolge

Testtag 1	Testtag 2
Messung anthropometrischer Daten	Allgemeine Erwärmung nach M.A.P.S.
Allgemeine Erwärmung nach M.A.P.S.	20 m Sprint
Drop Jump	Standweitsprung
Counter Movement Jump	Schlagwurf aus dem Stand
Squat Jump	1RM Bankdrücken
1RM Frontkniebeuge	

Die allgemeine Erwärmung nach M.A.P.S. war im Kontext ihrer Elemente Mobilisierung, Aktivierung und Potenzierung identisch mit der Erwärmung vor den Trainingseinheiten. Diese systematische Erwärmung wurde durchgeführt, um die Leistungsbereitschaft zu erhöhen. Hier sind insbesondere das neuromuskuläre System und das kardiovaskuläre System zu erwähnen. Stoffwechselprozesse sollten angeregt und das Verletzungsrisiko minimiert (Schlumberger & Schmidtbleicher, 1999; Schmidt-Wiethoff et al., 2000) werden.

#### 4.5.1 Messung Anthropometrie

Zur Bestimmung des Körpergewichts wurde eine geeichte Digital-Waage der Firma Kern benutzt. Diese war zugelassen bis 200 Kilogramm und zeigte Werte mit einer Genauigkeit von 0,1 Kilogramm. Der Fehler bei einer Messung wird bei 0,1 Prozent angegeben. Die Probanden stellten sich bei der Messung auf die Waage und warteten so lange, bis die Waage das Ergebnis anzeigte. Es wurde bei jeder Leistungsdiagnostik nur einmal gemessen. Die Körpergröße wurde mit einem Teleskop-Messstab erfasst (Abbildung 44). Mit diesem konnten Größen von 60 bis 210 Zentimeter ermittelt werden. Gemessen wurde auf einen Zentimeter genau. Mithilfe eines Messschenkels konnten die Ergebnisse erfasst werden. Die Probanden sollten sich während der Messung mit dem Rücken und den Fersen an die Wand stellen. Die Fersen mussten den Boden berühren und der Kopf sollte gerade mit Blick nach vorne parallel zum Untergrund ausgerichtet sein. War die Position des Probanden den Anforderungen entsprechend korrekt, wurde der Messschenkel so weit heruntergezogen, bis dieser den Kopf des Probanden berührte. Die Messungen der Körpergröße wurden einmal pro Messzeitpunkt durchgeführt.



Abbildung 44: Endposition zur Messung der Körperhöhe stehend in aufrechter, gestreckter Körperhaltung (aus Pabst et al., 2011)

#### 4.5.2 Testprotokoll 1RM Frontkniebeuge

Sämtliche Hinweise zur technischen Ausführung der Frontkniebeuge als Trainingsübung galten ebenso für die 1RM Testung der selbigen. In Ermangelung konkreter Vorgabewerte bezüglich des 1RM in der Frontkniebeuge während der ersten Leistungsdiagnostik wurde durch den Studienleiter in Rücksprache mit den Sportlern ein Schätzwert für das 3 Repetition Maximum (3RM) erhoben und das in Tabelle 30 skizzierte Testprotokoll mit den entsprechenden Erwärmungssätzen nach der Epley-Formel  $[1\text{-RM} = \text{Last} * (1 + (\text{WDH}/30))]$  [Epley, 1985] erstellt.

Tabelle 30: Testprotokoll T1-1 1RM Fronkniebeuge nach Epley, 1985

Erwärmungssatz #	Wiederholungen	Belastung	Pause
1	5	50 % des geschätzten 3RM	1 Minute
2	3	80 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
3	3	85 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
4	3	90 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
5	3	95 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
6	3	100 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
7	1	Steigerung um 2,5 % zum geschätzten 3RM; Fortführung bis zum technischen Versagen	3-5 Minuten

Da für T1-2 Maximalkraftwerte für die Frontkniebeuge (aus T1-1) vorhanden waren, griff für die restlichen Maximalkrafttests in der Frontkniebeuge ein leicht abgewandeltes Testprotokoll (Tabelle 31).

Tabelle 31: Testprotokoll T1-2 – T2-3 1RM Fronkniebeuge

Erwärmungssatz #	Wiederholungen	Belastung	Pause
1	5	50 % des aktuellen 1RM	1 Minute
2	3	70 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
3	2	85 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
4	1	90 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
5	1	95 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
6	1	100 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
7	1	Steigerung um 2,5 % zum aktuellen 1RM; Fortführung bis zum technischen Versagen	3-5 Minuten

#### 4.5.3 Testprotokoll 1RM Bankdrücken

Sämtliche Hinweise zur technischen Ausführung des Bankdrückens als Trainingsübung galten ebenso für die 1RM Testung der selbigen. In Ermangelung konkreter Vorgabewerte bezüglich des 1RM in der Frontkniebeuge während der ersten Leistungsdiagnostik wurde durch den Studienleiter ein Schätzwert für das 3 Repetition Maximum (3RM) erhoben und das in Tabelle 32 skizzierte Testprotokoll mit den entsprechenden Erwärmungssätzen nach der Epley-Formel  $[1\text{-RM} = \text{Last} * (1 + (\text{WDH}/30))]$  (Epley, 1985) erstellt. Da für T1-2 Maximalkraftwerte für das Bankdrücken (aus T1-1) vorhanden waren, griff für die restlichen Maximalkrafttests im Bankdrücken ein leicht abgewandeltes Testprotokoll (Tabelle 33).

Tabelle 32: Testprotokoll T1-1 1RM Bankdrücken nach Epley, 1985

Tabelle 32: Testprotokoll T1-1 1RM Bankdrücken nach Epley, 1985

Erwärmungssatz #	Wiederholungen	Belastung	Pause
1	5	50 % des geschätzten 3RM	1 Minute
2	3	80 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
3	3	85 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
4	3	90 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
5	3	95 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
6	3	100 % des geschätzten 3RM	3-5 Minuten
7	1	Steigerung um 2,5 % zum geschätzten 3RM; Fortführung bis zum technischen Versagen	3-5 Minuten

Tabelle 33: Testprotokoll T1-2 – T2-3 1RM Bankdrücken

Erwärmungssatz #	Wiederholungen	Belastung	Pause
1	5	50 % des aktuellen 1RM	1 Minute
2	3	70 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
3	2	85 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
4	1	90 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
5	1	95 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
6	1	100 % des aktuellen 1RM	3-5 Minuten
7	1	Steigerung um 2,5 % zum aktuellen 1RM; Fortführung bis zum technischen Versagen	3-5 Minuten

#### 4.5.4 Testprotokoll Standweitsprung

Der Standweitsprung sollte die horizontale Sprungleistung im langen DVZ messen. Beim Standweitsprung wurden drei Testversuche gewährt. Danach wurden bei jedem Testkriterium fünf Wertungssprünge durchgeführt. Die Pausenzeit zwischen den Wertungssprüngen betrug 3-5 Minuten. Für die Ermittlung der Sprungweite wurde ein Maßband verwendet. Die Horizontalsprünge wurden auf Hallenboden und in Handballschuhe ausgeführt. Die Probanden sprangen aus einem parallelen, schulterbreiten Stand beidbeinig nach vorne ab. Mit einer einmaligen Ausholbewegung von einer markierten Absprungrinie, mit den Fußspitzen unmittelbar vor der Absprungrinie, sollte möglichst weit nach vorne abgesprungen werden. Die Landung erfolgte im stabilen beidbeinigen Stand ohne Ausfallschritt. Die Probanden erhielten kein Startsignal und entschieden daher selbst über den Absprungzeitpunkt. Beim Sprung war es gestattet, durch Arm- bzw. Beineinsatz (Beugen der Knie) Schwung zu holen (Abbildung 45). Gemessen wurde der Abstand zwischen der Absprungrinie (Hinterkante der Absprungrinie) und der ihr nächstliegenden Landeposition (hintere Ferse) in cm [Deutscher Handballbund (2019). Testmanual zur Leistungssportsichtung des DHB 2020. Dortmund/Leipzig: DHB/IAT]. Der weiteste der fünf Wertungssprünge wurde dokumentiert. Die Reliabilität kann aufgrund der letzten DHB-

Sichtungen mit dem Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) = 0,90 [großer Effekt nach Cohen (1992)] angegeben werden (Testwiederholungsmethode) [Deutscher Handballbund (2019). Testmanual zur Leistungssportsichtung des DHB 2020. Dortmund/Leipzig: DHB/IAT].

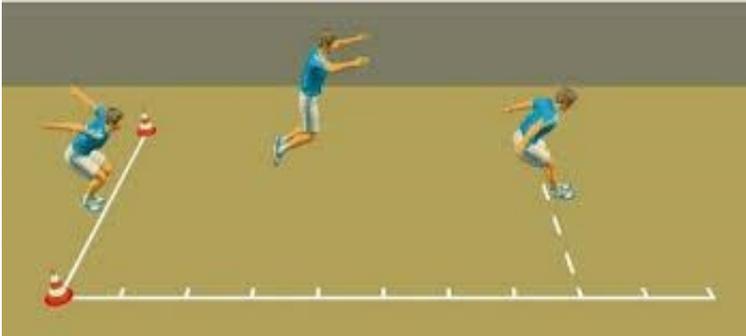


Abbildung 45: Standweitsprung aus Pabst et al., 2010.

#### 4.5.5 Testprotokoll Schlagwurf aus dem Stand

Der Schlagwurf sollte die maximale Wurfgeschwindigkeit mit dem jeweils dominanten Wurfarm messen. Es wurden drei Testwürfe gewährt, bevor die fünf Wertungsversuche durchgeführt wurden, von denen der schnellste Wurf in Kilometern pro Stunde (km/h) dokumentiert wurde. Zwischen den Wertungsversuchen betrug die Pausenzeit 3-5 Minuten. Es wurde ein Handball der Größe 3 mit 58 bis 60 cm Umfang und 425 bis 475 Gramm (g) Gewicht verwendet. Die Wurfgeschwindigkeit wurde mit einem VMAXX-Sportradar der Firma Speed Check bestimmt. Die Probanden standen in Schrittstellung an der 7-m-Linie. Die Schrittstellung war dabei jeweils kontralateral zu wählen, d.h., bei einem Rechtshänder befand sich der linke Fuß vorne und vice versa. Die Aufgabe bestand darin, den Handball mit maximaler Geschwindigkeit mittig in ein 1x1 Meter großes Zielfeld im Handballtor zu werfen. Die Geschwindigkeitsmessanlage stand auf einem Stativ zentral hinter dem Zielfeld in einem Abstand von 1,5 m hinter der Torlinie. Der Sender, welcher sich oberhalb der Anzeige befand, war in einem Meter Höhe vom Boden und in Richtung Abwurfpunkt ausgerichtet. An die 7-m-Linie wurde eine gekippte Turnbank gelegt. Die Sitzfläche zeigte dabei zum Werfer hin (Abbildung 46). Die Bank durfte mit dem Stemmfuß berührt werden, ohne allerdings übertreten zu werden. Auch ein „Hinüberfallen“ beim/nach dem Wurf war nicht gestattet. Als gültige Versuche wurden nur Würfe gewertet, die das Zielfeld trafen. Die Reliabilität kann aufgrund der letzten DHB-Sichtungen mit  $r = 0,83$  [großer Effekt nach Cohen (1992)] angegeben werden (Testwiederholungsmethode) [Deutscher Handballbund (2019). Testmanual zur Leistungssportsichtung des DHB 2020. Dortmund/Leipzig: DHB/IAT].

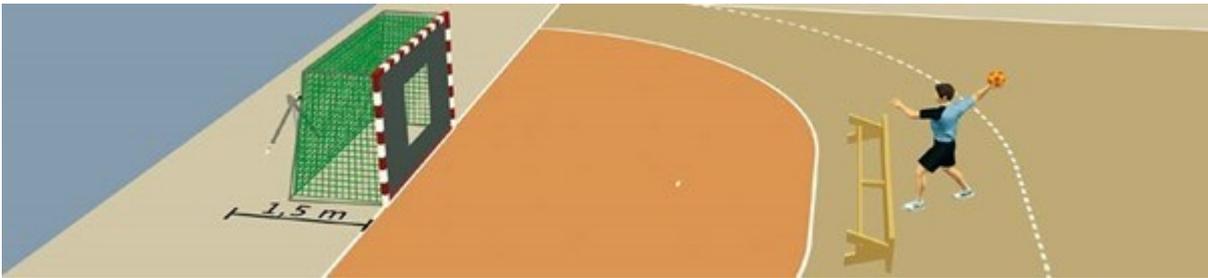


Abbildung 46: Schlagwurf aus dem Stand aus Pabst et al., 2010.

#### 4.5.6 Testprotokoll 20 m Sprint

Der 20 m Sprint inklusive 5 m und 10 m-Zwischenzeiten sollte die lineare Schnelligkeit bzw. Beschleunigung messen. Die Messung wurde auf einem Handballfeld durchgeführt und die Spieler trugen Handballschuhe. Zur Messung der linearen Geschwindigkeit wurde dabei eine Doppellichtschranke der Firma Microgate (Witty Gate) verwendet. Die obere Lichtschranke war dabei auf Höhe der Spina iliaca anterior superior und die untere Lichtschranke ca. 3-5 cm über dem Kniegelenk befestigt [Deutscher Handballbund (2020). Manual zur einheitlichen Leistungsdiagnostik des DHB im Rahmen der FSL-Kooperation an den Olympiastützpunkten (5. aktual. Aufl.). Dortmund/Leipzig: DHB/IAT]. Den Probanden war ein Testversuch gestattet bevor die drei Testversuche durchgeführt wurden. Die Pausenzeit zwischen den Testversuchen betrug 3-5 Minuten. Der schnellste Versuch inklusive dazugehöriger 5m und 10m-Zwischenzeit wurde dokumentiert. Die Probanden starteten selbstständig aus der Hochstartposition. Dabei wurde eine Schrittstellung eingenommen, in der Rechtshänder stehen mit dem linken Fuß an der Vor-Start-Linie und vice versa. Die Vor-Start-Linie war per Tape 20 cm vor der ersten Lichtschranke markiert. Anschließend durchliefen die Probanden die Start-Ziel-Strecke von 20 m so schnell wie möglich. Abbildung 47 veranschaulicht den Testaufbau. Beim Überqueren der Startlinie beginnt die elektronische Zeitnahme und sie stoppt beim Überqueren der Ziellinie. Die Reliabilität kann aufgrund der letzten DHB-Sichtungen mit  $r = 0,92$  [großer Effekt nach Cohen (1992)] angegeben werden (Testwiederholungsmethode) [Deutscher Handballbund (2019). Testmanual zur Leistungssportsichtung des DHB 2020. Dortmund/Leipzig: DHB/IAT]. Ein Startsignal erfolgte hierbei nicht. Da die Probanden selber aktiv starteten, spielte der Faktor Reaktionsfähigkeit keine Rolle bei der Testung.

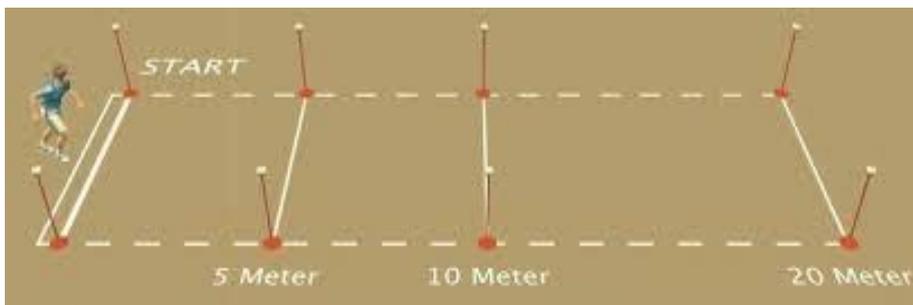


Abbildung 47: 20 m Sprint aus Pabst et al., 2010.

#### 4.5.7 Testprotokoll Drop Jump

Der Drop Jump (DJ) ist ein reaktiver Tief-Hoch-Sprung aus einer vorgegebenen Höhe. Mit dem DJ wird die Reaktivkraft der Beine bei sehr kurzer exzentrisch-konzentrischer (pliometrisch-miometrischer) Kraftentfaltung, das heißt unter Ausnutzung eines kurzen DVZ bestimmt (Klein et al., 2019). Die DJs wurden einem 40 cm hohen Kasten ausgeführt. Den Probanden wurde ein Probeversuch gestattet bevor drei Testversuche durchgeführt wurden. Die Pausenzeit zwischen den Testversuchen betrug 3-5 Minuten. Nur Versuche mit einer Stützzeit <200 ms wurden als gültige Versuche gewertet. Eine maximale Anzahl von sechs Sprüngen durfte nicht überschritten werden. Der Testversuch mit dem jeweils höchsten Reaktivkraftindex (RKI) wurde dokumentiert. Die DJs wurden auf Hallenboden und in Handballschuhen durchgeführt. Zwischen den Testversuchen wurden jeweils 3-5 Minuten Pausenzeiten eingehalten. In der Ausgangsposition standen die Probanden in hüftbreiter Position und neutraler Fußstellung auf dem Kasten. Aus der Ausgangsposition wurde ein Schritt nach vorne getätigt. Ohne von der Erhöhung abzuspringen, ließen sich die Probanden nach unten auf den Boden fallen (ohne Knieflexion im Stützbein), um sofort wieder explosiv vertikal nach oben zu springen. Die zweite Landung erfolgte weich und mit stabiler Beinachse (Abbildung 48). Die Arme waren in der Hüfte fixiert und die Sprung-, Knie- und Hüftgelenke waren beim Absprung und in der Flugphase gestreckt. Je kürzer die Bodenkontaktzeit (in Millisekunden) und je höher die gesprungene Höhe (Zentimeter), desto besser ist die Reaktivkraftfähigkeit ausgeprägt. Zur Messung von Sprunghöhe und Bodenkontaktzeit wurde das Lichtschrankensystem OptoJump Next der Firma Microgate verwendet. Die Berechnung des Reaktivkraftindex (RKI) erfolgte über die Formel:  $RKI = \text{Sprunghöhe in Millimetern} / \text{Bodenkontaktzeit in Millisekunden} * 100$  (Young et al., 1995b).

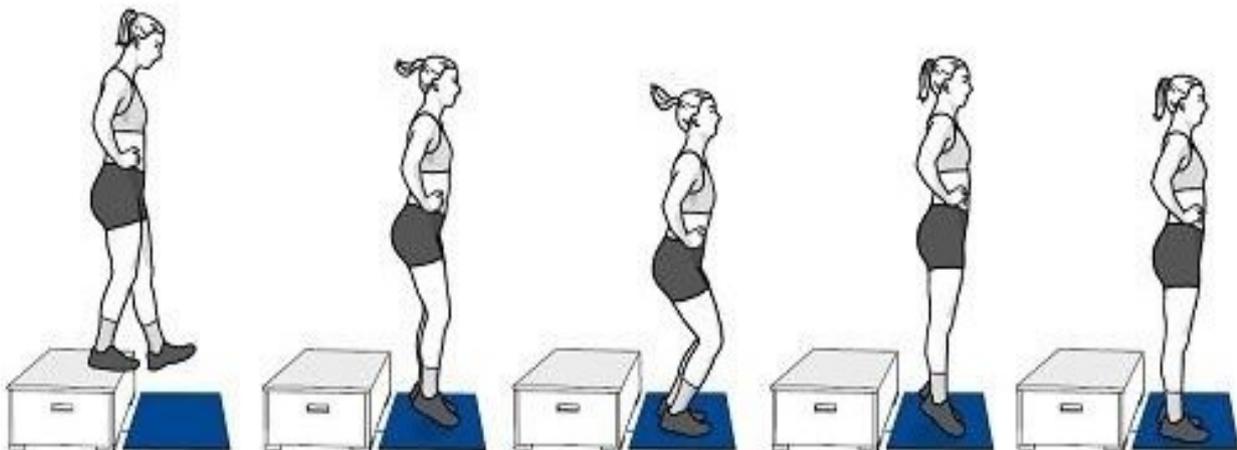


Abbildung 48: Drop Jump aus Klein et al., 2019.

#### 4.5.8 Testprotokoll Countermovement Jump

Der Countermovement-Jump (CMJ) ist ein elastodynamischer Vertikalsprung mit Ausholbewegung. Mit dem CMJ wird die vertikale Sprungkraft, genauer die Schnellkraft der Beine, bei exzentrischkonzentrischer (pliommetrisch-miommetrischer) Kraftentfaltung, das heißt unter Ausnutzung des langen DVZ bestimmt (Klein, C. et al., 2019). Er wurde auf Hallenboden und in Handballschuhen durchgeführt. Den Probanden war ein Probeversuch gestattet bevor die 3 Testversuche erfolgten von denen der höchste dokumentiert wurde. Die maximale Anzahl an Sprüngen durfte dabei sechs nicht überschreiten. Zur Messung der Sprunghöhe wurde das OptoJump Next der Firma Microgate verwendet. Die Pausenzeit zwischen den Testversuchen betrug 3-5 Minuten. Der Sprung begann in aufrechter Standposition. Es folgte ein zügiges Absenken des Körperschwerpunktes bis zu einem Kniegelenkwinkel von etwa 90 Grad, wobei der Oberkörper möglichst aufrecht gehalten werden sollte. Dem Absenken des Körperschwerpunktes folgte dann direkt eine maximale Streckung von Knie- und Hüftgelenk. Bei diesem Sprung waren die Hände während des gesamten Sprungs in der Hüfte zu fixieren, da die Ausholbewegung weder durch ein Mitschwingen der Arme noch durch eine zu starke Vorneigung des Oberkörpers unterstützt werden sollte (Abbildung 49). Sprung-, Knie- und Hüftgelenke blieben beim Absprung und in der Flugphase gestreckt

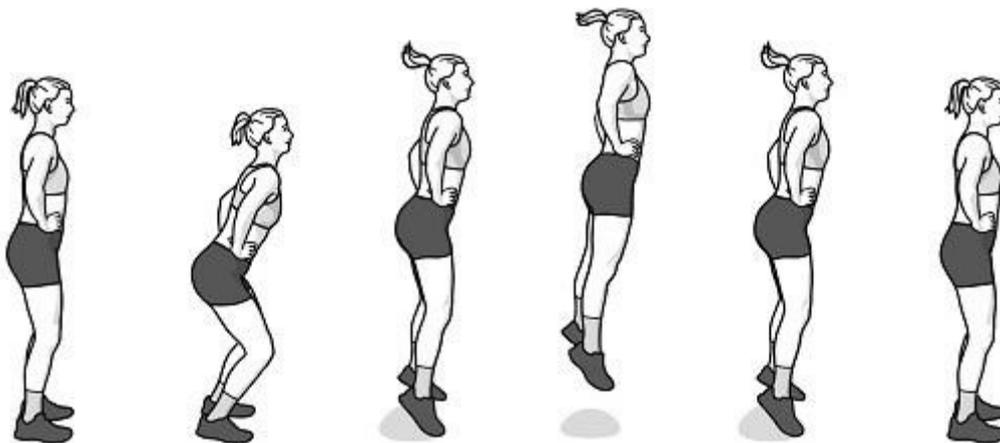


Abbildung 49: Countermovement Jump aus Klein et al., 2019.

#### 4.5.9 Testprotokoll Squat Jump

Der Squat Jump (SJ) ist ein statodynamischer Vertikalsprung ohne Ausholbewegung aus der Hocke. Mit dem SJ wird die vertikale Sprungkraft, genauer die Schnellkraft der Beine, bei ausschließlich konzentrischer (miometrischer) Kraftentfaltung bestimmt (Klein et al., 2019). Die Sprünge wurden auf Hallenboden und in Handballschuhen von den Probanden durchgeführt. Nach einem Probeversuch folgten 3

Testversuche von denen der höchste Sprung dokumentiert wurde. Die maximale Anzahl an Sprüngen durfte dabei sechs nicht überschreiten. Zur Messung der Sprunghöhe wurde das OptoJump Next der Firma Microgate verwendet. Die Pausenzeit zwischen den Testversuchen betrug 3-5 Minuten. Während der Kniegelenkwinkel bei dieser Sprungform zu Beginn der Bewegung etwa 90 Grad betragen soll, ist der Oberkörper möglichst aufrecht zu halten (Abbildung 50). Die Hände sind während des gesamten Sprunges in der Hüfte fixiert. Der Sprung soll ohne jede Ausholbewegung durchgeführt werden, um eine Vergrößerung der Sprunghöhe durch eine daraus resultierende Impulsverstärkung zu verhindern. Um dies zu gewährleisten, verharren die Probanden für 3 Sekunden in der Ausgangsposition und führten den Vertikalsprung auf ein Kommando des Testleiters hin aus. Sprung-, Knie- und Hüftgelenke blieben beim Absprung und in der Flugphase gestreckt.

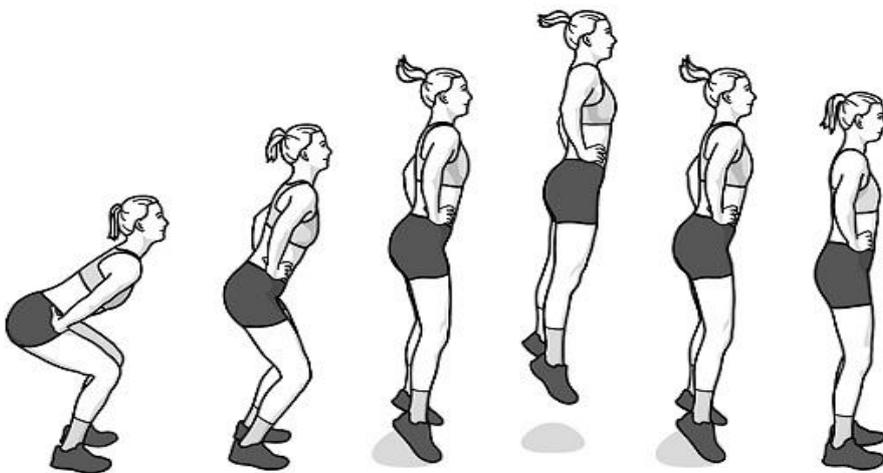


Abbildung 50: Squat Jump aus VBG, Prävention und Arbeitshilfen, 2019.

## 4.6 Datenverarbeitung

Zur Datenverarbeitung wurde das Programm JASP Team (2022), JASP (Version 0.11.1) [Computer Software] verwendet. Für die Datenauswertung wurden die jeweiligen Bestwerte in den Leistungstests herangezogen. Die 1RM-Werte der Spieler wurden zusätzlich am Körpergewicht orientiert. Die Relativkraft berechnet sich hierbei aus  $(1RM / \text{Körpergewicht in kg})$ . Dieses Verfahren wurde gewählt, da bei allen gemessenen Sprung- und Sprintleistungen das Körpergewicht beschleunigt werden muss. Zudem wurden die verwendeten subjektiven und objektiven Parameter des Monitorings grafisch dargestellt, sowie deren Merkmale auf Signifikanzunterschiede im Vergleich der Trainingsmethoden untersucht. Alle Daten wurden im Zeitraum T1-1 – T2-3 nach Versuchsgruppen bzw. nach Trainingsmethode mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung überprüft. Der Shapiro-Wilk-Test ist ein statistischer Signifikanztest, der die Hypothese überprüft, dass die zugrunde liegende Grundgesamtheit einer Stichprobe normalverteilt ist. Wird die Nullhypothese nicht abgelehnt, so wird angenommen, dass eine Normalverteilung vorliegt. Der t-Test und die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) für normalverteilte Variablen wurden eingesetzt. Das

Signifikanzniveau ( $p$ ) wurde bei  $p < 0,05$  festgelegt. Zur deskriptiven Beschreibung der Daten wurden das arithmetische Mittel (MW) und die Standardabweichung (engl. Standard Deviation, SD), d.h.  $(MW \pm SD)$  verwendet. Zudem wurden die Effektstärken der einzelnen leistungsdiagnostischen Parameter bestimmt. Die Effektstärke (auch Effektgröße) bezeichnet die Größe eines statistischen Effekts. Sie kann zur Verdeutlichung der praktischen Relevanz von statistisch signifikanten Ergebnissen herangezogen werden. Nach Cohen (1988) bedeutet  $|d| < 0,2$  einen kleinen Effekt,  $0,5 \leq |d| < 0,8$  einen mittleren Effekt und  $|d| > 0,8$  einen großen Effekt. Im Anschluss wurde Cohen's  $d$  noch in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation  $r$  umgerechnet nach McGrath und Meyer (2006).

$$r = \sqrt{\frac{d^2}{d^2 + \frac{(n_1 + n_2)^2 - 2(n_1 + n_2)}{n_1 \cdot n_2}}}$$

**Gleichung 1:** Umrechnung von Cohen's  $d$  in den Korrelationskoeffizienten  $r$  nach McGrath & Meyer (2006)

Legende:  $d$ : Maß der Effektstärke;  $n_1$ : Versuchsgruppe A;  $n_2$ : Versuchsgruppe B

Der Korrelationskoeffizient  $r$  hat den Vorteil, dass er ein standardisiertes Maß ist, daher nur Werte von  $-1$  bis  $+1$  annehmen kann, während Cohen's  $d$  für alle reelle Zahlen von  $-\infty$  bis  $+\infty$  definiert ist. Das Vorzeichen gibt zwar die Richtung des Effekts an, spielt allerdings für die Interpretation der Stärke des Effekts keine Rolle (Cohen, 1988). Eine vollständige Ablehnung der  $H_0$ -Hypothese fand nur bei gleichzeitigem Eintreten von großer Effektstärke und signifikanter  $p$ -Werte bei T1-3 und T2-3 bei den jeweiligen Mittelwertvergleichen zwischen den Gruppen VG A und VG B bezüglich der jeweiligen Untersuchungsgrößen statt (jeweils nach Beendigung der beiden 12-wöchigen Trainingsinterventionen). Die Daten aus T1-1 und T2-1 wurden als jeweilige Ausgangstests der Interventionen auf Signifikanz und Effektstärke untersucht, da sich an diese beiden Leistungsdiagnostiken jeweils die dazugehörige 12-wöchige Trainingsintervention anschloss. Wurde im Zuge einer der beiden Diagnostiken eine Signifikanz von  $p < 0,05$  oder eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  der Gruppenunterschiede zwischen VG A und VG B bei T1-1 oder T2-1 festgestellt, so wurde in diesem Zusammenhang die entsprechende Alternativhypothese nur teilweise oder gar nicht angenommen. T1-2 und T2-2 wurden hinsichtlich der Signifikanz und Effektstärke ihrer Resultate dokumentiert, jedoch hatten diese keine Auswirkung auf die Annahme oder Ablehnung einer Forschungshypothese. Für die Forschungshypothesen 3.1 bis 3.6, welche sich mit den Schwerpunkten Monitoring und Motivation beschäftigen, wurden  $p$  und  $r$  jeweils über den Längsschnitt der Untersuchung für VBT und PBT ermittelt und nach den gleichen Maßstäben wie Hypothese 1.1 bis Hypothese 2.10 bewertet.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Anthropometrische Daten

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik für beide Versuchsgruppen hinsichtlich Körpergröße und Körpergewicht berechnet und ausgewiesen (Tabellen 34 und 35). Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben. Der Body Mass Index (BMI) war im Zusammenhang der Studie nicht Teil der deskriptiven Statistik und erscheint daher auch nicht im Kontext der anthropometrischen Daten.

Tabelle 34: Entwicklung der Körpergröße im Längsschnitt: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

Gruppe	Körpergröße in cm (MW $\pm$ SD)							
	T1-1	T1-2	T1-3	$\Delta$ T1-1 $\rightarrow$ T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1	T2-2	T2-3	$\Delta$ T2-1 $\rightarrow$ T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	188,1 $\pm$ 5,4	188,3 $\pm$ 5,5	188,3 $\pm$ 5,5	0,2 cm (0,01 %) p = 0,935 r = 0,018	188,4 $\pm$ 5,5	188,6 $\pm$ 5,6	188,7 $\pm$ 5,6	0,3 cm (0,2 %) p = 0,934 r = 0,03
VG B	187,5 $\pm$ 5,4	187,7 $\pm$ 5,5	187,8 $\pm$ 5,5	0,3 cm (0,02 %) p = 0,902 r = 0,029	187,9 $\pm$ 5,6	187,9 $\pm$ 5,6	188,0 $\pm$ 5,7	0,1 cm (0,01 %) p = 0,967 r = 0,108
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,837	0,730	0,864	0,628	0,855	0,796	0,783	0,556
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,055	0,054	0,045	0,01	0,045	0,062	0,062	0,140

Tabelle 35: Entwicklung des Körpergewichts im Längsschnitt: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

Gruppe	Körpergewicht in kg (MW $\pm$ SD)							
	T1-1	T1-2	T1-3	$\Delta$ T1-1 $\rightarrow$ T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1	T2-2	T2-3	$\Delta$ T2-1 $\rightarrow$ T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	86,5 $\pm$ 10,1	87,6 $\pm$ 10,0	87,3 $\pm$ 9,8	0,8 kg (0,1 %) p = 0,851 r = 0,042	85,7 $\pm$ 9,4	88,7 $\pm$ 9,4	88,8 $\pm$ 8,7	2,9 kg (3,6 %) p = 0,449 r = 0,178
VG B	85,7 $\pm$ 10,5	87,2 $\pm$ 10,2	87,7 $\pm$ 9,9	2,0 kg (2,3 %) p = 0,670 r = 0,103	86,3 $\pm$ 9,8	89,7 $\pm$ 10,3	90,1 $\pm$ 9,9	3,8 kg (4,4 %) p = 0,402 r = 0,199
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,894	0,934	0,949	0,273	0,914	0,869	0,815	0,543
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,039	0,020	0,020	0,255	0,031	0,051	0,070	0,144

### 5.1.1 Entwicklung der Körpergröße im Längsschnitt

Bei keiner der Messungen konnte zwischen den beiden Versuchsgruppen ein signifikanter ( $p < 0,05$ ) Unterschied in Körpergröße verzeichnet werden (s. Tabelle 34).

### 5.1.2 Entwicklung des Körpergewichts im Längsschnitt

Bei keiner der Messungen konnte zwischen den beiden Versuchsgruppen ein signifikanter ( $p < 0,05$ ) Unterschied im Körpergewicht verzeichnet werden (s. Tabelle 35).

## 5.2 Leistungsentwicklung der Versuchsgruppen im Längsschnitt

Gemäß dem Studienaufbau trainierte VG A in Studienwoche 1-12 geschwindigkeitsorientiert und in Studienwoche 17-28 prozentorientiert. VG B hingegen trainierte in Woche 1 - 12 prozentorientiert und in Woche 17 - 28 geschwindigkeitsorientiert. Studienwoche 13-16 war die trainingsfreie Zeit. Dies bedeutet, dass in Studienwoche 1 - 12 VG A die VBT-Gruppe bildet und VG B die PBT-Gruppe repräsentiert. Dementsprechend bildet in Studienwoche 17 - 28 VG A die PBT-Gruppe und VG B stellt die VBT-Gruppe dar. T2-1 stellt die Leistungsdiagnostik dar, welche unmittelbar nach der vierwöchigen Detrainingsphase durchgeführt wurde. T1-1 und T2-1 repräsentieren die jeweiligen Ausgangstests (T1-1 folgt dem Technikerwerbstraining und T2-1 folgt dem Detraining). Die Ergebnisse aller Diagnostiken wurden nachfolgend immer in absoluten Zahlen im Intergruppenvergleich im Verlauf der Untersuchung dargestellt.

## 5.3 Frontkniebeuge

Nachfolgend soll die Entwicklung der Maximalkraftfähigkeiten der unteren Extremitäten im Kontext der Entwicklung der absoluten und relativen Kraftentwicklung in der Frontkniebeuge dargestellt und statistisch analysiert werden.

### 5.3.1 1RM Frontkniebeuge

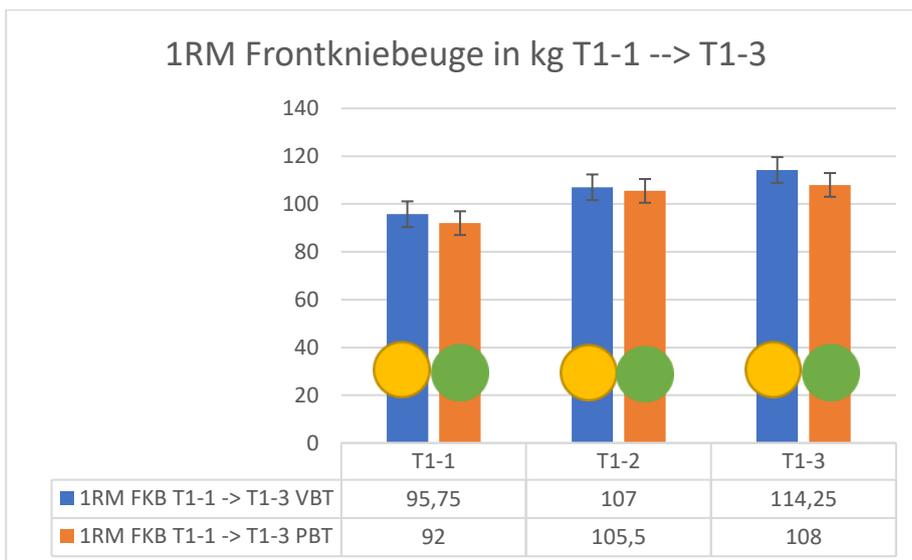
Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 36). Tabelle 36 veranschaulicht die Längsschnittentwicklung des 1RM in der Frontkniebeuge (FKB) anhand von Mittelwerten und Standardabweichungen, unterteilt nach Versuchsgruppen.

Tabelle 36: 1RM Frontkniebeuge in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$   
 $r$ : Effektstärke, Cohen's  $d$  umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation  $r$  nach McGrath und Meyer (2006).

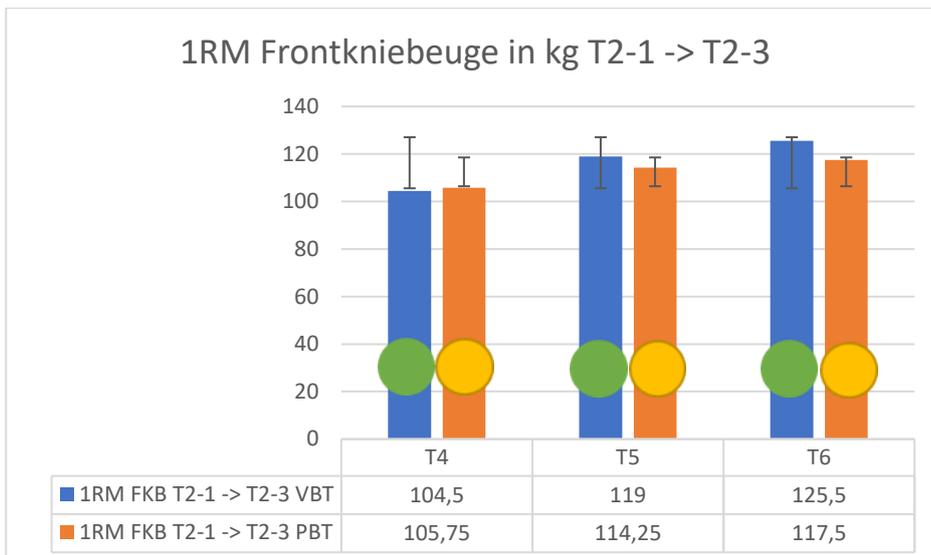
Gruppe	T1-1 (kg)	T1-2 (kg)	T1-3 (kg)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (kg)	T2-2 (kg)	T2-3 (kg)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	95,8 ± 13,9	107,0 ± 19,0	114,3 ± 17,0	18,5 kg (19,3 %) p = 0,008** r = 0,512	105,8 ± 21,8	114,3 ± 22,5	117,5 ± 22,5	11,8 kg (11,1 %) p = 0,204 r = 0,388
VG B	92,0 ± 20,0	105,5 ± 18,3	108,0 ± 18,0	15,0 kg (16,5 %) p = 0,052 r = 0,388	104,5 ± 17,9	119,0 ± 16,8	125,5 ± 17,4	21,0 kg (20,1 %) p = 0,008** r = 0,511
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,694	0,865	0,455	0,440	0,901	0,638	0,458	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,110	0,040	0,177	0,183	0,033	0,118	0,195	0,700

Abbildung 51 skizziert die Veränderung im Mittelwert des 1RM im Intergruppenvergleich bezüglich der Trainingsmethodik im Zeitraum T1-1 bis T1-3 und Abbildung 52 stellt den Zeitraum T2-1 bis T2-3 dar.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 51: 1RM Frontkniebeuge in kg im Intergruppenvergleich T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 52: 1RM Frontkniebeuge in kg im Intergruppenvergleich T2-1 bis T2-3

Da zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied der MW von VG A und VG B bestand, d.h. weder eine Signifikanz von  $p < 0,05$  noch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung von T1-1 nach T1-3 und T2-1 nach T2-3 verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass das 1RM der Frontkniebeuge durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung nicht signifikant mehr im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Während zwar sowohl VBT als auch PBT zu Leistungssteigerungen in der Maximalkraftfähigkeit der Frontkniebeuge führten (s. Tabelle 36:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ), kann Hypothese 1.1 nicht angenommen werden.

### 5.3.2 Relativkraftentwicklung Frontkniebeuge

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben. Tabelle 37 zeigt die Daten unterteilt nach Versuchsgruppen.

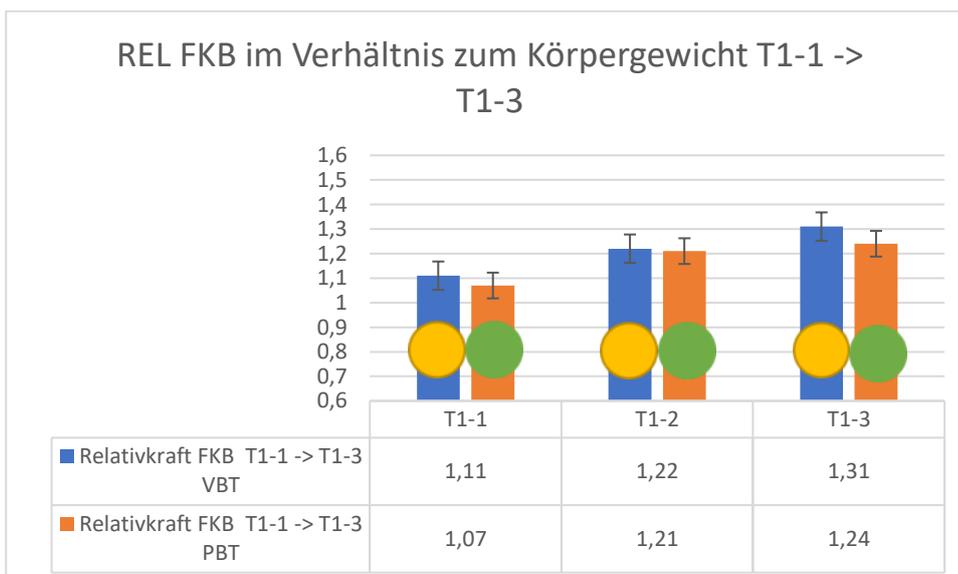
Tabelle 37: REL FKB in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

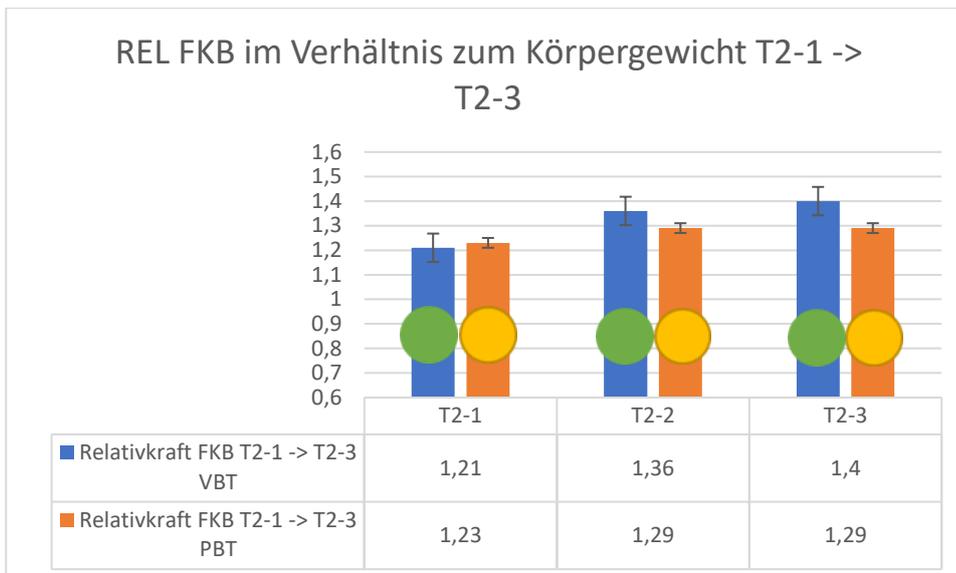
Gruppe	T1-1	T1-2	T1-3	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1	T2-2	T2-3	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	1,11 ± 0,11	1,22 ± 0,18	1,31 ± 0,17	0,21 (18,0 %) p = 0,004** r = 0,573	1,24 ± 0,21	1,29 ± 0,22	1,33 ± 0,23	0,09 (7,3 %) p = 0,350 r = 0,200
VG B	1,08 ± 0,18	1,21 ± 0,17	1,24 ± 0,18	0,17 (15,9 %) p = 0,053 r = 0,348	1,21 ± 0,17	1,34 ± 0,19	1,40 ± 0,14	0,18 (15,7 %) p = 0,0098** r = 0,521
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,532	0,852	0,131	0,560	0,787	0,570	0,386	0,002**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,100	0,029	0,196	0,315	0,052	0,121	0,181	0,632

Abbildung 53 veranschaulicht die Mittelwerte der Relativkraftentwicklung im Intergruppenvergleich bezüglich der Trainingsmethodik im Zeitraum T1-1 bis T1-3 und Abbildung 54 stellt den Zeitraum T2-1 bis T2-3 dar.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 53: Entwicklung REL FKB T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 54: Entwicklung REL FKB T2-1 bis T2-3

Da zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied der MW von VG A und VG B bestand, d.h. weder eine Signifikanz von  $p < 0,05$  noch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung von T1-1 nach T1-3 und T2-1 nach T2-3 verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Relativkraft in der Frontkniebeuge durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung nicht signifikant mehr im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Während zwar sowohl VBT als auch PBT zu Leistungssteigerungen in der Relativkraftfähigkeit der Frontkniebeuge führten (s. Tabelle 37:  $\Delta$  T1-1  $\rightarrow$  T1-3 und  $\Delta$  T2-1  $\rightarrow$  T2-3), kann Hypothese 1.2 nicht angenommen werden.

## 5.4 Bankdrücken

Nachfolgend soll die Entwicklung der Maximalkraftfähigkeiten der oberen Extremitäten im Kontext der Entwicklung der absoluten und relativen Kraft im Bankdrücken (BD) dargestellt und statistisch analysiert werden.

### 5.4.1 RM Bankdrücken

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 38). Tabelle 38 veranschaulicht die Längsschnittentwicklung des 1RM im Bankdrücken anhand von Mittelwerten und Standardabweichungen, unterteilt nach Versuchsgruppen.

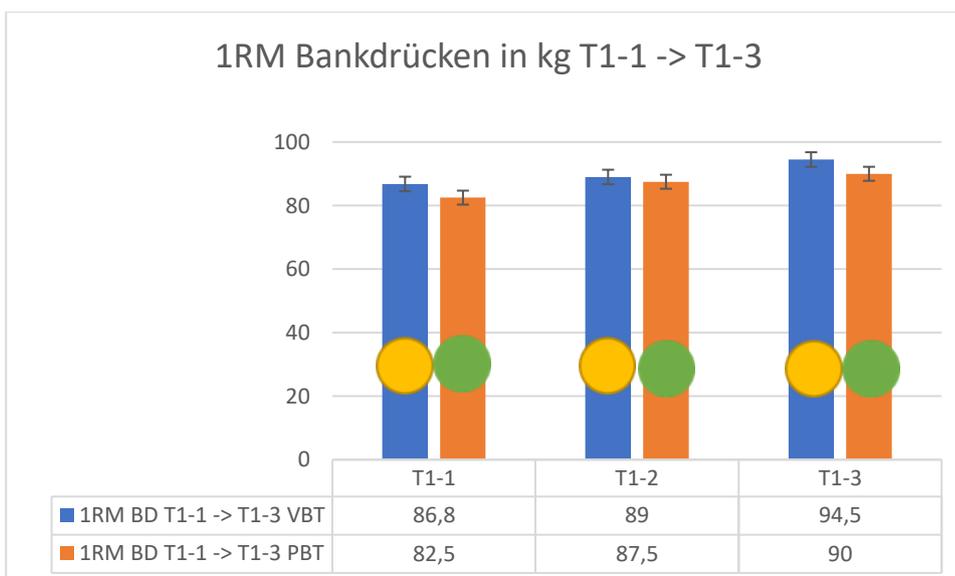
Tabelle 38: 1RM Bankdrücken in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

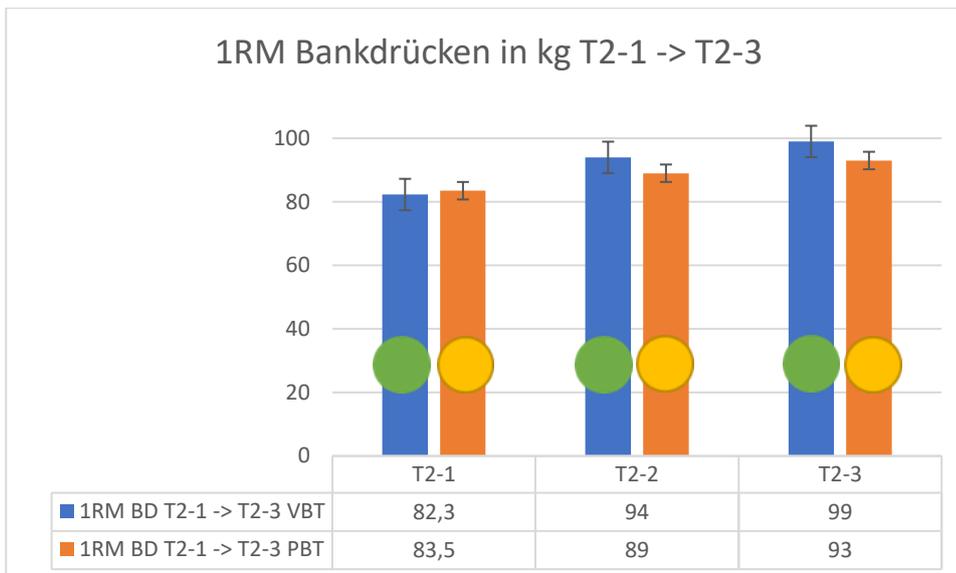
Gruppe	T1-1 (kg)	T1-2 (kg)	T1-3 (kg)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (kg)	T2-2 (kg)	T2-3 (kg)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	86,8 ± 13,4	89,0 ± 13,3	94,5 ± 10,9	7,8 kg (8,9 %) p = 0,153 r = 0,301	83,5 ± 11,4	89,0 ± 12,0	93,0 ± 11,6	9,5 kg (11,4 %) p = 0,067 r = 0,382
VG B	82,5 ± 15,0	87,5 ± 15,9	90,0 ± 13,7	3,3 kg (4,0 %) p = 0,641 r = 0,253	82,3 ± 14,6	94,0 ± 15,1	99,0 ± 13,9	16,8 kg (20,3 %) p = 0,017* r = 0,505
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,604	0,863	0,552	0,02*	0,872	0,557	0,458	0,04*
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,149	0,051	0,179	0,528	0,046	0,180	0,228	0,492

Abbildung 55 veranschaulicht die Mittelwerte der Maximalkraftentwicklung im Bankdrücken im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik. Abbildung 56 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 55: 1RM Bankdrücken in kg im Intergruppenvergleich T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 56: 1RM Bankdrücken in kg im Intergruppenvergleich T2-1 bis T2-3

Da zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied der MW von VG A und VG B bestand, d.h. weder eine Signifikanz von  $p < 0,05$  noch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung von T1-1 nach T1-3 und T2-1 nach T2-3 verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass das 1RM beim Bankdrücken durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung nicht signifikant mehr im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Während zwar sowohl VBT als auch PBT zu Leistungssteigerungen in der Maximalkraftfähigkeit des Bankdrückens führten (s. Tabelle 38:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ), kann Hypothese 1.3 nicht angenommen werden.

#### 5.4.2 Relativkraftentwicklung Bankdrücken

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben. Tabelle 39 stellt die Veränderungen der Mittelwerte der, am Körpergewicht relativierten, Maximalkraftleistungen im Bankdrücken (REL BD), unterteilt nach Trainingsmethoden, dar.

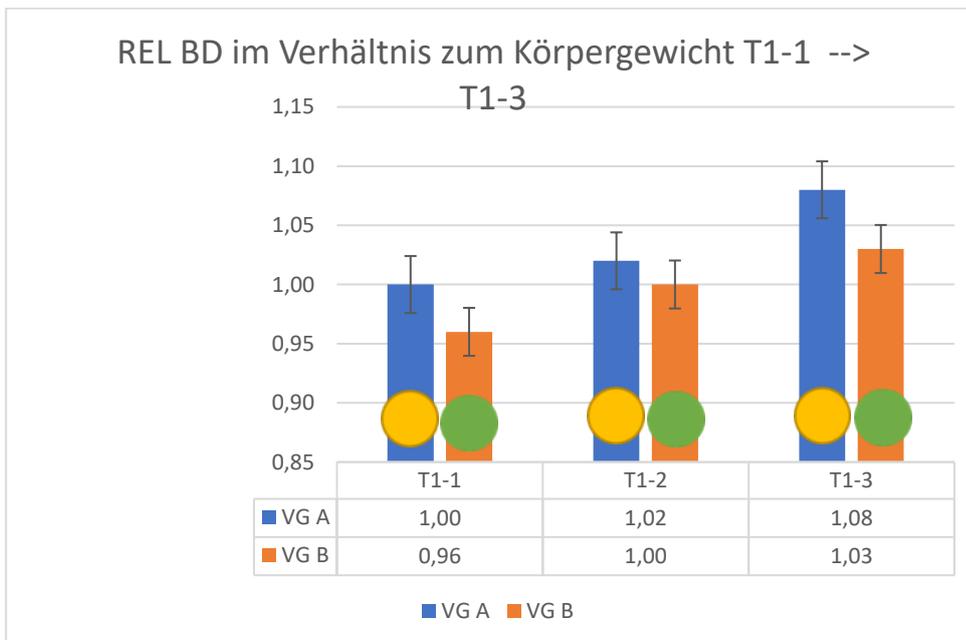
Tabelle 39: REL BD in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

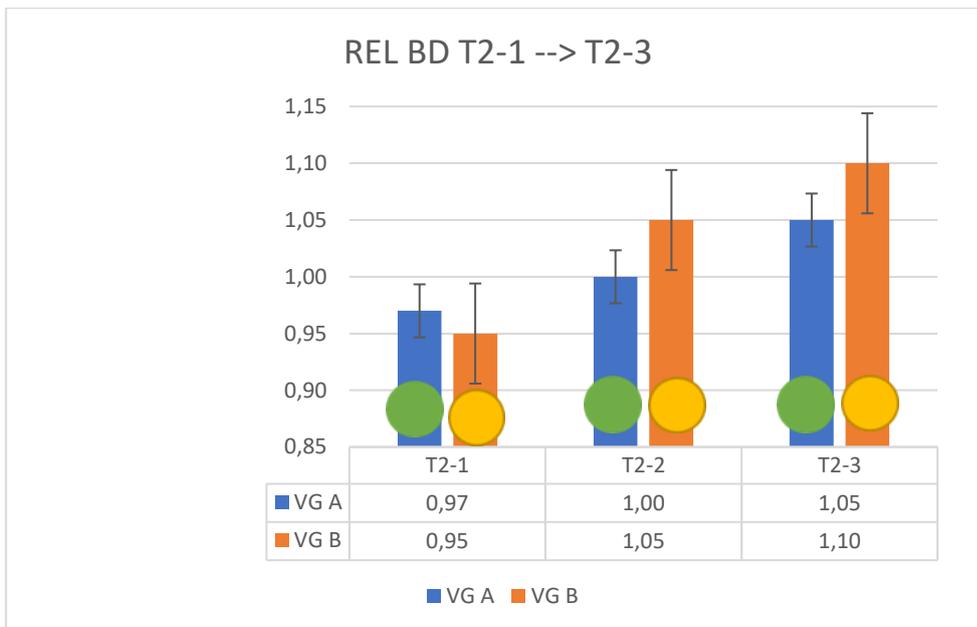
Gruppe	T1-1	T1-2	T1-3	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1	T2-2	T2-3	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	1,00 ± 0,09	1,02 ± 0,08	1,08 ± 0,07	0,08 (8,0 %) p = 0,042* r = 0,444	0,97 ± 0,07	1,00 ± 0,07	1,05 ± 0,07	0,07 (7,1 %) p = 0,037* r = 0,496
VG B	0,96 ± 0,09	1,00 ± 0,11	1,03 ± 0,09	0,02 (1,0 %) p = 0,666 r = 0,362	0,95 ± 0,10	1,05 ± 0,08	1,10 ± 0,08	0,15 (15,8 %) p = 0,003** r = 0,638
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,260	0,738	0,115	0,014*	0,526	0,320	0,211	0,04**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,217	0,103	0,296	0,552	0,115	0,316	0,316	0,617

Abbildung 57 veranschaulicht die Mittelwerte der Relativkraftentwicklung im Intergruppenvergleich bezüglich der Trainingsmethodik im Zeitraum T1-1 bis T1-3 und Abbildung 58 stellt den Zeitraum T2-1 bis T2-3 dar.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 57: Entwicklung REL BD T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 58: Entwicklung REL BD T2-1 bis T2-3

Da zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied der MW von VG A und VG B bestand, d.h. weder eine Signifikanz von  $p < 0,05$  noch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung von T1-1 nach T1-3 und T2-1 nach T2-3 verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Relativkraft im Bankdrücken durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung nicht signifikant mehr im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport verbessert wurde. Während zwar sowohl VBT als auch PBT zu Leistungssteigerungen in der Relativkraftfähigkeit im Bankdrücken führten (s. Tabelle 39:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ), kann Hypothese 1.4 nicht angenommen werden.

## 5.5 Schlagwurf aus dem Stand

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben. Tabelle 40 zeigt die Daten unterteilt nach Versuchsgruppen.

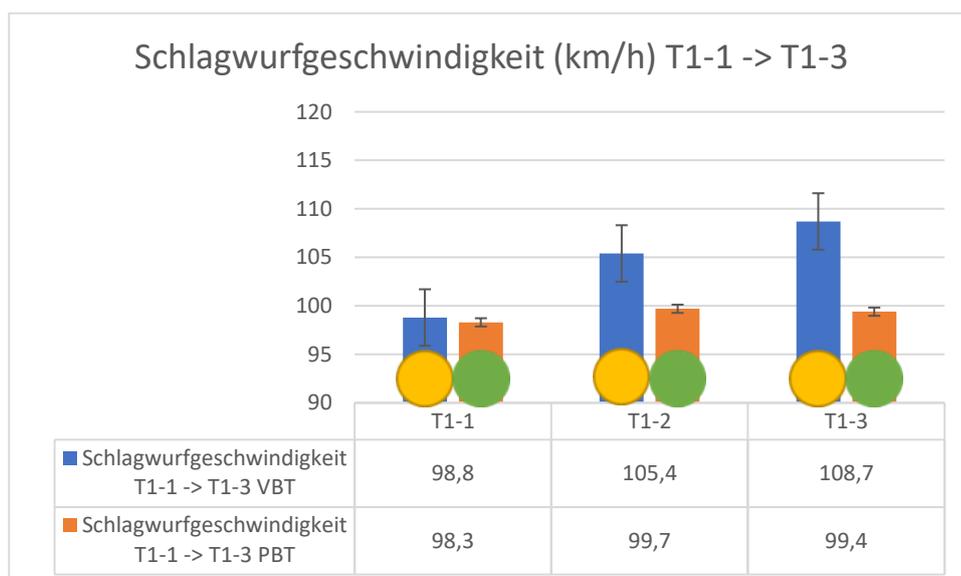
Tabelle 40:  $Wurf_{max}$  im Schlagwurf aus dem Stand in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

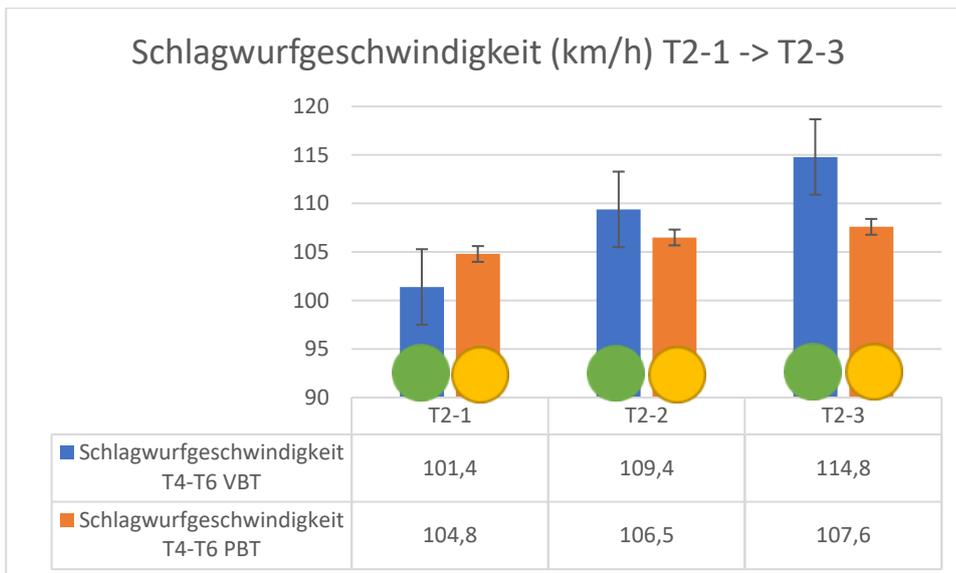
Gruppe	T1-1 (km/h)	T1-2 (km/h)	T1-3 (km/h)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (km/h)	T2-2 (km/h)	T2-3 (km/h)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	98,8 ± 4,71	105,4 ± 3,65	108,7 ± 3,64	9,9 km/h (10,0 %) p < 0,001** r = 0,762	104,8 ± 2,79	106,5 ± 2,82	107,6 ± 2,44	2,8 km/h (2,7 %) p = 0,488 r = 0,471
VG B	98,3 ± 5,62	99,7 ± 3,05	99,4 ± 3,19	1,1 km/h (1,1 %) p = 0,656 r = 0,153	101,4 ± 2,76	109,4 ± 3,44	114,8 ± 1,40	13,4 km/h (13,2 %) p < 0,001** r = 0,951
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,846	0,01**	< 0,001**	< 0,001**	0,07	0,035*	< 0,001**	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,048	0,646	0,805	0,943	0,522	0,419	0,875	0,939

Abbildung 59 veranschaulicht die Mittelwerte der maximalen Schlagwurfgeschwindigkeit aus dem Stand im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik. Abbildung 60 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 59:  $Wurf_{max}$  in km/h T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 60: Wurf<sub>max</sub> in km/h T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Wurfgeschwindigkeit beim Schlagwurf aus dem Stand durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 40:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.1 kann somit angenommen werden.

## 5.6 Sprint

Nachfolgend soll die Entwicklung der linearen Beschleunigung im 20 m Sprint inklusive Zwischenzeiten über 10 m und 5 m dargestellt werden.

### 5.6.1 20 m Sprint

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben. Tabelle 41 zeigt die Daten unterteilt nach Versuchsgruppen.

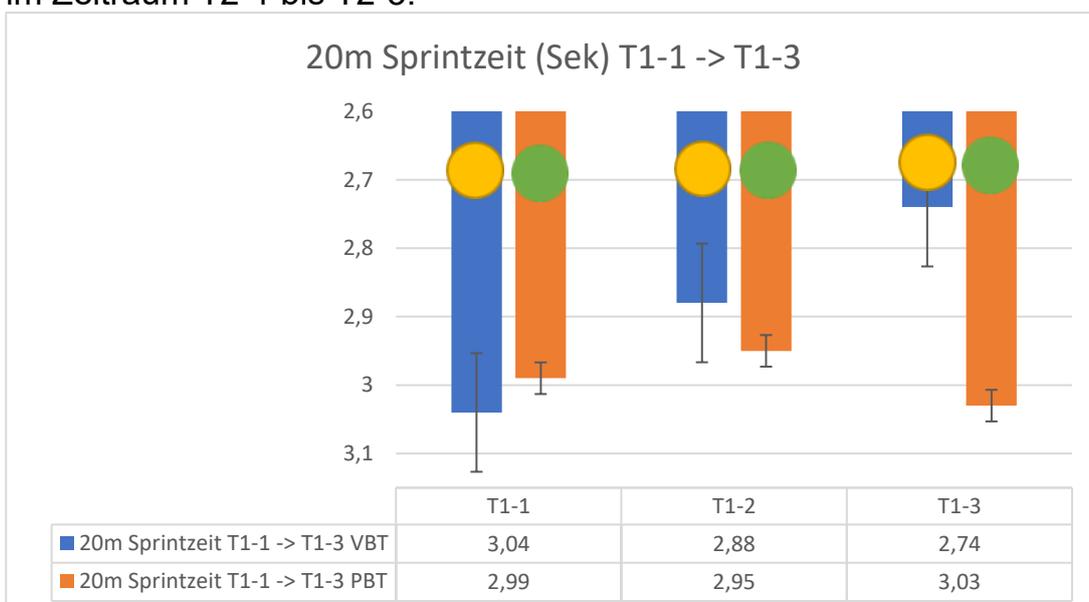
Tabelle 41: 20m Sprintzeiten in Sekunden (Sek) in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

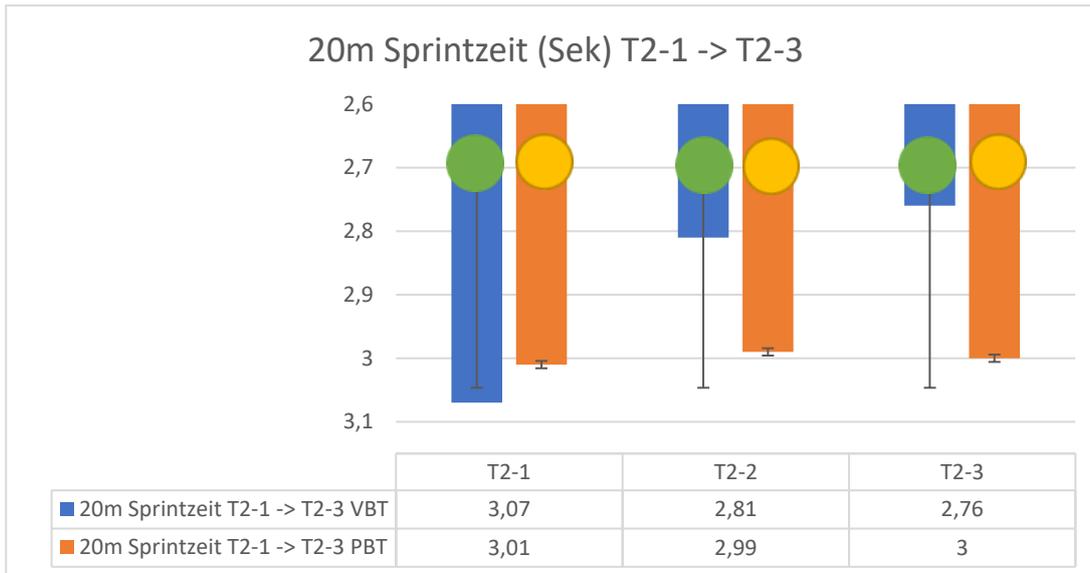
Gruppe	T1-1 (Sek)	T1-2 (Sek)	T1-3 (Sek)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (Sek)	T2-2 (Sek)	T2-3 (Sek)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	3,04 ± 0,10	2,88 ± 0,09	2,74 ± 0,09	0,30 Sek (9,9%) $p < 0,0001^{**}$ r = 0,844	3,01 ± 0,06	2,99 ± 0,06	3,00 ± 0,03	0,01 Sek (0,3 %) $p = 0,234$ r = 0,105
VG B	2,99 ± 0,13	2,95 ± 0,09	3,03 ± 0,12	-0,04 Sek (-1,3 %) $p = 0,728$ r = 0,158	3,07 ± 0,06	2,81 ± 0,06	2,76 ± 0,09	0,31 Sek (8,3 %) $p < 0,0001^{**}$ r = 0,897
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,361	0,004**	0,0009**	< 0,001**	0,072	0,0003**	0,00002**	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,211	0,362	0,807	0,687	0,447	0,832	0,873	0,896

Abbildung 61 veranschaulicht die Mittelwerte der schnellsten 20 m Sprintzeiten im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik. Abbildung 62 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 61: 20 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 62: 20 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Sprintfähigkeit über eine Distanz vom 20 m durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 41:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.2 kann somit angenommen werden.

### 5.6.2 10 m Zwischenzeit

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 42). Tabelle 42 zeigt die Daten unterteilt nach Versuchsgruppen.

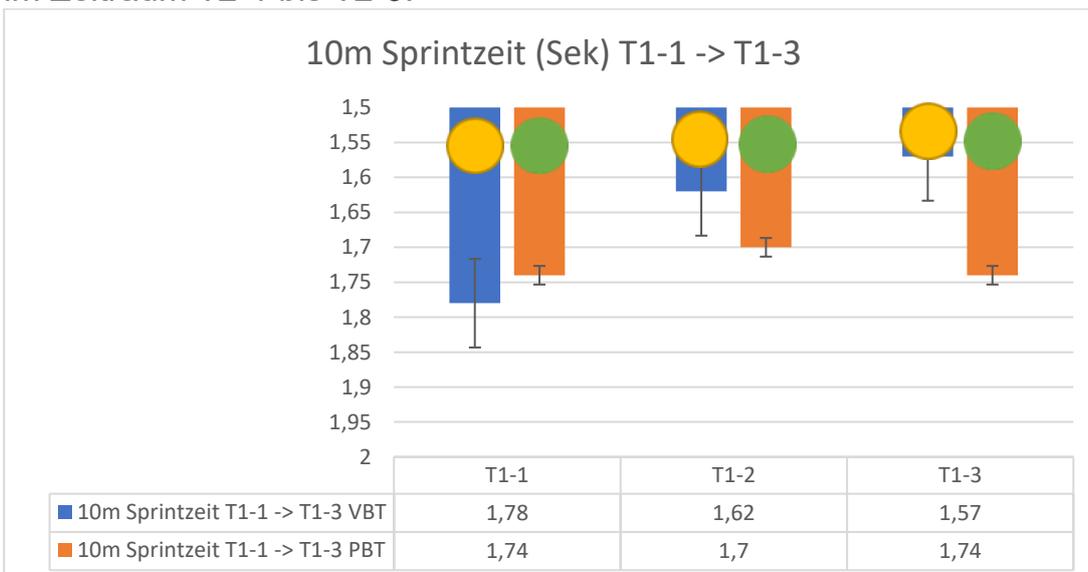
Tabelle 42: 10m Sprintzeiten in Sekunden in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

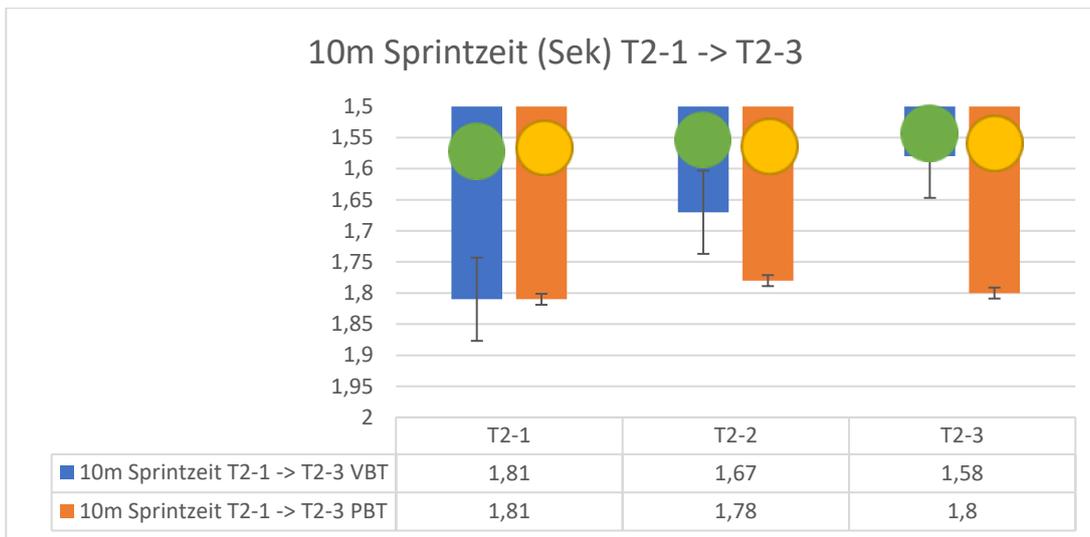
Gruppe	T1-1 (Sek)	T1-2 (Sek)	T1-3 (Sek)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (Sek)	T2-2 (Sek)	T2-3 (Sek)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	1,78 ± 0,07	1,62 ± 0,04	1,57 ± 0,03	0,21 Sek (11,8 %) p < 0,0001** r = 0,890	1,81 ± 0,07	1,78 ± 0,10	1,80 ± 0,10	0,01 Sek (0,6 %) p = 0,352 r = 0,058
VG B	1,74 ± 0,09	1,70 ± 0,06	1,74 ± 0,08	0,0 Sek (0,0 %) p = 1 r = 0	1,81 ± 0,08	1,67 ± 0,06	1,58 ± 0,04	0,23 Sek (12,0 %) p = 0,0005** r = 0,876
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,305	0,003* *	0,000 5**	< 0,001**	0,980	0,0002 **	0,000 5**	0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,241	0,617	0,815	0,976	0,000	0,555	0,822	0,884

Abbildung 63 veranschaulicht die Mittelwerte der schnellsten 10 m Sprintzeiten im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik. Abbildung 64 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 63: 10 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 64: 10 m Sprintzeiten Mittelwerte in Sekunden T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Sprintfähigkeit über eine Distanz vom 10 m durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 42:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.3 kann somit angenommen werden.

### 5.6.3 5 m Zwischenzeit

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 43). Tabelle 43 zeigt die Daten unterteilt nach Versuchsgruppen.

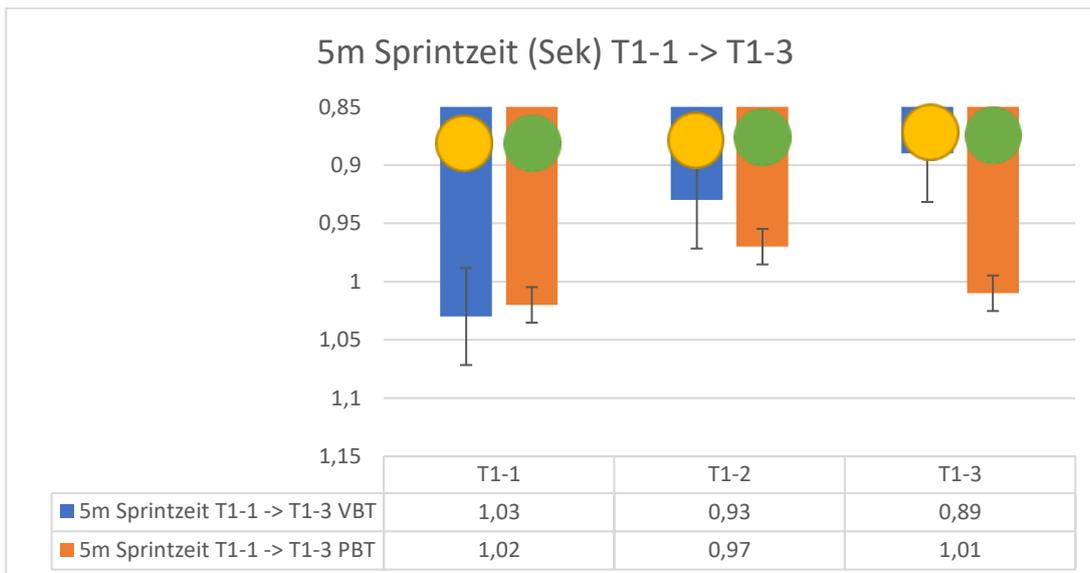
Tabelle 43: 5 m Sprintzeiten in Sekunden in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

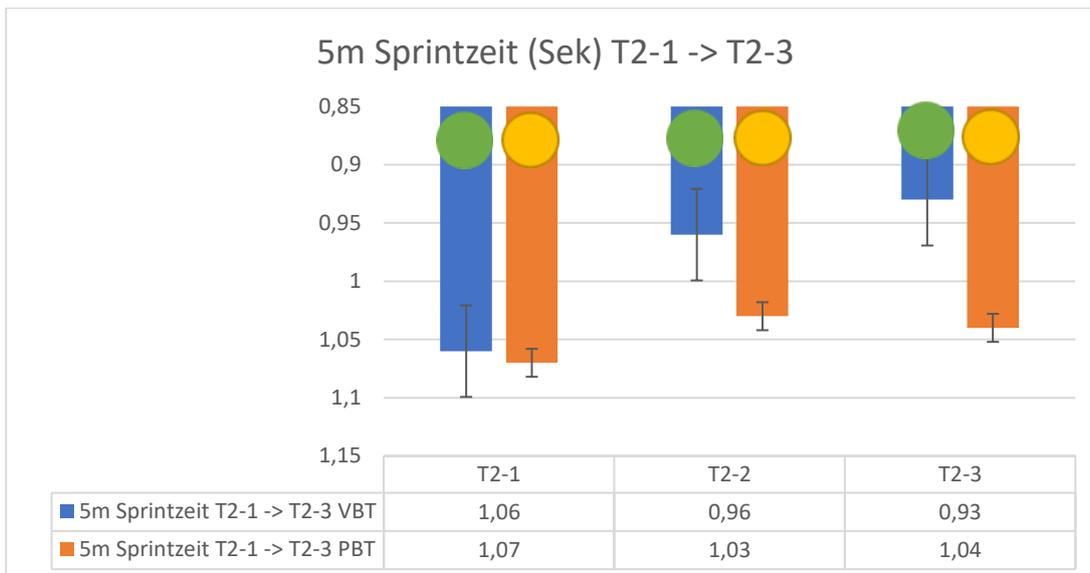
Gruppe	T1-1 (Sek)	T1-2 (Sek)	T1-3 (Sek)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (Sek)	T2-2 (Sek)	T2-3 (Sek)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	1,03 ± 0,06	0,93 ± 0,04	0,89 ± 0,03	0,14 Sek (13,6 %) p = 0,0002** r = 0,828	1,07 ± 0,08	1,03 ± 0,08	1,04 ± 0,04	0,03 Sek (3,7 %) p = 0,339 r = 0,231
VG B	1,02 ± 0,07	0,97 ± 0,05	1,01 ± 0,06	0,01 Sek (1,0 %) p = 0,786 r = 0,076	1,06 ± 0,08	0,96 ± 0,03	0,93 ± 0,04	0,13 Sek (12,3 %) p = 0,001** r = 0,717
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,798	0,029* *	0,0000 5**	< 0,001**	0,759	0,059	0,0000 2**	0,005**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,076	0,404	0,802	0,682	0,062	0,501	0,809	0,608

Abbildung 65 veranschaulicht die Mittelwerte der schnellsten 5 m Sprintzeiten im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik. Abbildung 66 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 65: 5 m Sprintzeiten im Mittelwert in Sekunden T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 66: 5 m Sprintzeiten im Mittelwert in Sekunden T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Sprintfähigkeit über eine Distanz vom 5 m durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 43:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.4 kann somit angenommen werden.

## 5.7 Sprung

Nachfolgend soll die Entwicklung der vertikalen und horizontalen Sprungkraft dargestellt werden.

### 5.7.1 Drop Jump

Die Ergebnisse der Leistungsdiagnostik für den DJ aus 40 cm Höhe wurden unterteilt in Sprunghöhe, Bodenkontaktzeit und RKI aufbereitet.

#### 5.7.1.1 Sprunghöhe

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 44). Tabelle 44 zeigt die Daten unterteilt nach Versuchsgruppen.

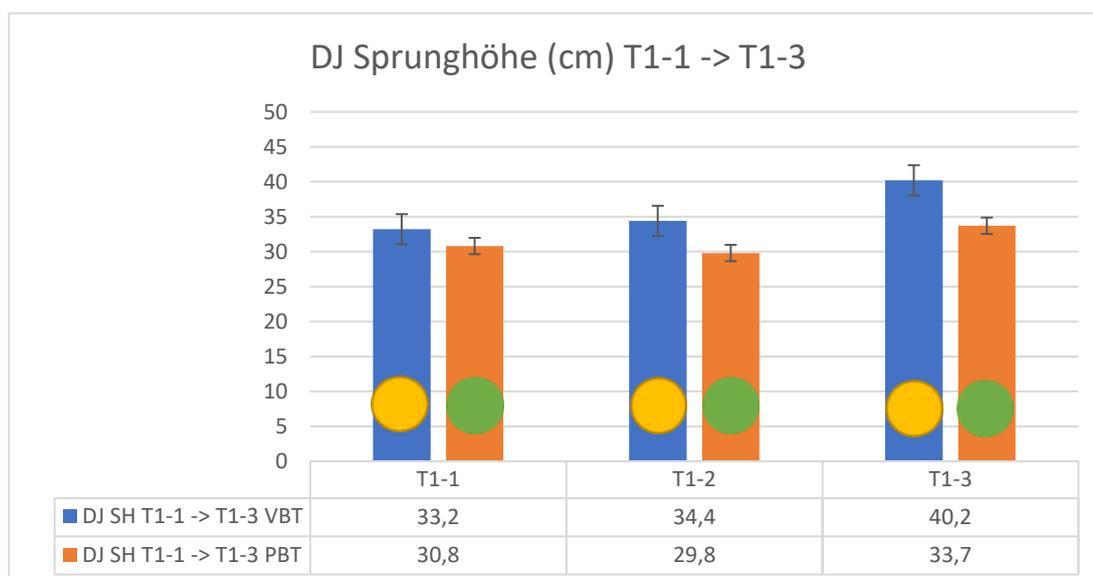
Tabelle 44: DJ Sprunghöhe in cm in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

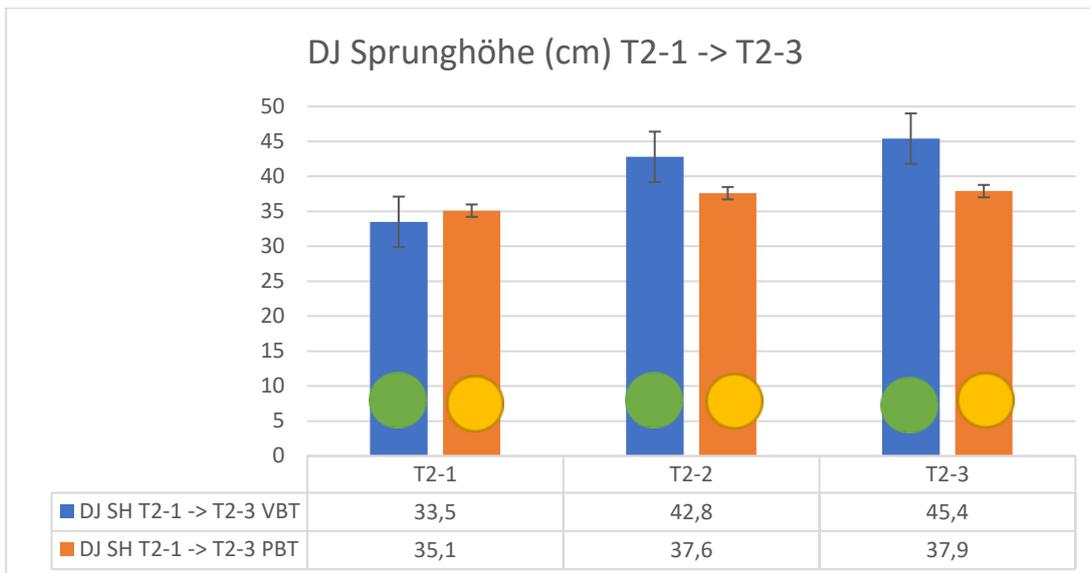
Gruppe	T1-1 (cm)	T1-2 (cm)	T1-3 (cm)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (cm)	T2-2 (cm)	T2-3 (cm)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	33,2 ± 4,95	34,4 ± 4,19	40,2 ± 2,57	7,0 cm (21,1 %) p = 0,001** r = 0,664	35,1 ± 3,61	37,6 ± 3,98	37,9 ± 4,04	2,8 cm (8,0 %) p = 0,127 r = 0,343
VG B	30,8 ± 4,39	29,8 ± 5,32	33,7 ± 2,19	2,9 cm (9,4 %) p = 0,08 r = 0,386	33,5 ± 2,34	42,8 ± 2,41	45,4 ± 2,33	11,9 cm (35,5 %) p < 0,001** r = 0,931
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,236	0,105	0,0005**	0,102	0,282	0,003*	0,0001**	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,248	0,433	0,806	0,404	0,254	0,620	0,813	0,724

Abbildung 67 veranschaulicht die Mittelwerte der größten Sprunghöhen im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik. Abbildung 68 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 67: Sprunghöhe Drop Jump im Mittelwert T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 68: Sprunghöhe Drop Jump im Mittelwert T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Sprunghöhe beim Drop Jump durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 44:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.5 kann somit angenommen werden.

### 5.7.1.2 Bodenkontaktzeit

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung und die Varianzhomogenität wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 45).

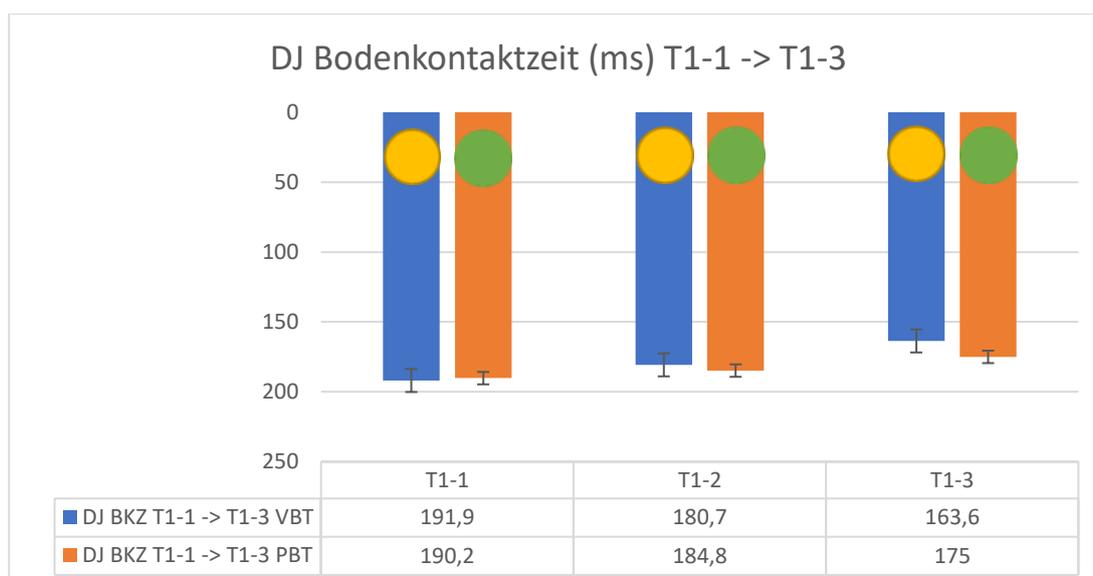
Tabelle 45: 40cm DJ BKZ in ms in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

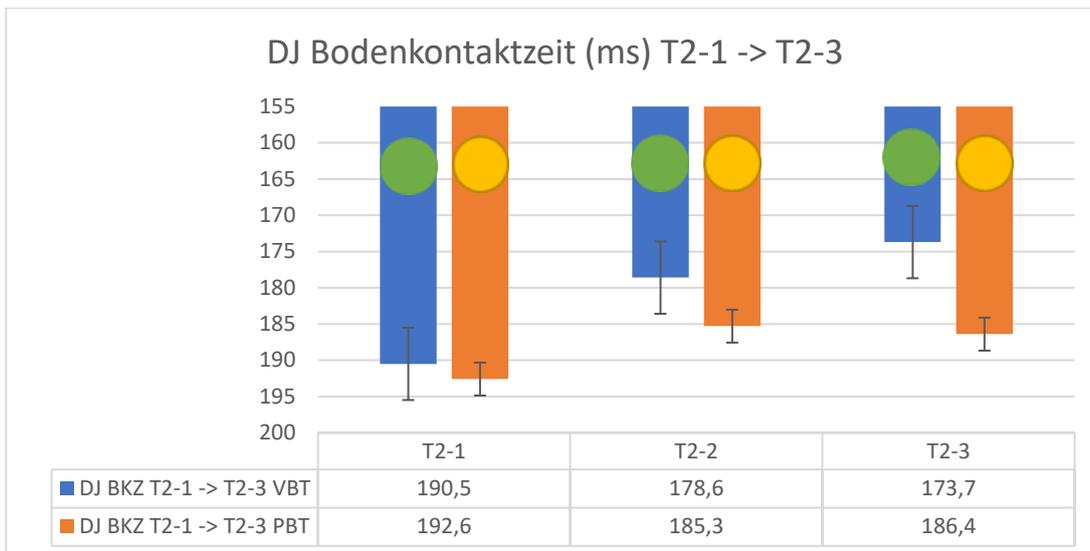
Gruppe	T1-1 (ms)	T1-2 (ms)	T1-3 (ms)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (ms)	T2-2 (ms)	T2-3 (ms)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	191,9 ± 6,74	180,7 ± 6,45	163,6 ± 5,08	28,3 ms (14,7 %) p < 0,001** r = 0,921	192,6 ± 5,32	185,3 ± 11,56	186,4 ± 8,03	6,2 ms (3,2 %) p = 0,057 r = 0,414
VG B	190,2 ± 7,73	184,8 ± 5,35	175,0 ± 7,87	15,2 ms (8,0 %) p = 0,004** r = 0,698	190,5 ± 6,10	178,6 ± 6,98	173,7 ± 6,31	16,8 ms (8,8 %) p = 0,0003** r = 0,804
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,663	0,187	0,003* *	< 0,001**	0,345	0,102	0,001* *	0,003**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,116	0,327	0,652	0,671	0,180	0,331	0,660	0,724

Abbildung 69 veranschaulicht die Mittelwerte der kürzesten Bodenkontaktzeiten im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik. Abbildung 70 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 69: Bodenkontaktzeiten Drop Jump im Mittelwert T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 70: Bodenkontaktzeiten Drop Jump im Mittelwert T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,5$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Bodenkontaktzeit beim Drop Jump durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 45:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.6 kann demnach bei mittlerer Effektstärke angenommen werden.

### 5.7.1.3 Reaktivkraftindex

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 46). Tabelle 46 stellt die MW der Bestwerte des Reaktivkraftindex` (RKI) als Quotient aus Sprunghöhe und Bodenkontaktzeit beim DJ im Verlauf der Leistungsdiagnostiken, unterteilt in Trainingsmethoden, im Längsschnitt dar.

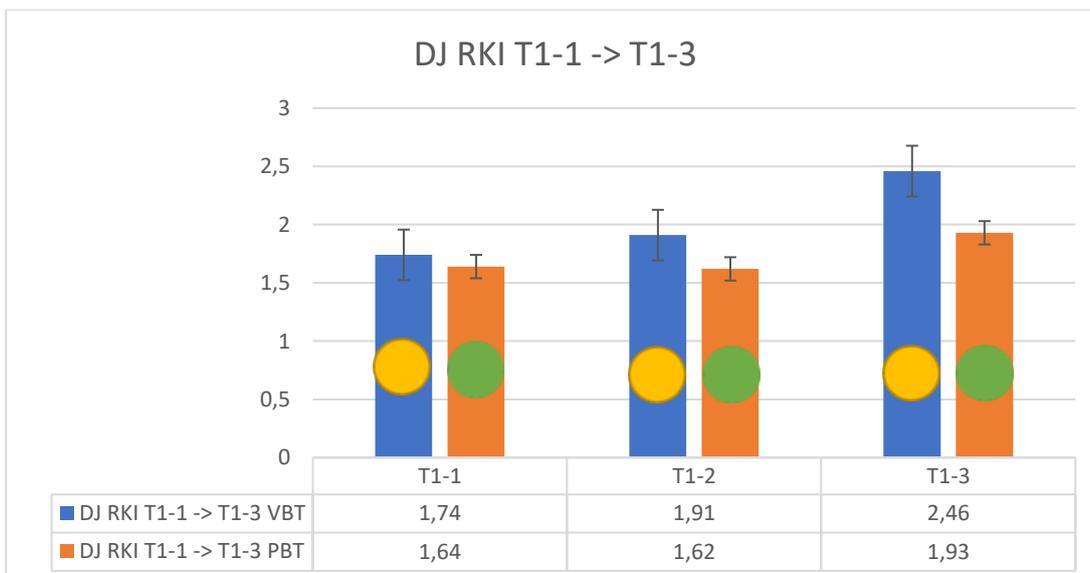
Tabelle 46: RKI DJ in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

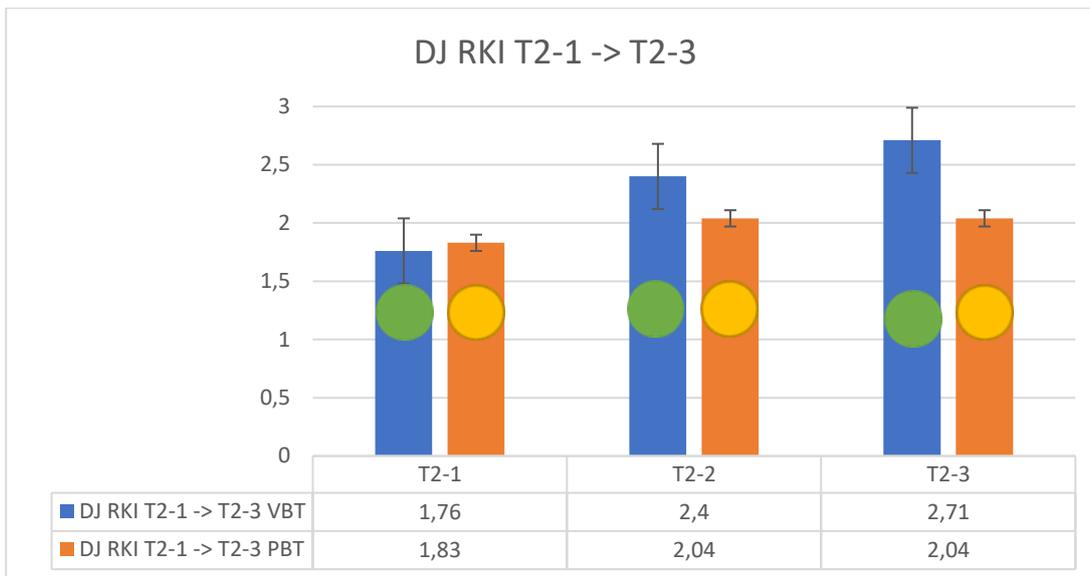
Gruppe	T1-1	T1-2	T1-3	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1	T2-2	T2-3	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	1,74 ± 0,31	1,91 ± 0,27	2,46 ± 0,25	0,72 (41,4 %) p < 0,001** r = 0,788	1,83 ± 0,21	2,04 ± 0,27	2,04 ± 0,27	0,21 (11,5%) p = 0,09 r = 0,398
VG B	1,64 ± 0,29	1,62 ± 0,34	1,93 ± 0,20	0,29 (17,7 %) p = 0,06 r = 0,503	1,76 ± 0,16	2,40 ± 0,18	2,71 ± 0,18	0,95 (54,0 %) p < 0,001** r = 0,941
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,409	0,093	0,0007**	< 0,001**	0,451	0,003*	0,0004**	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,164	0,427	0,760	0,911	0,184	0,617	0,825	0,978

Abbildung 71 veranschaulicht die Mittelwerte der Bestwerte im RKI beim DJ im Intergruppenvergleich im Zeitraum T1-1 bis T1-3, bezogen auf die Trainingsmethodik, und Abbildung 72 beschreibt die Veränderungen, unterteilt nach Trainingsmethodik, im Zeitraum T2-1 bis T2-3.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 71: RKI beim Drop Jump im Mittelwert T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 72: RKI beim Drop Jump im Mittelwert T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,5$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit hinsichtlich des RKI beim Drop Jump durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 46:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.7 kann daher bei mittlerer (T1-3) bis starker (T2-3) Effektstärke angenommen werden.

### 5.7.2 Countermovement Jump

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 47). Die Daten in Tabelle 47 sind gemäß VG A und VG B aufgeteilt.

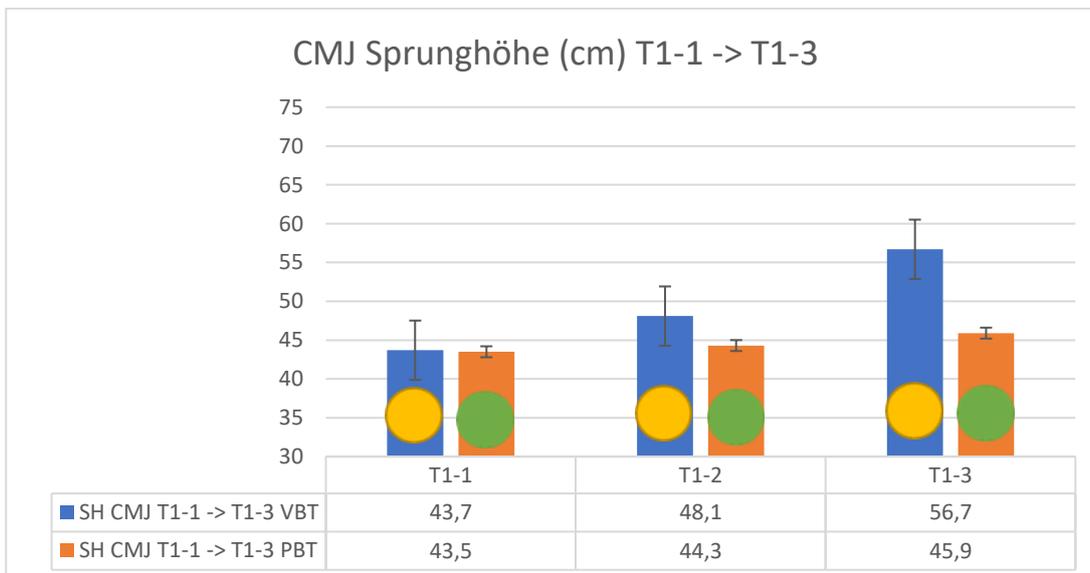
Tabelle 47: SH CMJ in cm in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

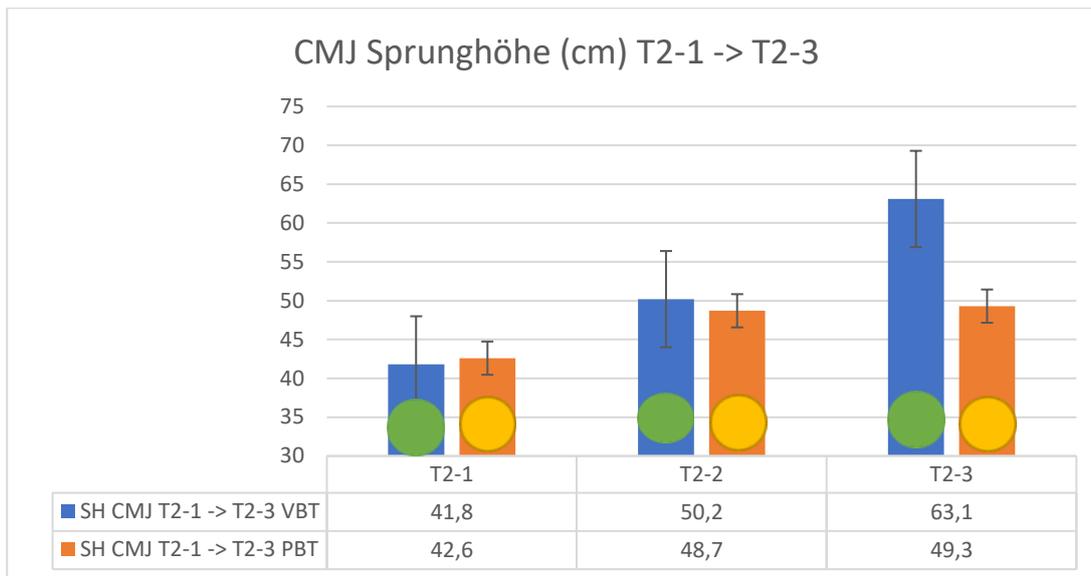
Gruppe	T1-1 (cm)	T1-2 (cm)	T1-3 (cm)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (cm)	T2-2 (cm)	T2-3 (cm)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	43,7 ± 5,18	48,1 ± 5,40	56,7 ± 2,52	13,0 cm (29,7 %) p = 0,0002** r = 0,847	42,6 ± 5,70	48,7 ± 5,54	49,3 ± 6,89	6,7 cm (15,7 %) p = 0,03* r = 0,468
VG B	43,5 ± 5,09	44,3 ± 5,36	45,9 ± 4,47	2,4 cm (5,5 %) p = 0,367 r = 0,243	41,8 ± 5,37	50,2 ± 5,38	63,1 ± 2,32	21,3 cm (51,0 %) p < 0,001** r = 0,932
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,915	0,192	0,00007**	< 0,001**	0,748	0,530	0,0006**	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,019	0,333	0,830	0,888	0,072	0,136	0,802	0,972

Abbildung 73 veranschaulicht die Mittelwerte der SH in cm beim CMJ im Intergruppenvergleich, unterteilt nach Trainingsmethode, im Zeitraum T1-1 bis T1-3. Abbildung 74 stellt den Zeitraum T2-1 bis T2-3 dar.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 73: CMJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 74: CMJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Sprunghöhe beim CMJ durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 47:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.8 kann somit angenommen werden.

### 5.7.3 Squat Jump

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 48). Die Daten in Tabelle 48 sind gemäß VG A und VG B aufgeteilt.

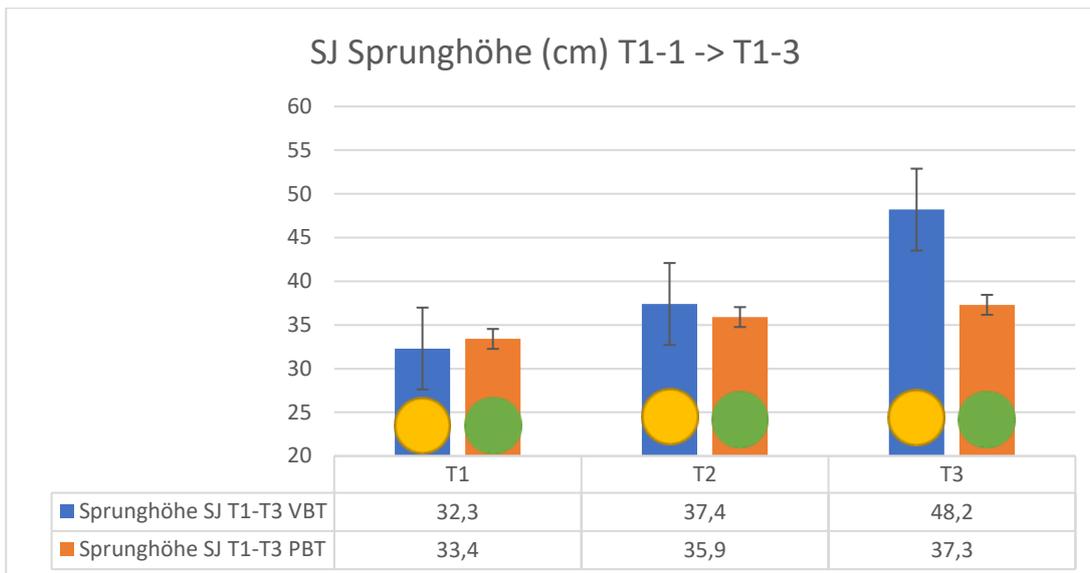
Tabelle 48: SH SJ in cm in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

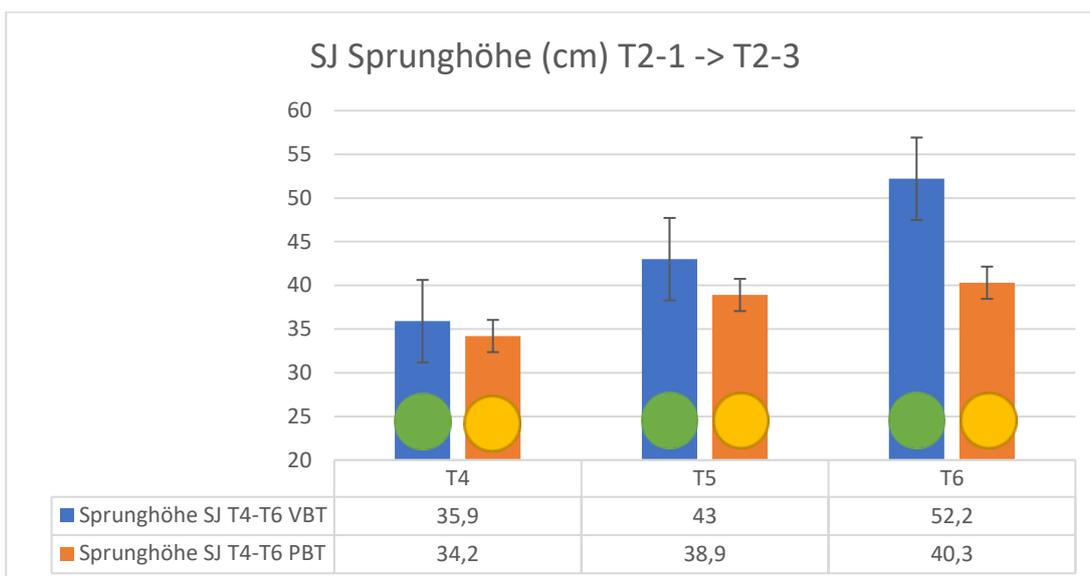
Gruppe	T1-1 (cm)	T1-2 (cm)	T1-3 (cm)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (cm)	T2-2 (cm)	T2-3 (cm)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	32,3 ± 5,30	37,4 ± 4,43	48,2 ± 4,20	15,9 cm (49,2 %) p < 0,001** r = 0,857	34,2 ± 4,91	38,9 ± 5,78	40,3 ± 5,39	6,1 cm (17,8 %) p = 0,02* r = 0,509
VG B	33,4 ± 4,88	35,9 ± 5,79	37,3 ± 3,87	3,9 cm (11,7 %) p = 0,111 r = 0,405	35,9 ± 4,26	43,0 ± 3,59	52,2 ± 2,46	16,3 cm (45,4 %) p < 0,001** r = 0,920
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,682	0,519	0,001* *	< 0,001*	0,406	0,076	0,0004 **	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,107	0,144	0,803	0,815	0,182	0,392	0,818	0,899

Abbildung 75 veranschaulicht die Mittelwerte der SH in cm beim SJ im Intergruppenvergleich, unterteilt nach Trainingsmethode, im Zeitraum T1-1 bis T1-3. Abbildung 76 stellt den Zeitraum T2-1 bis T2-3 dar.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 75: SJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 76: SJ Sprunghöhen in cm im Mittelwert T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Sprunghöhe beim SJ durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 48:  $\Delta$  T1-1→T1-3 und  $\Delta$  T2-1→T2-3) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den

Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Die Hypothese 2.9 kann somit angenommen werden.

#### 5.7.4 Standweitsprung

Für alle Testtermine wurden die Werte der deskriptiven Statistik berechnet und ausgewiesen. Die Normalverteilung der Daten und die Varianzhomogenität der Daten wurden überprüft und waren für die Daten gegeben (Tabelle 49). Die Daten in Tabelle 49 sind gemäß VG A und VG B aufgeteilt.

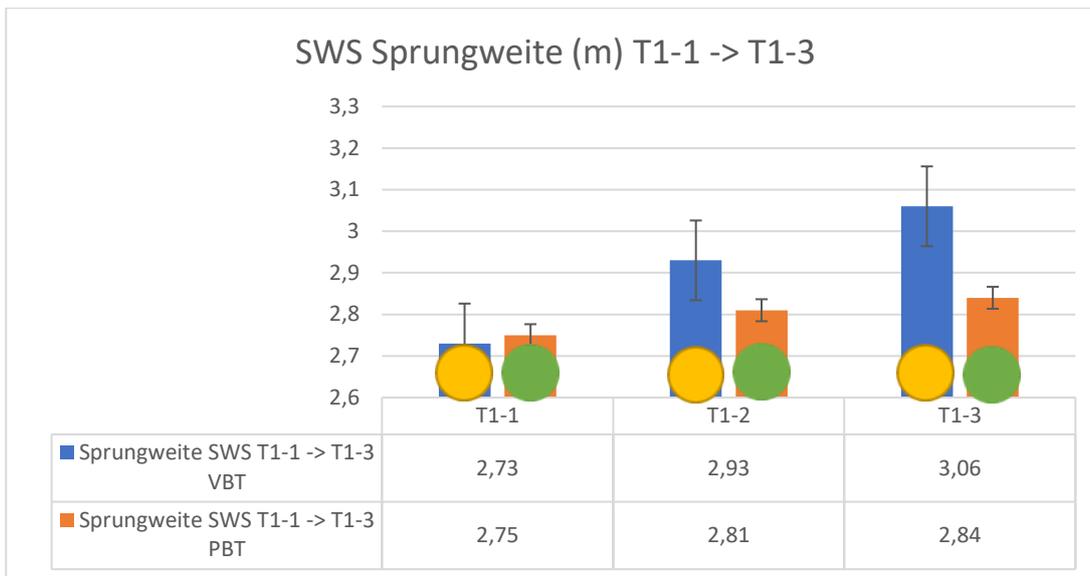
Tabelle 49: SW in m beim SWS in der Längsschnittentwicklung: VBT blau schattiert und PBT orange schattiert

Legende: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; grün  $r \geq 0,8$ , gelb  $r \geq 0,5$

r: Effektstärke, Cohen's d umgerechnet in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation r nach McGrath und Meyer (2006).

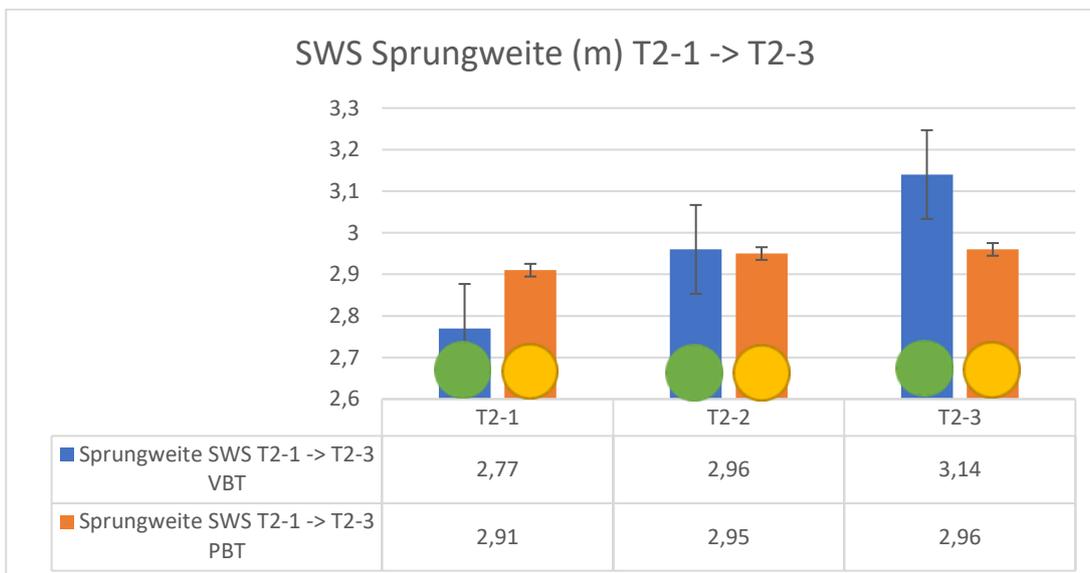
Gruppe	T1-1 (m)	T1-2 (m)	T1-3 (m)	$\Delta$ T1-1→T1-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG	T2-1 (m)	T2-2 (m)	T2-3 (m)	$\Delta$ T2-1→T2-3 p: Signifikanz MW-Unterschiede r: Effektstärke im Längsschnitt der VG
VG A	2,73 ± 0,22	2,93 ± 0,14	3,06 ± 0,06	0,33 m (12,1 %) $p < 0,01^{**}$ $r = 0,715$	2,91 ± 0,09	2,95 ± 0,08	2,96 ± 0,07	0,05 m (1,7 %) $p = 0,486$ $r = 0,296$
VG B	2,75 ± 0,25	2,81 ± 0,21	2,84 ± 0,10	0,09 m (3,3 %) $p = 0,211$ $r = 0,230$	2,77 ± 0,16	2,96 ± 0,11	3,14 ± 0,06	0,37 m (13,4 %) $p < 0,001^{**}$ $r = 0,837$
Signifikanz (p) (MW VG A > MW VG B)	0,881	0,280	0,00009**	< 0,001**	0,058	0,857	0,0002**	< 0,001**
Effektstärke (r) (MW VG A > MW VG B)	0,042	0,319	0,800	0,865	0,475	0,052	0,810	0,949

Abbildung 77 veranschaulicht die Mittelwerte der Sprungweite (SW) in m beim SWS im Intergruppenvergleich, unterteilt nach Trainingsmethode, im Zeitraum T1-1 bis T1-3. Abbildung 78 stellt den Zeitraum T2-1 bis T2-3 dar.



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 77: Standweitsprungweiten im Mittelwert in m im Zeitraum T1-1 bis T1-3



Legende: VBT=Blauer Balken; PBT=Oranger Balken; VG A=Gelber Kreis; VG B= Grüner Kreis

Abbildung 78: Standweitsprungweiten im Mittelwert in m im Zeitraum T2-1 bis T2-3

Da sowohl im Zeitraum T1-1 bis T1-3, als auch im Zeitraum T2-1 bis T2-3 signifikante Unterschiede der MW von VG A und VG B entwickelt wurden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit beim Standweitsprung durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant mehr (s. Tabelle 49:  $\Delta T1-1 \rightarrow T1-3$  und  $\Delta T2-1 \rightarrow T2-3$ ) im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport verbessert wurde. Hypothese 2.10 kann somit angenommen werden.

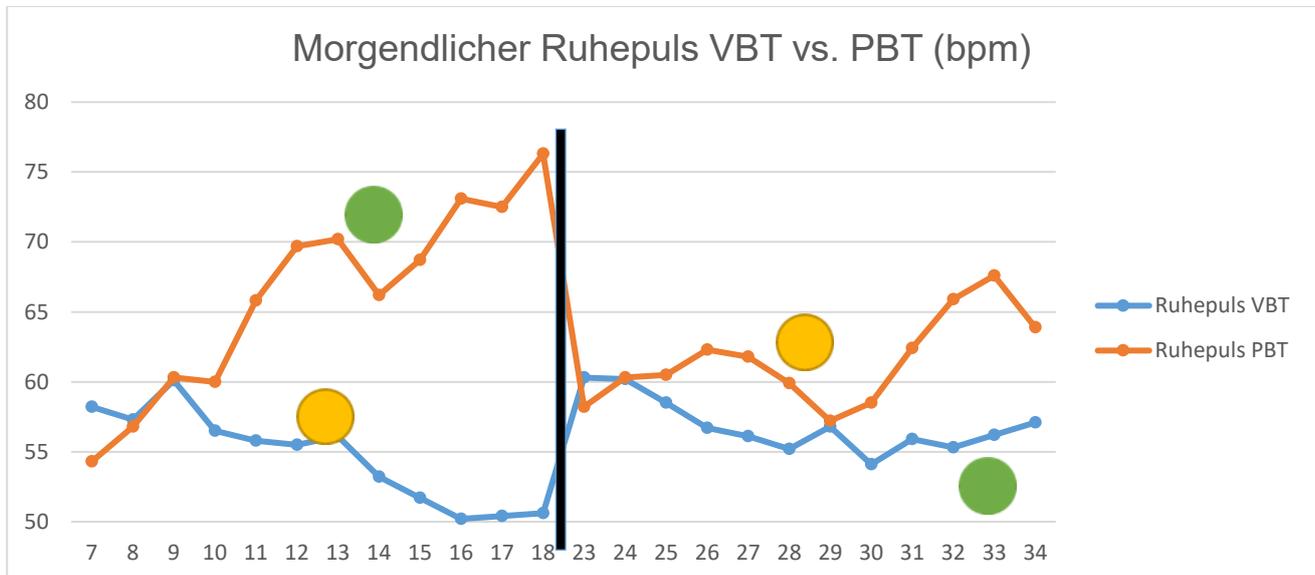
## 5.8 Monitoringverfahren

Die im Laufe der Untersuchung verwendeten Monitoringverfahren hatten die Aufgabe, das Verhältnis von Belastung und Beanspruchung im Intergruppenvergleich zu beobachten. Die erhobenen Parameter der Beanspruchung und Regeneration sollen in Abbildung 79 bis 85 im Längsschnitt skizziert werden. Für die jeweiligen Parameter wurde jeweils ein Intragruppen-Wochenschnitt über die 24 Trainingswochen erhoben. Die Tabellen 50 bis 55 zeigen die jeweiligen Werte der deskriptiven Statistik. In Trainingswoche 1 - 12 absolvierte VG A VBT und VG B absolvierte PBT. Nach dem Detraining in Woche 13 - 16 absolvierte VG A in Trainingswoche 17 - 28 PBT und VG B absolvierte VBT.

Tabelle 50: MW der Ruheherzfrequenz im Methodenvergleich

Methodik	VBT	PBT
MW Schläge/Minute	55,8 ± 2,89	63,4 ± 6,35
Signifikanz (p) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,0001**	
Effektstärke (r) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,610	

Legende: \* = p < 0,05; \*\* = p < 0,01; grün = r ≥ 0,8, gelb = r ≥ 0,5



Probanden	Woche 7-12	Woche 13-18	Woche 19-22	Woche 23-28	Woche 29-34
VG A	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT	Detraining	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT
VG B	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT	Detraining	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT

Legende: Gelber Kreis: VG A; Grüner Kreis: VG B; Blaue Linie: VBT; Orange Linie: PBT; Schwarzer Balken: Detraining

Abbildung 79: Morgendlicher Ruhepuls im Wochendurchschnitt im Studienverlauf

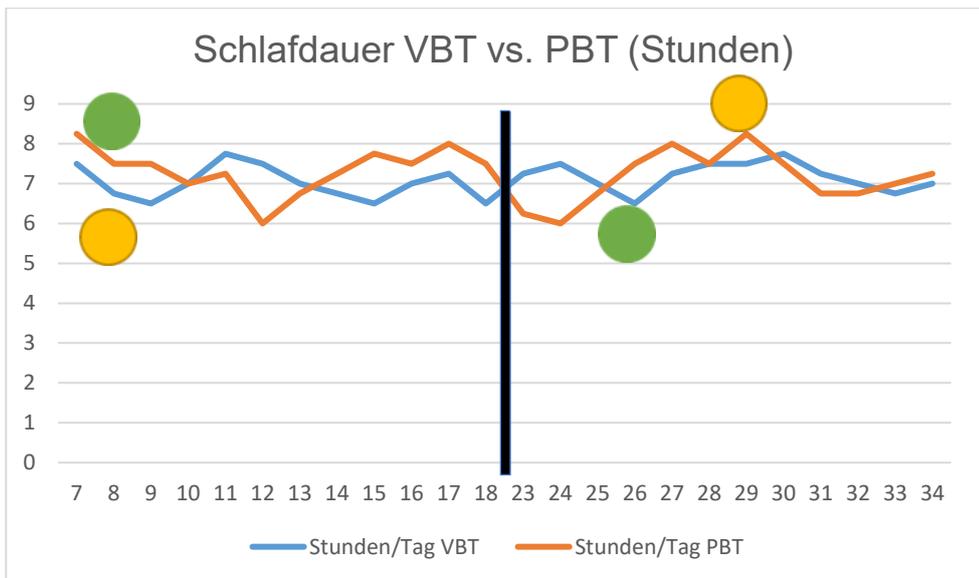
VBT erreichte im Mittelwert des Wochenschnitts des morgendlichen Ruhepuls' 55,8 ( $\pm 2,89$ ) Schläge pro Minute, während PBT im gesamten Untersuchungszeitraum 63,4 ( $\pm 6,35$ ) Schläge im Wochenmittel verzeichnen konnte. Da im Studienverlauf signifikante Unterschiede der MW der Ruheherzfrequenzen von VBT und PBT zum jeweils gleichen Zeitpunkt entstanden, ( Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,5$  in den Wochen 7 bis 18 und 23 bis 34), wird festgestellt, dass sich die morgendliche Ruheherzfrequenz im Mittelwert der gesamten Untersuchung durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant geringer im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport darstellte. Die Diskrepanz zwischen den beiden Trainingsmethoden wurde tendentiell größer im Verlauf der jeweiligen Trainingsphasen. Hypothese 3.1 kann demnach bei mittlerer Effektstärke angenommen werden.

Die wöchentliche durchschnittliche Schlafdauer (nachts und ggfs. tagsüber) wurde in 15-Minuten Inkrementen dokumentiert und betrug 7,1 ( $\pm 0,40$ ) Stunden bei VBT und 7,2 ( $\pm 0,63$ ) Stunden bei PBT (Abbildung 80). Da im Studienverlauf keine signifikanten Unterschiede der MW der Ruheherzfrequenzen von VBT und PBT entstanden, d.h. weder eine Signifikanz von  $p < 0,05$ , noch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass sich die Schlafdauer durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung nicht signifikant erhöht im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport darstellte. Hypothese 3.2 kann daher nicht angenommen werden.

Tabelle 51: MW der Schlafdauer im Methodenvergleich

Methodik	VBT	PBT
MW Schlafdauer in Stunden	7,1 $\pm$ 0,40	7,2 $\pm$ 0,63
KI	6.92,7.28	6.97,7.51
Signifikanz (p)		0,365
Effektstärke (r)		0,094

Legende: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; grün =  $r \geq 0,8$ , gelb =  $r \geq 0,5$



Probanden	Woche 7-12	Woche 13-18	Woche 19-22	Woche 23-28	Woche 29-34
VG A	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT	Detraining	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT
VG B	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT	Detraining	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT

Legende: Gelber Kreis: VG A; Grüner Kreis: VG B; Blaue Linie: VBT; Orange Linie: PBT; Schwarzer Balken: Detraining

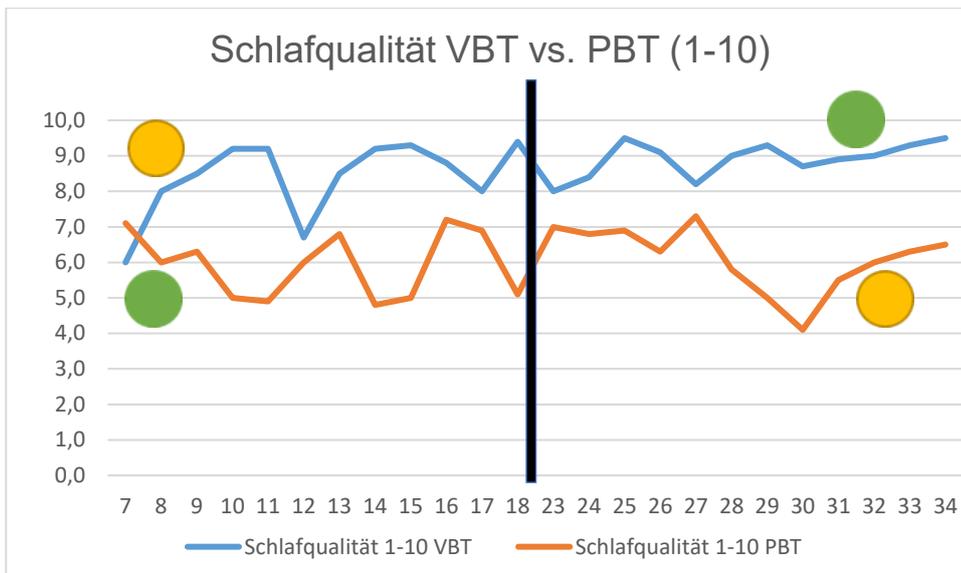
Abbildung 80: Schlafquantität im Wochendurchschnitt im Studienverlauf

Die wöchentliche durchschnittliche Schlafqualität wurde versuchsgruppenübergreifend abgefragt und war auf einer Skala mit 1-10 zu bewerten. In diesem Zusammenhang betrug die subjektiv empfundene Schlafqualität 8,7 ( $\pm 0,86$ ) bei VBT und 6,0 ( $\pm 0,91$ ) bei PBT (Abbildung 80). Da im Studienverlauf signifikante Unterschiede der MW der subjektiven Schlafqualität von VBT und PBT entstanden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass sich im durchschnittlichen Mittelwert der gesamten Untersuchung die subjektiv empfundene Schlafqualität im Mittelwert der gesamten Untersuchung durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant verbessert im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport. Die Diskrepanz zwischen den beiden Trainingsmethoden wurde tendentiell größer im Verlauf der jeweiligen Trainingsphasen. Hypothese 3.3 kann somit angenommen werden.

Tabelle 52: MW der Schlafqualität im Methodenvergleich

Methodik	VBT	PBT
MW Schlafqualität	8,7 $\pm$ 1,02	6,0 $\pm$ 0,94
Signifikanz (p) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,0000004**	
Effektstärke (r) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,809	

Legende: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; grün =  $r \geq 0,8$ , gelb =  $r \geq 0,5$



Probanden	Woche 7-12	Woche 13-18	Woche 19-22	Woche 23-28	Woche 29-34
VG A	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT	Detraining	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT
VG B	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT	Detraining	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT

Legende: Gelber Kreis: VG A; Grüner Kreis: VG B; Blaue Linie: VBT; Orange Linie: PBT; Schwarzer Balken: Detraining

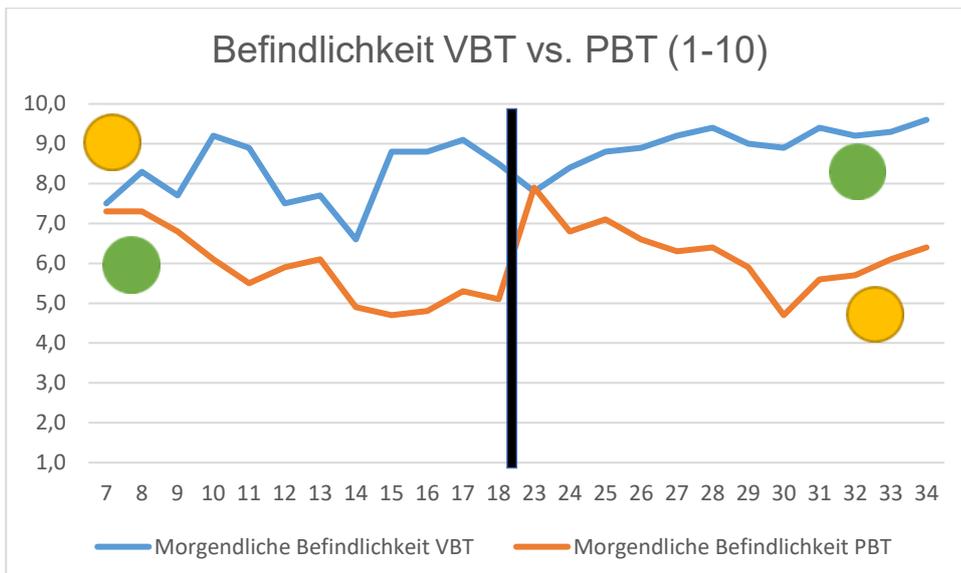
Abbildung 81: Schlafqualität im Wochendurchschnitt im Studienverlauf

Auch die wöchentliche durchschnittliche morgendliche Befindlichkeit wurde versuchsgruppenübergreifend abgefragt und war auf einer Skala mit 1-10 zu bewerten. In diesem Zusammenhang betrug die subjektive Befindlichkeit im Intragruppen-Wochendurchschnitt  $8,6 (\pm 0,76)$  bei VBT und  $6,1 (\pm 0,90)$  bei PBT (Abbildung 82). Da im Studienverlauf signifikante Unterschiede der MW der morgendlichen Befindlichkeit von VBT und PBT entstanden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnitentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass sich die morgendliche Befindlichkeit durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant verbessert im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballleistungssport. Die Diskrepanz zwischen den beiden Trainingsmethoden wurde tendentiell größer im Verlauf der jeweiligen Trainingsphasen. Hypothese 3.4 kann somit angenommen werden.

Tabelle 53: MW der Befindlichkeit im Methodenvergleich

Methodik	VBT	PBT
MW Befindlichkeit	$8,6 \pm 0,76$	$6,1 \pm 0,90$
Signifikanz (p)	0,00000008**	
Effektstärke (r)	0,832	

Legende: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; grün =  $r \geq 0,8$ , gelb =  $r \geq 0,5$



Probanden	Woche 7-12	Woche 13-18	Woche 19-22	Woche 23-28	Woche 29-34
VG A	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT	Detraining	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT
VG B	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT	Detraining	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT

Legende: Gelber Kreis: VG A; Grüner Kreis: VG B; Blaue Linie: VBT; Orange Linie: PBT; Schwarzer Balken: Detraining

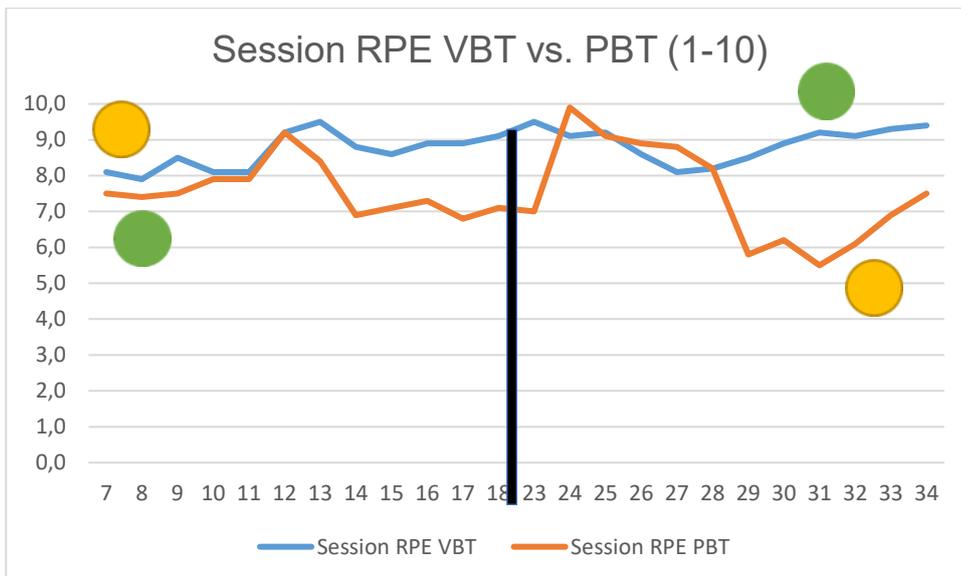
Abbildung 82: Morgentliche Befindlichkeit im Wochendurchschnitt im Studienverlauf

Das subjektive Belastungsempfinden nach den Krafttrainingseinheiten (Session RPE bzw. sRPE) wurde auf einer Borg Skala mit 1-10 skaliert und abgefragt. Vor diesem Hintergrund betrug die subjektive Befindlichkeit im Intragruppen-Wochendurchschnitt  $8,8 (\pm 0,48)$  bei VBT und  $7,6 (\pm 1,16)$  bei PBT (Abbildung 83). Da im Studienverlauf signifikante Unterschiede der MW des subjektiven Belastungsempfinden von VBT und PBT entstanden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,5$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass sich die sRPE durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung signifikant erhöht im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport. Die Diskrepanz zwischen den beiden Trainingsmethoden wurde tendentiell größer im Verlauf der jeweiligen Trainingsphasen. Hypothese 3.5 kann daher bei mittlerer Effektstärke angenommen werden.

Tabelle 54: MW der sRPE im Methodenvergleich

Methodik	VBT	PBT
MW sRPE	$8,8 \pm 0,48$	$7,6 \pm 1,16$
Signifikanz (p) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,0001**	
Effektstärke (r) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,560	

Legende: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; grün =  $r \geq 0,8$ , gelb =  $r \geq 0,5$



Probanden	Woche 7-12	Woche 13-18	Woche 19-22	Woche 23-28	Woche 29-34
VG A	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT	Detraining	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT
VG B	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT	Detraining	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT

Legende: Gelber Kreis: VG A; Grüner Kreis: VG B; Blaue Linie: VBT; Orange Linie: PBT; Schwarzer Balken: Detraining

Abbildung 83: Subjektives Belastungsempfinden im Wochendurchschnitt im Studienverlauf

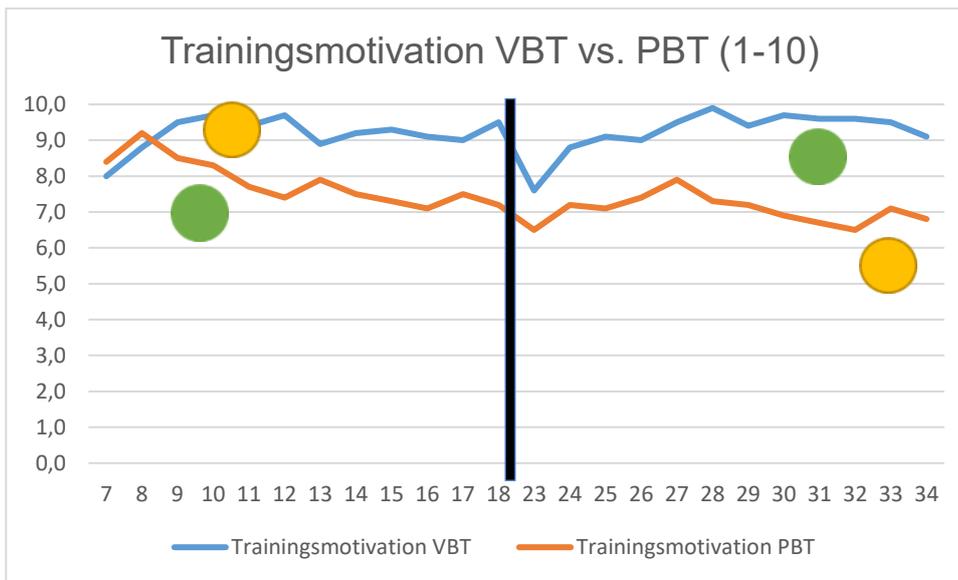
## 5.9 Trainingsmotivation

Vor den Krafttrainingseinheiten wurde die Trainingsmotivation der Probanden auf einer Skala von 1-10 abgefragt und dokumentiert. Dabei betrug die Trainingsmotivation im Intragruppen-Wochendurchschnitt 9,2 ( $\pm 0,53$ ) bei VBT und 7,4 ( $\pm 0,60$ ) bei PBT (Abbildung 84). Da im Studienverlauf signifikante Unterschiede der MW bezüglich der Trainingsmotivation von VBT und PBT entstanden, d.h. sowohl eine Signifikanz von  $p < 0,05$  als auch eine Effektstärke von  $r \geq 0,8$  in der Längsschnittentwicklung der Mittelwerte verzeichnet werden konnte, wird festgestellt, dass sich die Trainingsmotivation durch eine geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung im durchschnittlichen Vergleich der Mittelwerte signifikant erhöht im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung bei den Probanden aus dem Handballeistungssport. Die Diskrepanz zwischen den beiden Trainingsmethoden wurde tendentiell größer im Verlauf der jeweiligen Trainingsphasen. Hypothese 3.6 kann somit angenommen werden.

Tabelle 55: MW der Trainingsmotivation im Methodenvergleich

Methodik	VBT	PBT
MW Trainingsmotivation	9,2 ± 0,53	7,4 ± 0,60
Signifikanz (p) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,0000000001**	
Effektstärke (r) (MW-Unterschied VBT vs PBT)	0,846	

Legende: \* = p < 0,05; \*\* = p < 0,01; grün = r ≥ 0,8, gelb = r ≥ 0,5



Probanden	Woche 7-12	Woche 13-18	Woche 19-22	Woche 23-28	Woche 29-34
VG A	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT	Detraining	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT
VG B	Maxkraft PBT	Schnellkraft PBT	Detraining	Maxkraft VBT	Schnellkraft VBT

Legende: Gelber Kreis: VG A; Grüner Kreis: VG B; Blaue Linie: VBT; Orange Linie: PBT; Schwarzer Balken: Detraining

Abbildung 84: Trainingsmotivation im Wochendurchschnitt im Studienverlauf

## 5.10 Hypothesenübersicht

Die Hypothesen zur Auswirkung der geschwindigkeitsbasierten Kraftsteuerung im Vergleich zur prozentbasierten Belastungsgestaltung werden in Kapitel 3 auf den Seiten 63 bis 67 erläutert. Hier werden sie tabellarisch aufgeführt und das Maß für die Annahme oder Ablehnung der jeweiligen Hypothesen in Abhängigkeit von der Überschreitungswahrscheinlichkeit ( $p$ ) und dem Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation ( $r$ ) angegeben.

Tabelle 56: Hypothesenübersicht

*r*: Cohen's *d* in den Korrelationskoeffizienten der Pearson-Produkt-Momentkorrelation *r* umgerechnet nach McGrath und Meyer (2006).

Hypo- these #		Signi- fikanz T1-3	Signi- fikanz T2-3	Effekt- stärke T1-3	Effekt- stärke T2-3	Ergeb- nis
1.1	Maximalkraft (1RM) Frontkniebeuge VBT> PBT	-	-	-	-	
1.2	Relativkraft Frontkniebeuge VBT>PBT	-	-	-	-	
1.3	Maximalkraft (1RM) Bankdrücken VBT>PBT	-	-	-	-	
1.4	Relativkraft Bankdrücken VBT> PBT	-	-	-	-	
2.1	Schlagwurfgeschwindigkeit VBT>PBT	**	**	++	++	
2.2	20m Sprint VBT>PBT	**	**	++	++	
2.3	10m Sprint VBT>PBT	**	**	++	++	
2.4	5m Sprint VBT>PBT	**	**	++	++	
2.5	Drop Jump Sprunghöhe VBT>PBT	**	**	++	++	
2.6	Drop Jump Bodenkontaktzeit VBT>PBT	**	**	+	+	
2.7	Drop Jump Reaktivkraftindex VBT>PBT	**	**	+	++	
2.8	Countermovement Jump Sprunghöhe VBT>PBT	**	**	++	++	
2.9	Squat Jump Sprunghöhe VBT>PBT	**	**	++	++	
2.10	Standweitsprung VBT>PBT	**	**	++	++	
		Signifikanz be- obachteter Zeit- raum		Effektstärke be- obachteter Zeit- raum		
3.1	Morgendlicher Ruhepuls VBT<PBT	**		+		
3.2	Schlafdauer VBT>PBT	-		-		
3.3	Schlafqualität VBT>PBT	**		++		
3.4	Befindlichkeit VBT>PBT	**		++		
3.5	Beanspruchungsempfinden VBT>PBT	**		+		
3.6	Trainingsmotivation VBT>PBT	**		++		

Legende: Anmerkung: Die Annahme bzw. Ablehnung einer Hypothese ist abhängig von T1-3 bzw. T2-3, d.h. welche MW-Unterschiede eine gerichtete Überprüfung ergibt

$p < 0,05 = *$

$p < 0,01 = **$

$p > 0,05 = -$

$r \geq 0,8 = ++$

$r \geq 0,5 = +$

$r < 0,5 = -$

Hypothese kann angenommen werden ( $r > 0,8$ )

Hypothese kann angenommen werden ( $0,5 < r \leq 0,8$ )

Hypothese kann nicht angenommen werden

## 6 Diskussion

### 6.1 Methodendiskussion

#### 6.1.1 Auswahl der Stichprobe

Betreffend Datenerhebung, Messplatz und Aufbau, sowie Durchführung der Trainingsinterventionen und Leistungsdiagnostiken lagen jeweils standardisierte Bedingungen vor. Jedoch mussten hinsichtlich anfänglicher und abschließender Stichprobengröße Abstriche bzw. Ausfälle hingenommen werden. Eine Teilnahme der Bundesligamannschaft des begleitenden Vereins war organisatorisch nicht möglich. Zudem musste auf eine Studienteilnahme der B-Jugend (U17) und C-Jugend (U15) verzichtet werden, da eine Partizipation an den Krafttrainingseinheiten der betreffenden Athleten aufgrund schulischer Verpflichtungen nicht zu gewährleisten war. Somit beschränkte sich die Stichprobe auf die Spieler aus U19 und U23 des teilnehmenden Vereins (n=32). 4 Spieler wurden bereits vor Studienbeginn durch den Studienleiter von der Teilnahme ausgeschlossen, da sie nach Beendigung des Technikerwerbstrainings keine Frontkniebeuge gemäß den Kriterien der Untersuchung beherrschten und ausführen konnten. Im eigentlichen weiteren Studienverlauf fielen zudem 8 Spieler verletzungs- oder krankheitsbedingt aus, sodass insgesamt 20 Spieler (10 Probanden in VG A und 10 Probanden in VG B) zum Untersuchungsende einen vollständigen Datensatz inklusive sämtlicher Trainingsinterventionen, Leistungsdiagnostiken und Monitoring Daten aufwiesen. Die Drop-out Quote betrug demnach 28,5% und war damit deutlich geringer als eine Untersuchung aus dem Fußballsport, welche in einem vergleichbaren Zeitrahmen Drop-out Quoten von fast 50% feststellt (Casajus, 2001).

#### 6.1.2 Datenerfassung

Hinsichtlich der Messgenauigkeit der Untersuchungen sollten folgende Faktoren diskutiert werden: Die Datenerhebung der Schnellkraftparameter Squat Jump, Countermovement Jump und Drop Jump fand über ein Flug-Zeit-Verfahren statt. Gerade bei der Ermittlung der SJ-Ergebnisse ist hier mit einem kleinen Fehler zu rechnen, denn eine mögliche Auftaktbewegung eines Sportlers musste visuell kontrolliert werden. Die Spieler waren daher angehalten, mit enganliegender Kleidung die Tests durchzuführen, um eine mögliche Auftaktbewegung erkennen zu können und ggfs. den Sprung aus der Wertung zu nehmen. Die Tests wurden jeweils von demselben erfahrenen Leistungsdiagnostiker durchgeführt. Ebenso musste beim CMJ das Kontrollieren des 90-Grad-Kniewinkels und das Kontrollieren der parallelen Frontkniebeuge visuell durchgeführt werden. Die Probanden waren daher angehalten, mit enganliegender Kleidung die Tests durchzuführen. Die Tests wurden jeweils von demselben erfahrenen Leistungsdiagnostiker durchgeführt. Beim DJ war in erster Linie

darauf zu achten, dass die Probanden nicht die Fallhöhe verringern oder erhöhen durch Knieflexion im Standbein oder Abspringen vom Kasten. Auch ein „Nach-vorne-springen“ nach Bodenkontakt war unbedingt zu unterbinden, um einen möglichst vertikalen Kraftvektor dokumentieren zu können.

## 6.2 Ergebnisdiskussion

Die Daten der vorliegenden Untersuchung zeigen mitunter interessante Ergebnisse. Zwar zeigt sich im Gruppenvergleich kein signifikant leistungspositiver Effekt einer geschwindigkeitsorientierten Belastungssteuerung auf die Maximalkraftentwicklung der unteren und oberen Extremitäten, jedoch soll folgend auch auf die überlegene Entwicklung der Sportler, welche die geschwindigkeitsorientierte Trainingsmethodik verwendeten, in Bezug auf die Variablen des schnellen und langsamen DVZ eingegangen werden. Zudem sollen auch die Daten des Monitorings und ihr Zusammenhang mit der jeweiligen Leistungsentwicklung diskutiert werden.

## 6.3 Maximalkraftentwicklung

Die Daten der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass sich die Maximalkraftleistungen sowohl in der Beinstreckerkette, als auch innerhalb der horizontal drückenden Muskelschlingen des Oberkörpers, versuchsgruppenübergreifend und damit unabhängig von der Trainingsmethodik signifikant verbessert haben. Diese Daten sind literaturkonform und beweisen, dass ein gezieltes Widerstandstraining sich positiv auf die Maximalkraftfähigkeiten von Handballspielern auswirkt. Da die anthropometrische Entwicklung sowohl bezüglich der Körpergröße und des Körpergewichts keine Signifikanz im Verlauf T1-1 bis T2-3 aufweist, kann resümiert werden, dass der Faktor körperliche Entwicklung im Untersuchungskontext kein ausschlaggebender war. Da sich die Studienteilnehmer weitestgehend in der zweiten puberalen Phase (Adoleszenz) (Abbildung 10) befanden, ist davon auszugehen, dass die Wachstumsparameter und Entwicklungsparameter in diesem Zeitraum deutlich abnehmen bis zum Erliegen nach Abschluss der Adoleszenz (Büsch et al., 2017; Lloyd et al., 2015). Somit kann der Faktor körperliches Wachstum weitestgehend reduziert werden im Zusammenhang der Maximalkraftentwicklung im Studienverlauf.

### 6.3.1 1RM und REL Frontkniebeuge

Die Studienergebnisse zeigen im Längsschnitt Maximalkraftzuwächse von 18,5 Kg im Mittelwert (T1-1 bis T1-3) bzw. 21,0 Kg (T2-1 bis T2-3) bei VBT und 16,0 Kg (T1-1 bis T1-3) bzw. 11,7 Kg (T2-1 bis T2-3) bei PBT nach Abschluss von zwei, jeweils zwölfwöchiger, Trainingsinterventionen, bestehend aus jeweils 6 Wochen Maximalkrafttraining und 6 Wochen Schnellkrafttraining. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Maximalkraftentwicklung versuchsgruppenübergreifend im ergänzenden Krafttraining begründet ist. Ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die

Verbesserung des 1RM in der Grundübung Frontkniebeuge konnte zwischen den Trainingsmethoden des geschwindigkeitsorientierten und des prozentorientierten Krafttrainings nicht nachgewiesen werden. Analog zur Entwicklung des 1RM FKB wurden ebenso Verbesserungen in der REL FKB erzielt (VBT: +18,0% T1-1 bis T1-3 und +15,7% T2-1 bis T2-3; PBT +14,8% T1-1 bis T1-3 und +8,1% T2-1 bis T2-3). Auch in diesem Zusammenhang konnte kein signifikanter Leistungsunterschied zwischen den beiden Trainingsmethoden festgestellt werden. Das Technikerwerbstraining für die Frontkniebeuge muss grundsätzlich als leistungspositiv für den langfristigen Leistungsaufbau der Sportler bewertet werden, jedoch ist insbesondere die Ausprägung der exzentrischen Kontraktionsfähigkeiten durchaus kritisch zu bewerten in der Wechselwirkung zum schnellkräftigen Handballtraining oder allgemeinem aeroben Ausdauertraining während der Saisonvorbereitungsphase im Sommer.

### *6.3.2 1RM und REL Bankdrücken*

Die Studienergebnisse zeigen im Längsschnitt Maximalkraftzuwächse von 7,7 Kg (T1-1 bis T1-3) bzw. 16,7 Kg (T2-1 bis T2-3) bei VBT und 7,5 Kg (T1-1 bis T1-3) bzw. 9,5 Kg (T2-1 bis T2-3) bei PBT nach Abschluss von zwei, jeweils zwölfwöchiger, Trainingsinterventionen, bestehend aus jeweils 6 Wochen Maximalkrafttraining und 6 Wochen Schnellkrafttraining. Da die anthropometrischen Unterschiede im Längsschnitt keine Signifikanz aufwiesen, kann davon ausgegangen werden, dass die Maximalkraftentwicklung versuchsgruppenübergreifend im ergänzenden Krafttraining begründet ist. Ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Verbesserung des 1RM in der Grundübung Bankdrücken konnte zwischen den Trainingsmethoden des geschwindigkeitsorientierten und des prozentorientierten Krafttrainings nicht nachgewiesen werden. Analog zur Entwicklung des 1RM BD wurden ebenso Verbesserungen in der REL FKB erzielt (VBT: +8,0% T1-1 bis T1-3 und +15,8% T2-1 bis T2-3; PBT +1,0% T1-1 bis T1-3 und +8,2% T2-1 bis T2-3). Auch in diesem Zusammenhang konnte kein signifikanter Leistungsunterschied zwischen den beiden Trainingsmethoden festgestellt werden. Das innerhalb des Technikerwerbstrainings vermittelte Kontrollieren der LH auf der Brust und die damit einhergehende Eliminierung jeglichen DVZ war zunächst ein eher leistungsmindernder Faktor (im Vergleich zu Bankdruckleistungen aus vorherigen Trainingsjahren), ist jedoch nach Meinung des Autors als alternativlos zu erachten hinsichtlich der Verletzungsprophylaxe des Schultergelenks, sowie des langfristigen Leistungsaufbaus.

## 6.4 Schnell- und Reaktivkraftentwicklung

Die beim VBT explizit geschulte und rückgekoppelte Fähigkeit der MVC während unterschiedlicher Belastungen und Intensitätsbereiche ist als ein Leistungsfaktor zu benennen, der für die signifikant größeren Leistungsfortschritte der VBT-Gruppe bei sämtlichen schnell- und reaktivkräftigen Diagnostiken verantwortlich ist. Die versuchsgruppenübergreifend verschlechterten Diagnostikleistungen aus T2-1 im direkten Anschluss an die Detrainingsphase lassen auf einen nicht relevanten Einfluss des Handballtrainings bzw. der Wettkämpfe auf die angesprochenen Kraftfähigkeiten schließen. Grundsätzlich konnte der Einflussfaktor Handballspielen auf die genannten Parameter jedoch nur abgeschätzt werden, da ein studienbegleitendes Controlling des Handballtrainings bzw. der Wettkämpfe organisatorisch nicht zu bewerkstelligen war.

### 6.4.1 Sprint

Während eine Vielzahl von Studien (Baldersee et al., 2019; Möck et al., 2018; Möck et al., 2016; Sander et al., 2012; Styles et al., 2016) die leistungspositiven Effekte von bilateralen Front- und/oder Nackenkniebeugen auf lineare Beschleunigung beschreiben, welche in der vorliegenden Studie vorrangig beim VBT zum Tragen kamen, so besteht gegenwärtig keinerlei Literatur, welche den Effekt von VBT auf Sprintleistungen im Vergleich zum PBT untersucht. Ein Erklärungsansatz für die signifikant bessere Entwicklung der VBT Gruppen könnte der Zusammenhang eines spezifischeren Trainings der MVC, sowie der RFD beim VBT sein. Bei der Start- und Beschleunigungsphase des Sprints, zu welchen die 20 Meter inklusive 5m und 10m Zwischenzeiten gehören, sind die Kraftanstiegsrate (Haff et al., 2002; Mangine et al., 2017) und die maximale freiwillige konzentrische Kontraktion (Van Hooren et al., 2017; Miyamoto et al., 2011; Häkkinen & Keskinen, 1989) ebenfalls leistungsdeterminierende Faktoren. Naczek et al. (2010) wiesen in ihrer Studie zudem signifikante positive Korrelationen zwischen RFD und MVC und deren Trainierbarkeit nach. Zu diskutieren wären zudem eventuelle Lerneffekte der Probanden beim 20m Sprint. Einerseits sind diese im Verlauf der 6 Leistungsdiagnostiken nicht auszuschließen, andererseits erhielten die Sportler während ihrer Sprints keinerlei Coaching/Ausführungshinweise durch den Studienleiter und die jeweils drei 20m Sprints stellten in Relation zur wöchentlichen Anzahl an Sprints in Handballtraining und Spiel nur einen äußerst geringen Anteil an der Gesamtanforderung dar.

### 6.4.2 Horizontaler Sprung

Zwar stellt der Standweitsprung vornehmlich eine Überprüfung der Schnellkraftfähigkeiten der unteren Extremitäten dar, allerdings war die Zuhilfenahme eines Armeinsatzes gemäß den Testkriterien zulässig. Demnach ist die Fähigkeit einer maximalen Beschleunigung der oberen Extremitäten bei der untersuchten Variante des Standweitsprungs als leistungspositiv zu bewerten. Zwar konnte in der maximalen Bankdruckleistung kein signifikanter Unterschied zwischen VBT und PBT festgestellt

werden, aber die signifikanten Unterschiede in der Leistungsentwicklung beim Standwurf lassen, wenn auch biomechanisch weit voneinander entfernt, die Vermutung zu, dass neben der Schnellkraftfähigkeit der unteren Extremitäten auch die verbesserte RFD und MVC der Arme als Ursache für die verbesserte Standweitsprungleistung der VBT-Gruppe (mit Armeinsatz) in Betracht kommt. Die, im Vergleich zum PBT, signifikant größere Verbesserung der Sprungweiten (T1-1 bis T1-3: VBT + 33 cm vs PBT + 9 cm; T2-1 bis T2-3: VBT + 37 cm vs PBT + 5 cm) lässt sich darin vermuten, dass biomechanisch, insbesondere bezüglich der Veränderungen im Gelenkwinkel von Knie und Hüfte, der Standweitsprung am ehesten (aus dem Sortiment der verwendeten Diagnostiken) mit dem CMJ zu vergleichen ist, bzw. dessen „horizontales Pendant“ ist (Chu, 1996; Glencross, 1966; McArdle et al., 2000). Ein konkreter Vergleich der Biomechanik von SJ/CMJ und SWS vor dem Hintergrund einer Leistungsdiagnostik zur Überprüfung von vertikaler bzw. horizontaler Schnellkraftfähigkeit der unteren Extremitäten wurde bislang nicht publiziert.

### 6.4.3 Vertikaler Sprung

Auch die leistungssteigernde Wirkung von Maximal- und Schnellkrafttraining der unteren Extremitäten im Allgemeinen, sowie Frontkniebeugen im Speziellen auf vertikale Sprungleistungen wurde hinlänglich nachgewiesen (Balderree et al., 2019; Hori et al., 2008; Karcher & Buchheit, 2014a; Karcher & Buchheit, 2014b; Krüger et al., 2014; Keiner, 2014; Kotani & Hori, 2017). Die Einflussfaktoren DVZ und Exzentrik spielen beim Squat Jump eine rudimentäre Rolle. Somit bildet der SJ gewissermaßen eine Ausnahme im Kontext der Testbatterie, welche die schnell- und reaktivkräftige Leistungsfähigkeit der Spieler überprüfen sollte. Die Phase der Startkraft, welche während der initialen 30 ms der Konzentrik aufgebracht wird (Verkoshansky et al., 1975), spielt beim SJ aus der annähernden Ruhelage und mit nur sehr geringer kinetischer und elastischer Energie eine größere Rolle als bei den anderen Vertikalsprüngen. Gemäß Abbildung 4 wird die Startkraft in Bereichen  $< 25\%$  des 1RM bzw.  $> 1,3$  m/s durchschnittlicher konzentrischer Geschwindigkeit trainiert. Während des gesamten Studienverlaufs, wurde jedoch durchgehend schwerer/langsamer trainiert. Daher ist anzunehmen, dass die Verbesserung der Startkraft als „Nebenprodukt“ des Maximal- und Schnellkrafttrainings effektiver durch das VBT trainiert wurde (+15,9 cm T1-1 bis T1-3 bzw. +16,3 cm T2-1 bis T2-3 beim VBT und +3,9 cm T1-T3 bzw. +6,1 cm T2-1 bis T2-3 beim PBT). Von allen biomechanischen Sprungarten kommt der CMJ der natürlichen menschlichen Bewegung am nächsten und beinhaltet die Bewegung des ganzen Körpers. Unter Sprunghöhe versteht man eine maximale Anhebung des allgemeinen Schwerpunkts der springenden Person in der Flugphase gegenüber der Grundposition im Moment des Abhebens. Eine korrekte CMJ Sprungleistung besteht aus einem Aufsprung aus dem Stand, dem eine schnelle Beugung der unteren Extremitäten vorausgeht, und dem Abheben mit beiden Beinen. Das Testprotokoll schrieb eine fixierte Position der Hände an der Hüfte vor. Demnach war eine Kopplung von unteren und oberen Extremitäten stark limitiert. Die Schlüsselfaktoren, die den Wert der Endgeschwindigkeit des Abhebens und der

Sprunghöhe bestimmen, sind: die Fähigkeit, potentielle elastische Energie zu sammeln und zu nutzen, der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, die Rate der Muskelkontraktion und die Muskelkraft. Die Ausführung einer Gegenbewegung vor dem Start führt zu einer raschen Dehnung der Muskeln vor der Kontraktion, was diesen Muskeln hilft, potentielle elastische Energie zu akkumulieren und folglich mehr Arbeit in der Startphase zu leisten (Struzik & Pietraszewski, 2019). Die Trainingsmethode des VBT schien den größeren Stimulus für besagte Fähigkeiten erfahren zu haben (T1-1 bis T1-3: +13,0 cm bzw. T2-1 bis T2-3: +21,3 cm beim VBT und T1-1 bis T1-3: +2,4 cm bzw. T2-1 bis T2-3: +6,7 cm beim PBT). Im Zusammenhang des DJ aus 40 cm Höhe wurden die Parameter SH; BKZ und RKI untersucht. Neben der Sprunghöhe (T1-1 bis T1-3: +7,0 cm bzw. T2-1 bis T2-3: +11,9 cm beim VBT und T1-1 bis T1-3: +2,9 cm bzw. T2-1-T2-3: +2,8 cm beim PBT) erbrachte auch der Vergleich der Bodenkontaktzeiten (T1-1 bis T1-3: -28,3 ms bzw. T2-1 bis T2-3: -16,8 ms beim VBT und T1-1 bis T1-3: -15,2ms bzw. T2-1 bis T2-3: -6,2 ms beim PBT) teilweise signifikante Unterschiede in der Leistungsentwicklung der Versuchsgruppen. Da der Leistungsparameter Sprunghöhe aus dem DJ im Zusammenhang mit der Basisfähigkeit Maximalkraft zu bewerten ist (Schmidtbleicher, 1999) und darüber hinaus Schnellkraft als die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, in der zur Verfügung stehenden Zeit einen möglichst großen Impuls zu erzeugen, physikalisch ausgedrückt also einen möglichst großen Kraftstoß (Grosser et al., 2004) definierbar ist, lässt sich die signifikant größere Leistungsentwicklung hinsichtlich der erreichten Sprunghöhe durch eine verbesserte Reaktivfähigkeit, d.h. die Fähigkeit auf einen exzentrischen Reiz möglichst schnell und möglichst druckvoll zu reagieren (Komi, 1984). Genau diese Fähigkeit wurde für die Beinstreckerkette während der Maximal- und Schnellkraftinterventionen durch die Frontkniebeuge trainiert. Somit scheint die VBT-Gruppe durch die Prämisse, „so schnell wie möglich“ mit der Last aufzustehen, einen wirkungsvolleren Trainingsreiz erzielt zu haben als die PBT-Gruppe, welche zwar ebenfalls maximal- und schnellkräftig trainierte, aber durch die geringere Intention innerhalb der Ausführung eine geringere Adaption des neuromuskulären Systems erzielt zu haben scheint. Der Leistungsparameter Bodenkontaktzeit ist ebenfalls beeinflusst durch die Start- und Explosivkraft. Dadurch, dass das Kriterium für einen gültigen DJ eine BKZ von < 200 ms war, musste in eben diesem Zeitraum eine möglichst große vertikale Bodenreaktionskraft aufgebracht werden. Beide Trainingsinterventionen schulten die Explosivkraft und anteilig auch die Startkraft. Durch die geschwindigkeitsbasierte Belastungsgestaltung konnte beim VBT immer gewährleistet werden, dass eine, der Tagesform angemessene, Beanspruchung durchgeführt wurde und der entsprechende Trainingsreiz wirksamer vom neuromuskulären System empfangen wurde und dementsprechend die leistungswirksamen Kraftfähigkeiten effizienter trainiert wurden im Vergleich zum lastenbasierten Training. Als Koeffizient aus Sprunghöhe und Bodenkontaktzeit war die prozentuale Steigerung des RKI logischerweise bei der VBT Gruppe ebenfalls höher als bei der PBT Gruppe. Betrachtet man die MW im jeweils relevanten Versuchszeitraum dann zeigt sich, dass die VBT Gruppe im Zeitraum T1-1 bis T1-3 eine Mittelwertentwicklung des RKI von 1,74 auf

2,46, was einer Verbesserung von einem moderaten Level auf eine gut ausgeprägte Reaktivkraftfähigkeit entspricht (Beattie & Flanagan, 2015; Flanagan & Comins, 2008; Flanagan et al., 2008; Nuzzo et al., 2008). Im Zeitraum T2-1 (RKI = 1,76) bis T2-3 (RKI = 2,71) erreichte VBT eine Entwicklung von moderater auf hochausgeprägte Reaktivkraftfähigkeit. Im Vergleich gestaltete sich die PBT-Entwicklung wie folgt: T1-1 (1,64; moderat); T1-3 (1,93; moderat); T2-1 (1,83; moderat); T2-3 (2,04; gut ausgeprägt) (Flanagan, et al., 2008).

#### 6.4.4 Wurf

Neben den *technischen* und taktischen Fähigkeiten wird argumentiert, dass eine der, für den Erfolg im Handball erforderlichen, Schlüsselqualifikationen die Wurfleistung ist (Gorostiaga et al., 2006; Maques & Gonzalez-Badillo, 2006). Die handballspezifische motorische Zielbewegung des Schlagwurfes aus dem Stand verfügt im Sinne einer Leistungsdiagnostik wohl über die größten biomechanischen Freiheitsgrade in der Bewegungsausführung. Allerdings ist bei den Probanden aus dem Handballleistungssport nicht von einem ausschlaggebenden Lerneffekt bei der Wurfbewegung auszugehen. So sind die Leistungsentwicklungen bezüglich der erzielten Wurfgeschwindigkeiten eher hintergründig im Bereich einer technischen Weiterentwicklung des Wurfmechanismus zu vermuten. Während beide Versuchsgruppen einen jeweils sechswöchigen Block Maximal- und Schnellkrafttraining durchliefen, zeigten sich doch signifikante Unterschiede in der maximalen Wurfgeschwindigkeit zwischen VBT und PBT (VBT: T1-1 bis T1-3: +9,9 km/h bzw. T2-1 bis T2-3: +13,4 km/h und PBT: T1-1 bis T1-3: +1,1 km/h bzw. T2-1 bis T2-3: +2,8 km/h). Im Zusammenhang der Leistungsentwicklung im Standweitsprung wurden bereits die leistungspositiven Effekte einer Steigerung von RFD und MVC der oberen Extremitäten thematisiert. Während diverse Studien die Korrelation zwischen gesteigerter Kniebeugenleistung und gesteigerter vertikaler Sprungkraft nachweisen (Baldersee et al., 2019; Hori et al., 2005; Karcher et al., 2014; Krüger et al., 2014; Keiner, 2014; Kotani, et al., 2017), konnte ein Zusammenhang zwischen verbesserter Maximalkraftleistung im Bankdrücken und höherer Schlagwurfgeschwindigkeit mit einem Handball aus dem Stand bislang in einigen Untersuchungen nicht hergestellt werden (Alves & Marques, 2013; Hoff & Almasbakk, 1995; Marques, et al., 2007). Wiederum andere Untersuchungen konnten jedoch einen leistungsfördernden Effekt von einer Kombination aus Maximal- und Schnellkrafttraining auf einen Schlagwurf mit 3 Schritten Anlauf aufzeigen (Bautista et al., 2020) oder reinem Krafttraining im Schnellkraftbereich (Hermassi et al., 2019). Basierend auf den Erkenntnissen der aktuellen Literatur scheint die Problematik im Transfer der gesteigerten Maximalkraft im Langhantel Bankdrücken in die motorische Zielbewegung Schlagwurf begründet. Marques et al. (2007) berichten von erhöhten Schlagwurfgeschwindigkeiten in Folge eines achtwöchigen Bankdruckzyklus, in welchem die Belastungen im Bereich 40-70 % verbleiben. Machado et al. (2020) wiesen eine verbesserte Wurfgeschwindigkeit in Folge eines zehnwöchigen Rumpfkraftprogramms nach und Hoff et al (1995) konnten eine Verbesserung in der Wurfgeschwindigkeit in einer Versuchsgruppe feststellen, welche Bankdrücken im

NK-Bereich in Kombination mit LH-Überzügen ausführte. Die Versuchsgruppe konnte signifikant höhere Wurfgeschwindigkeiten erzielen im Vergleich zur Versuchsgruppe, welche ein reines NK-Training im Bankdrücken absolvierte. Im Kontext der vorliegenden Studie scheint die Ursache für die signifikant erhöhte Wurf<sub>max</sub> innerhalb der VBT auch im Bereich der oberen Extremitäten in der Verbesserung von RFD und MVC zu liegen. Zwar wurde per Studiendesign auch in der VBT Gruppe nicht ballistisch trainiert, d.h. auch diese Gruppe hatte am Endpunkt der konzentrischen Bankdruckbewegung eine exzentrische Abbremsbewegung. Zwar existiert diese beim Wurf nicht aber die Intention, die Last vollständig durch die Konzentrik hindurch zu beschleunigen, ist dennoch eine leistungsfördernde Komponente für den Schlagwurf.

## 6.5 Monitoringdaten

Diverse Monitoringsysteme sind im Profi- und Leistungssport bereits fest verankert, um das Verhältnis von Belastung und Beanspruchung zu dokumentieren und zu quantifizieren, sowie das individuelle Regenerationsmanagement der Athleten zu optimieren. Sowohl objektive Parameter (Herzfrequenzvariabilität, Ruhepuls, gelaufene Strecke, Sprintgeschwindigkeit, bewegte Last, durchschnittliche konzentrischen Bewegungsgeschwindigkeit etc.) als auch subjektive Parameter (Wohlbefinden, Belastungsempfinden, Trainingsmotivation, empfundene Schlafqualität etc.) bieten dem Trainer die Möglichkeit an den Stellschrauben Verletzungsprävention und Leistungsoptimierung zu drehen. Monitoring dient weniger dem Zweck, einen „gläsernen“ Athleten zu schaffen, sondern im Trainingsprozess Trends zu erkennen und die Wirksamkeit der verordneten Intervention kritisch hinterfragen zu können. Im Zuge der vorliegenden Untersuchung diente das Monitoring dem Zweck, ein Feedback der Probanden zu erhalten, welche Beanspruchung die jeweilige Belastung durch die beiden Trainingsmethoden hervorruft. Die Parameter der körperlichen und mentalen Regeneration [morgendlicher Ruhepuls (VBT:  $55,8 \pm 2,89$ ; PBT:  $63,9 \pm 5,76$ ), Schlafqualität (VBT:  $8,65 \pm 0,86$ ; PBT:  $6,03 \pm 0,91$ ), morgendliche Befindlichkeit (VBT:  $8,61 \pm 0,76$ ; PBT:  $6,06 \pm 0,90$ ) wiesen alle signifikant ( $p < 0,05$ ) „bessere“ Mittelwerte beim VBT im Vergleich zum PBT auf. Ein signifikanter Unterschied bei den MW der Schlafdauer bestand nicht (VBT:  $7,09 \pm 0,40$ ; PBT:  $7,24 \pm 0,63$ ). Die Ruheherzfrequenz kann für ausgewählte Individuen als kurzfristig reagierendes Integral von sportlichen und außersportlichen Stressoren sowie inadäquater Regeneration einen diagnostischen Parameter mit einer ausreichenden Aussagekraft darstellen (Gilman, 1996; Rowell, 1974). Jedoch ist allein mit der Ruheherzfrequenz allein keine Aussage über die, durch die jeweilige Intensitätsgestaltung (VBT vs PBT) induzierte, Belastung bzw. die Regeneration von dieser möglich. In ihrer Studie haben Ramos-Campo et al. (2020) den Effekt unterschiedlicher Ausbelastungen im Krafttraining männlicher krafttrainingserfahrener Probanden untersucht. Die Versuchsgruppen trainierten im Kreuzstudiendesign mit dem gleichen Übungsgut an Langhantelübungen, jedoch trainierte eine Gruppe jeweils bis zum Muskelversagen und die andere Gruppe

gemäß RIR 2, d.h. bis zu einer Wiederholungszahl von 2 Wiederholungen bis zum Muskelversagen. Im Intergruppenvergleich konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der subjektiv empfundenen Schlafqualität festgestellt werden. Ein Krafttraining bis zum Muskelversagen resultiert nachweislich nicht unbedingt in einer Leistungsentwicklung bzw. kann mitunter auch kontraproduktive Resultate hervorbringen (Davies et al., 2016; Peterson et al., 2004). In dem Studienmodell dieser Dissertation wurde der Fokus in den beiden Versuchsgruppen weniger auf eine muskuläre Ausbelastung der Probanden gelegt, sondern verstärkt auf die Intention mit jeder Wiederholung MVC zu erzielen und auszubilden. Der subjektiv empfundenen Schlafqualität zufolge ging dies mit einer verbesserten Schlafqualität einher. Eine mögliche Erklärung ist, die Inkorporation des tagesaktuellen 1RM als Belastungskennziffer beim VBT während die PBT-Gruppe womöglich in der Trainingsbelastung über- oder unterfordert wurde, da sich ihre prozentualen Belastungen auf ein bis zu sechs Wochen altes 1RM bezogen, welches Stress, muskuläre Ermüdung, Ermüdung des ZNS etc. nicht in Betracht zog. Die positiven Auswirkungen von Sport auf die Befindlichkeit des Individuums sind hinlänglich bekannt (Alfermann & Stoll, 2000; Alfermann et al., 1995; Biddle, 2006; Carless & Faulkner, 2003). Auch im Leistungssport ist das Befinden der Sportler ein wichtiger Parameter geworden. Durch einen regelmäßigen Einsatz der Befindlichkeitserhebung kann die Befindlichkeit z.B. zur Trainingssteuerung herangezogen werden (Ferber, 1998; Kellmann & Golenia, 2003). So kann zum einen rückblickend dokumentiert werden, wie beanspruchend vorangegangene Trainingseinheiten waren. Die erlebte Wirkung der Belastung wird durch die Befindlichkeitsangabe verdeutlicht. Zum anderen kann die aktuelle Tagesform im Trainingsprogramm berücksichtigt werden, damit das Training einen möglichst hohen Wirkungsgrad erzielt (Hottenrott, 2007). Des Weiteren unterstützt eine systematische Erfassung der Befindlichkeit die Vorbeugung von Übertrainingszuständen (Birrer, 2002; Urhausen & Kindermann, 2000). Nach Knechtle (2002) ist die Befindlichkeit sogar das empfindlichste Kriterium für die frühe Diagnosestellung eines Übertrainingssyndroms. Die Befindlichkeitsergebnisse können dazu dienen, das Übertrainingssyndrom abzuwenden, indem frühzeitig Erholungspausen eingelegt werden (Kellmann, 2002). Neben der Trainingssteuerung und der Vorbeugung von Übertrainingszuständen ist die Befindlichkeit auch relevant für die Aufdeckung von Verletzungsdispositionen (Andersen & Williams, 1999; Kleinert, 2007a; Lavalley & Flint, 1996; Van Mechelen et al., 1996; Williams et al., 1993). Nimmt man nun die signifikanten Unterschiede der Mittelwerte der Befindlichkeit beider Trainingsmethoden als Indikator für die Wahrscheinlichkeit einer Überlastung oder eines Übertrainings in Folge einer zu hohen Belastung durch unpräzise Intensitätsvorgaben, so ist diese Wahrscheinlichkeit bei der PBT Gruppe signifikant größer als beim VBT. Das sRPE hat sich als Indikator der Belastungssteuerung im Zusammenhang des Verhältnisses von akuter zu chronischer Belastung etabliert (Gabbet, 2016). So wird die einzelne Trainingseinheit bzw. Trainingswoche unter den Gesichtspunkten des subjektiven Belastungsempfindens durch den Sportler in Relation zu dessen subjektiver Bewertung der letzten vier Wochen gesetzt, um eventuelle Überbelastungen und deren

Nebeneffekt bereits präventiv vermeiden zu können. Im Kontext der vorliegenden Untersuchung bewerteten die Probanden die Trainingseinheiten des VBT als teilweise signifikant anstrengender verglichen mit den PBT-Einheiten (VBT:  $8,77 \pm 0,48$ ; PBT:  $7,60 \pm 1,16$ ). Demnach wurde die einzelne Trainingseinheit als vergleichsweise belastender empfunden, allerdings weisen die Daten aus den Regenerationsparametern (Befindlichkeit, Schlafqualität, Ruheherzfrequenz) darauf hin, dass die punktuell größere Anstrengung nicht zu einer verminderten Belastungsverträglichkeit führte. Hinsichtlich der Trainingsmotivation berichteten die Athleten, welche nach VBT trainierten von einer signifikant höheren Motivation vor dem Training (VBT:  $9,22 \pm 0,53$ ; PBT:  $7,43 \pm 0,60$ ). Die vehement gesteigerte Motivation lässt sich vermutlich auf die Gruppendynamik inklusive Konkurrenzsituation im Mannschaftskreis zurückführen. In diesem Zuge waren die Probanden stets darauf fokussiert, ihre Lasten mit einer größeren Bewegungsgeschwindigkeit zu bewältigen als ihre Mannschaftskollegen, was wiederum zu einer weitaus größeren Intention, MVC und RFD führte.

## 6.6 Einflussfaktor autoreglatives Feedback

Das vermutlich größte Problem mit der Verwendung von 1RM-Prozentsätzen liegt in deren eher willkürlichem Ansatz für Trainingsbelastungen, da sie eine gleichbleibende Trainingsbereitschaft des Athleten auf täglicher Basis voraussetzt. Die tatsächliche, tägliche Trainingsbereitschaft eines Athleten kann durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden: Biologische Variabilität, akkumulierte Müdigkeit, Ernährung, Schlaf, allgemeine Lebensstil-Stressfaktoren und Trainingsmotivation (Jovanovic & Flanagan, 2014; Sands et al., 2016). Wie von Siff (2000) festgestellt, "lässt uns die Verwendung von numerischen Berechnungen als einzigem Deskriptor der Belastung oft die Tatsache übersehen, dass scheinbar objektive Maßnahmen nicht berücksichtigen, dass die subjektive Wahrnehmung des Athleten von der Intensität und Gesamtauswirkungen der Belastung täglich variiert". Es kann daher argumentiert werden, dass die Verwendung von 1RM-Prozentsätzen, um die Krafttrainingsintensität zu diktieren, einen suboptimalen Ansatz zur Entwicklung von jeglichen Kraftfähigkeiten darstellt. Auch ohne die Messung von Hantelgeschwindigkeiten bestehen diverse progressive autoregulative Systeme zur Intensitätsgestaltung im Krafttraining. Autoreglatives Krafttraining kann als tägliche wellenförmige Periodisierung, welche sich der täglichen Trainingsbereitschaft (readiness) des Athleten anpasst, definiert werden (Siff, 2000). All diese autoregulativen Trainingssysteme haben die Gemeinsamkeit, dass, je nach Trainingsziel, der erste Trainingssatz in seiner Intensität vorgegeben wird, nicht jedoch die Wiederholungsanzahl. Demnach reguliert die Leistung des Sportlers, seine absolvierten Wiederholungen, mit der vorgegebenen Last das Gewicht des nächsten Trainingssatzes. So reguliert sich im Verlauf der Trainingseinheit die Trainingslast automatisch nach oben oder unten, abhängig von der Tagesform des Trainierenden (DeLorme, 1945; Knight, 1979; Mann et al., 2010; Siff, 2000). Tabelle 61 zeigt beispielhaft das APRE (Autoregulatory progressive

resistance exercise) nach Mann (2010). In diesem Beispiel werden die Lasten von Satz 4 basierend auf den Wiederholungen aus Satz 3 autoreguliert.

Tabelle 57: APRE-System nach Mann, 2010

3 RM Protocol		6 RM Protocol		10 RM Protocol	
Set 3 Repetitions	Set 4 Load Adjustment (lb)	Set 3 Repetitions	Set 4 Load Adjustment (lb)	Set 3 Repetitions	Set 4 Load Adjustment (lb)
0	-5 to -10	0-2	-5 to -10	0-3	-5 to -10
1	0 to -5	3-4	0 to -5	4-7	0 to -5
2-4	No change	5-7	No change	8-12	No change
5-7	+5 to +10	8-12	+5 to +10	13-17	+5 to +10
8+	+10 to +15	13+	+10 to +15	17+	+10 to +15

Das APRE System lässt Belastungssteuerungen durch 3RM, 6RM und 10RM Protokoll zu abhängig vom Trainingsziel. Die erreichte Wiederholungsanzahl im 3. Satz determiniert die Gewichtsanzpassung für den 4. Und damit letzten Trainingssatz.

Der autoregulative Charakter des VBT spielt sich in erster Linie im Zusammenhang der neuromuskulären Ermüdung ab (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Neuromuskuläre Ermüdung ist ein komplexes multifaktorielles Phänomen, welches typischerweise zu einer Reduzierung der Fähigkeit zur Krafterzeugung, Muskelfaserverkürzung, Bewegungsgeschwindigkeit und Leistung führt (Enoka & Duchateau, 2008). Angesichts der Tatsache, dass die Bewegungsgeschwindigkeit als genaue Vorhersage Trainingsintensität und als objektiver Indikator für neuromuskuläre Müdigkeit fungiert, wird vorgeschlagen, dass die Verwendung von geschwindigkeitsbasiertem Krafttraining die optimale Autoregulierung und Individualisierung der Trainingsbelastung und des Trainingsumfangs gewährleistet. Dies ist nicht nur abhängig vom gewünschten Trainingsergebnis/-reiz, sondern auch von der tagesaktuellen Trainingsbereitschaft des Sportlers. Obwohl das 1RM im Laufe der Zeit schwanken kann, sind MVT und %1RM Bewegungsgeschwindigkeiten erwiesenermaßen relativ konstant (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Mann et al., 2015). Um die Trainingsbelastung zu optimieren und die Auswirkungen von neuromuskulärer Ermüdung zu minimieren, empfiehlt es sich, Geschwindigkeitsbereiche für das Training vorzugeben, welche auf dem Trainingsziel des Trainierenden bzw. der zu trainierenden Krafftätigkeit basiert. Die beschriebenen Geschwindigkeitszonen bzw. „Leitplanken“ für das Trainingsziel unter den tagesaktuellen Voraussetzungen des individuellen Probanden waren im Studienmodell beim VBT gegeben.

### 6.6.1 Externe vs interne Coaching-Hinweise vs Feedback

Ein Trainer hat beim Coaching seines Athleten stets die Möglichkeit, an dessen inneren oder äußeren Fokus zu appellieren. Man nennt dies im englischsprachigen Raum *internal* oder *external cues* (Hinweise). Interne Coaching-Hinweise weisen den Athleten an, seine Aufmerksamkeit auf die mit der Fertigkeit verbundenen Körperbewegungen zu richten (Winkelman, 2020). Interne Cue-Beispiele umfassen: „Beuge deine Hüfte“, „Strecke Dich aggressiv an Knöchel, Knie und Hüfte“ oder „Führe einen kräftigen Tritt durch das Strecken deines Knies aus“. Bei dieser Art von Hinweisen besteht die Gemeinsamkeit darin, dass sich der Trainer immer auf einen Körperteil oder Körperteile bezieht, unabhängig davon, ob es sich dabei um die Hüfte, das Knie oder den Knöchel handelt; obwohl dies nicht nur für diese isoliert ist und für jeden Körperteil gilt. Es wird angenommen, dass diese Art von Hinweisen die automatischen Kontroll-/Bewegungsabläufe des Athleten stören können, da sie den Athleten dazu anleiten, die Bewegung seines Körpers bewusst zu organisieren (Wulf et al., 2001a; Wulf & Prinz, 2001b). Im Krafttraining während der vorliegenden Studie erhielten alle Sportler versuchsgruppenübergreifend, wenn auch sparsam verwendet, interne Coaching-Hinweise. Externe Coaching-Hinweise weisen den Athleten an, seine Aufmerksamkeit auf den Bewegungseffekt oder das mit der Fertigkeit verbundene Ergebnis zu richten (Winkelman, 2020). Externe Cue-Beispiele umfassen: „Während der Beschleunigungsphase lang und niedrig bleiben“, „Den Boden wegdrücken“, „Den Boden absorbieren“ oder „Nach oben zur Decke explodieren“. Auch externe Coaching-Hinweise wurden, deutlich häufiger, versuchsgruppenübergreifend verwendet. Der Unterschied zwischen VBT und PBT im Coaching durch den Studienleiter lag in der Form des Feedbacks. Jeder Sportler erhielt während seiner VBT Trainingseinheiten nach jeder einzelnen Wiederholung ein unmittelbares visuelles und akustisches Feedback durch den Vmaxpro-Sensor über seine soeben erbrachte Leistung, d.h. seine gezeigte Bewegungsgeschwindigkeit. Die Verwendung von Feedback während des Trainings ist ein wirkungsvolles Instrument zur akuten Leistungssteigerung und Anpassung. Obwohl Feedback in vielen Formen auftreten kann, zeigen visuelle und akustische Rückmeldung der Hantelgeschwindigkeiten am meisten Potential für Leistungssteigerungen (Argus et al., 2011; Keller et al., 2014; Nagata et al., 2018; Weakley et al., 2018; Weakley, J., Wilson, K., Till, K., Banyard, H., Dyson, J., Phibbs, P., Read, D. und Jones, B., 2018; Weakley et al., 2019; Wilson et al., 2017). Es hat sich gezeigt, dass diese Formen des Feedbacks Leistungsverbesserungen bewirken bei Männern (Weakley et al., 2019) und Frauen (Weakley et al., 2018), Erwachsenen (Weakley et al., 2018), Heranwachsenden (Weakley, 2018; Weakley et al., 2019), Profisportlern (Argus et al., 2011; Nagata et al., 2018) und Amateursportlern (Keller et al., 2014). Diese Verbesserungen treten einzig unmittelbar während des Trainings ein (Weakley et al., 2018; Weakley et al., 2019). Wird das gegebene Feedback dem Athleten nicht länger zur Verfügung gestellt, kehrt die Leistung zurück auf das Ausgangsniveau (Keller et al., 2014). Diese Leistungsverbesserungen erscheinen psychologischer Natur zu sein, bedingt durch eine Steigerung von Motivation und Wettbewerbsfähigkeit, erzielt durch die Rückmeldung der

Geschwindigkeitsleistung (Weakley et al., 2018; Weakley et al., 2019; Weakley et al., 2020; Wilson et al., 2018; Wilson et al., 2017). Obwohl ein Geschwindigkeitsfeedback im Rahmen der Trainingsroutine leicht gegeben werden kann, ist die Häufigkeit, die Art und Weise der Durchführung, und Persönlichkeit des Sportlers in Betracht zu ziehen. Eine aktuelle Untersuchung (Nagata et al., 2018) hat gezeigt, dass verschiedene Modi der Rückmeldung Leistungsanpassungen beeinflussen. Nagata et al. (2018) haben sofortige Verbesserungen, sowie langfristige physiologische Adaptationen der Sprungfähigkeit unter Last nachgewiesen, wenn die verbale Rückmeldung der Hantelgeschwindigkeit nach jeder Wiederholung geliefert wurde. Dieses unmittelbare akustische Feedback wurde mit der Bereitstellung der durchschnittlichen Geschwindigkeit des Satzes oder einer visuellen Aufzeichnung des Satzes verglichen und für signifikant leistungspositiver befunden. Außerdem ist es anerkannt, dass Athleten möglicherweise eine Präferenz besitzen, ob sie visuell oder verbal über ihre Leistungsergebnisse informiert werden wollen bzw. aus trainingsmethodischer Sicht sollten (Weakley et al., 2018). Diese Unterschiede können auf inhärente oder extrinsische Motivationsfaktoren, d.h. Wettbewerb innerhalb oder zwischen Sportlern und Grad der Gewissenhaftigkeit der Athleten (Weakley et al., 2018) zurückzuführen sein. Es ist jedoch anzumerken, dass bei Athleten mit niedrigem Gewissenhaftigkeitslevel verbal ermutigende Aussagen nach jeder Wiederholung den größten Leistungseffekt hervorbringen (Weakley et al., 2018). Schließlich ist bekannt, dass die chronische Abgabe von Feedback während des Trainings von erheblichem Nutzen sein kann. Über einen sechswöchigen Zeitraum gaben Randell et al. (2011) entweder Feedback oder kein Feedback im Anschluss jeder Wiederholung von Langhantelsprüngen. Die Forschergruppe beobachtete geringe bis moderate Verbesserungen beim Standweitsprung ( $r = 0,28$ ) und 30 m Sprintleistung ( $r = 0,46$ ). Darüber hinaus fanden Weakley et al. (2019) größere Verbesserungen in 10 m und 20 m Sprintleistung ( $r = 0,69$  bzw.  $0,71$ ), Sprung Höhe ( $r = 0,21$ ), und 3RM Nackenkniebeuge und 3RM Bankdrücken ( $r = 0,28$  bzw.  $0,21$ ) im Zusammenhang mit einer akustischen Rückmeldung der Bewegungsgeschwindigkeit nach jeder Wiederholung jeder Übung über einen vierwöchigen Mesozyklus. Leistungspositive Effekte für die Applikation von VBT im Zusammenspiel mit Feedback für den Athleten beinhalten somit eine gesteigerte Trainingsmotivation, Wettbewerbsfähigkeit und eine unmittelbare Rückkopplung der tatsächlich produzierten Kraft ( $m * v$ ).

## 6.7 Limitationen der Studie

Die Nachhaltigkeit, bzw. die residual effects einer bewirkten Adaption sind von besonderer Bedeutung für eine erfolgreiche Periodisierung insbesondere im Rahmen einer Blockperiodisierung (Bondarchuck, 1986; Counsilman, B. & Counsilman, J., 1991; Issurin, 2010; Issurin & Kaverin, 1985; Slobounov, 2008). Vor diesem Hintergrund wäre die Frage nach der Nachhaltigkeit der Trainingsmethodik des VBT von großem Interesse. Durch den Covid-19 bedingten Entfall einer zweiten vierwöchigen Detrainingsphase mit anschließender Abschlussdiagnostik (T3-1) war diese Komponente des Kreuzstudiendesigns leider nicht durchführbar. Es lässt sich demnach keine Aussage treffen bezüglich der Differenzen der jeweiligen Resteffekte im Vergleich von VBT und PBT. Ebenso war eine Dokumentation der betreffenden Monitoringdaten aufgrund mangelnder compliance der Probanden nicht durchführbar, d.h. im Detrainingszeitraum waren nicht ausreichend vollständige Datensätze vorhanden. Wie bereits erwähnt, wurde die Einflussgröße Handballspielen nicht dokumentiert und kann daher als Parameter nur abgeschätzt werden. Genauso wurde der Parameter Ernährung nicht dokumentiert oder kontrolliert und konnte, insbesondere in seiner Rolle für die Regeneration der Probanden, nicht quantifiziert werden. Zudem wurde die Einteilung der Versuchsgruppen so vorgenommen, dass, basierend auf den Ergebnissen von T1-1, zwei möglichst parallele Gruppen bezüglich ihrer Maximalkraftfähigkeit in der Frontkniebeuge entstehen. Keine Berücksichtigung fanden hierbei eventuelle Unterschiede im Muskelfaserspektrum der einzelnen Probanden, d.h. der Studienleiter kann keine Aussage darüber treffen, wie sich die Versuchsgruppen zusammensetzten bezüglich ihrer Trainierbarkeit von maximal-, schnell- oder reaktivkräftigen Reizen. Der ausschlaggebende Faktor für die Wahl der Maximalkraftleistung in der Frontkniebeuge aus T1-1 war die Tatsache, dass neben dem sechswöchigen Technikerwerbstraining die Testübung FKB ebenfalls eine Trainingsübung über 24 Wochen bzw. 48 Trainingseinheiten, war und der Lerneffekt bei der Frontkniebeuge in Folge der hohen Kontinuität als geringer einzuschätzen war als die potentiellen Lerneffekte in Sprint, Sprung oder Wurf, welche in dieser Reinform neben dem Handballtraining nur bei T1-1 bis T2-3 auftauchten. Eine Anpassung des Gewichts des ersten Arbeitssatzes anhand der Geschwindigkeiten der Erwärmsätze wurde aus Gründen der Vereinfachung des Studiendesigns für die Sportler und der Notwendigkeit, die gesamte Trainingszeit von 90 Minuten nicht zu überschreiten (Schulpflicht) nicht verwendet. Eine zusätzliche tagesaktuelle Anpassung des Gewichts aller Arbeitssätze ist definitiv wünschenswert und sollte in zukünftigen Untersuchungen unbedingt verankert werden. Eine Reduktion im Umfang von Erwärmung und Nachbereitung könnte eine Möglichkeit darstellen Zeit für zusätzliche Messungen zu generieren.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine geschwindigkeitsorientierte Belastungssteuerung des Krafttrainings für signifikante leistungspositive Entwicklungen bei Handballern aus dem Leistungssportbereich im Kontext der Schnell- und Reaktivkraftfähigkeiten im Vergleich zu einer Belastungssteuerung, welche auf einem Prozentsatz des 1RM basiert. Während das VBT für einen signifikanten Leistungszuwachs im sportartrelevanten Bereich von Sprint, Sprung und Wurf sorgte, können keine signifikanten Unterschiede in der Maximal- und Relativkraftentwicklung in der Frontkniebeuge und beim Bankdrücken im Vergleich zum PBT vermerkt werden. Auch innerhalb der Monitoring- bzw. Regenerationsparameter Ruheherzfrequenz, Schlafqualität und Befindlichkeit wiesen Mittelwerte auf, welche ein signifikant regeneriertes Belastungsniveau induzieren. Kein signifikanter Unterschied konnte hinsichtlich der Schlafdauer zwischen VBT und PBT festgestellt werden. Die Trainingsmotivation war signifikant gesteigert innerhalb des VBT gegenüber dem PBT während das VBT in einer deutlich höheren sRPE resultierte. Als Praxisableitung lässt sich festhalten, dass VBT Bewegungsgeschwindigkeit verwendet, um zur Information über den Trainingszustand beizutragen oder die Möglichkeit eine Belastungsanpassung vorzunehmen. Es kann als ein Werkzeug implementiert werden, das zusätzlich innerhalb der Verwendung traditioneller prozentbasierter Methoden unterstützt (z.B. durch die Bereitstellung von Feedback), oder es kann zur Autoregulierung des Trainings selbst verwendet werden, indem es Belastung und Beanspruchung für jeden Athleten autoreguliert. Ein wichtiger Gesichtspunkt für den (Athletik-)Trainer ist die Validität des verwendeten Messsystems. (Athletik-)Trainer sollten eine regelmäßige Überwachung der Geschwindigkeit in Betracht ziehen zur objektiven Überwachung von Veränderungen der Bereitschaft/Ermüdung der Athleten. Dies könnte zu Beginn eines Trainings durchgeführt werden. Durch Überwachung der typischen tagtäglichen Schwankungen der Geschwindigkeit (z.B. Ausreißer oberhalb/unterhalb des individuellen KI) können in Echtzeit Anpassungen an der laufenden Trainingseinheit vorgenommen werden (z.B. Aktualisierung des Tages-1RM oder zu bewegendere Trainingslasten innerhalb eines Geschwindigkeitskorridors). Auf diesem Wege bekommen (Athletik-)Trainer tagesaktuell einen objektiven Einblick in die Wirksamkeit ihres Trainingsprogramms und den Zustand ihrer Sportler. Zukünftige Studien sollten die Wirksamkeit von VBT in größeren Versuchsgruppen, sowie sportartübergreifend über längere Trainingszeiträume überprüfen. Zudem ist die Nachhaltigkeit der erzielten Leistungsentwicklungen von großem sportwissenschaftlichem Interesse.

## 8 Literaturverzeichnis

- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (1998). Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(8), 1217–1222. <https://doi.org/10.1097/00005768-199808000-00006>
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Halkjaer-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: Effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 89(6), 2249–2257. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.6.2249>
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 93(4), 1318–1326. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00283.2002>
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptation to resistance training: Changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 92(6), 2309–2318. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01185.2001>
- Abe, T., DeHoyos, D. V., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81(3), 174–180. <https://doi.org/10.1007/s004210050027>
- Abernethy, P. J., Jürimäe, J., Logan, P. A., Taylor, A. W., & Thayer, R. E. (1994). Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 17(1), 22–38. <https://doi.org/10.2165/00007256-199417010-00003>
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 555–563. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0833-3>
- Al Attar, W. S. A., Soomro, N., Sinclair, P. J., Pappas, E., & Sanders, R. H. (2017). Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47(5), 907–916. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0638-2>
- Alfermann, D., & Stoll, O. (2000). Effects of physical exercise on self-concept and well-being. *International Journal of Sport Psychology*, 31(1), 47–65.
- Alfermann, D., Stoll, O., Wagner, S. und Wagner, P., 1995. Auswirkungen des Sporttreibens auf Selbstkonzept und Wohlbefinden. Ergebnisse eines kontrollierten Feldexperiments. In Schlicht, W. & Schwenkmezger, P. (Hrsg.). *Gesundheitsverhalten und Bewegung: Grundlagen, Konzepte und empirische Befunde* (S. 95-111). Schorndorf: Hofmann.
- Allerheiligen, B. (2003). In-Season Strength Training for Power Athletes. *Strength and Conditioning Journal*, 25(3), 23–28. <https://doi.org/10.1519/00126548-200306000-00004>
- Allerheiligen, B. (2003). In-Season Strength Training for Power Athletes. *Strength and Conditioning Journal*, 25(3), 23–28. <https://doi.org/10.1519/00126548-200306000-00004>
- Alves, A., & Marques, M. C. (2013). Throwing velocity predictors in elite team handball players. *Journal of Human Sport & Exercise*, 8(3), 877–880. <https://doi.org/10.4100/jhse.2013.83.12>
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., & Aagaard, P. (2005). Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 93(5-6), 511–518. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1297-9>
- Andersen, M. B., & Williams, J. M. (1999). Athletic injury, psychosocial factors and perceptual changes during stress. *Journal of Sports Sciences*, 17(9), 735–741. <https://doi.org/10.1080/026404199365597>

- Arabatzis, F., Kellis, E., & Saèz-Saez De Villarreal, E. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2440–2448. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e274ab>
- Argus, C. K., Gill, N. D., Keogh, J. W., & Hopkins, W. G. (2011). Acute effects of verbal feedback on upper-body performance in elite athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3282–3287. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182133b8c>
- Atha, J. (1981). Strengthening muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9, 1–73.
- Augustsson, J., Esko, A., Thomeé, R., & Svantesson, U. (1998). Weight training of the thigh muscles using closed vs. Open kinetic chain exercises: A comparison of performance enhancement. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 27(1), 3–8. <https://doi.org/10.2519/jospt.1998.27.1.3>
- Augustsson, S. R. (2013). Maximum Strength in Squats Determines Jumping Height in Young Female Volleyball Players. *The Open Sports Sciences Journal*, 6(1), 41–46. <https://doi.org/10.2174/1875399X01306010041>
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning* (3rd ed.). Human Kinetics.
- Baker, D. (1996). Improving Vertical Jump Performance Through General, Special, and Specific Strength Training: A Brief Review. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(2), 131. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1996\)010<0131:IVJPTG>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1996)010<0131:IVJPTG>2.3.CO;2)
- Baker, D. (2001). Acute and Long-Term Power Responses to Power Training: Observations on the Training of an Elite Power Athlete. *Strength and Conditioning Journal*, 23(1), 47. [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2001\)023<0047:AALTPR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2001)023<0047:AALTPR>2.0.CO;2)
- Baker, D., & Nance, S. (1999). The Relation Between Running Speed and Measures of Strength and Power in Professional Rugby League Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 230. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1999\)013<0230:TRBRSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1999)013<0230:TRBRSA>2.0.CO;2)
- Baker, D., & Newton, R. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 153–158. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f9519>
- Baker, D., & Newton, R. U. (2008). Observation of 4-year adaptations in lower body maximal strength and power output in professional rugby league players. *J Aust Strength Cond*, 16(1), 3–10.
- Baker, D., & Newton, R. U. (2008). Six-year changes in upper-body maximum strength and power in experienced strength-power athletes. *J Aust Strength Cond*, 16, 4–10.
- Baldersee, A. S., & DeBeliso, M. (2019). The Effects of Back Squats and Front Squats on Sprint Speed and Vertical Jump within Active Individuals. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(Supplement), 953–954. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000563360.46395.A1>
- Banyard, H. G., Tufano, J. J., Weakley, J., Wu, S., Jukic, I. & Kazunori, N. (2020). Superior Changes in Loaded Jump, Sprint and Change of Direction Performance but not Maximal Strength Following Six Weeks of Velocity-Based Training compared to 1RM- Percent-Based Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 16(2). DOI: 10.1123/ijsp.2019-0999
- Bautista, I. J., Vicente-Mampel, J., Baraja-Vegas, L., & Martínez, I. (2020). Relación entre la potencia y velocidad en press de banca y la velocidad de lanzamiento de balón en jugadores profesionales de balonmano (Relationship between barbell power and velocity in bench press exercise and ball throwing velocity in professional ha. *Retos*(40), 53–59. <https://doi.org/10.47197/retos.v1i40.82710>
- Beattie, K., & Flanagan, E.P. (2015). Establishing the reliability & meaningful change of the drop-jump reactive-strength index. *J Aust Strength Cond*, 23(5), 12–18.

- Berger, R. A. (1962). Optimum Repetitions for the Development of Strength. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 33(3), 334–338. <https://doi.org/10.1080/10671188.1962.10616460>
- Biddle, S. (2006). Emotion, mood and physical activity. In S.J.H. Biddle, K.R. Fox & S.H. Boutcher (Eds.), *Physical activity and psychological well-being*, (pp. 63-88). New York: Routledge.
- Billeter, R., & Hoppler, H. (1994). Biologische Grundlagen der Muskelkontraktion. In: Komi, P. (Hrsg.) *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 51-73.
- Billeter, R., Jostarndt-Fögen, K., Günthör, W., & Hoppeler, H. (2003). Fiber type characteristics and myosin light chain expression in a world champion shot putter. *International Journal of Sports Medicine*, 24(3), 203–207. <https://doi.org/10.1055/s-2003-39092>
- Birrer, D. (2002). Konzeptuelle und methodologische Überlegungen zur Messung von Befindlichkeit. In Strauß, B., Tietjens, M., Hagemann, N. & Stachelhaus, A. (Hrsg.). *Expertise im Sport. Lehren, lernen, leisten* (pp. 195 – 196). Köln: bps
- Blazevich, A. J., & Babault, N. (2019). Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in Physiology*, 10, 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>
- Bondarchuk, A.P. (1986). *Training of track and field athletes*. Kiev: Health Publisher (Zdorovie).
- Boonyarom, O., & Inui, K. (2006). Atrophy and hypertrophy of skeletal muscles: Structural and functional aspects. *Acta Physiologica (Oxford, England)*, 188(2), 77–89. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2006.01613.x>
- Borba, D. D. A., Ferreira-Júnior, J. B., Santos, L. A. d., Carmo, M. C. d., & Coelho, L. G. M. (2017). Efeito da potencialização pós-ativação no Atletismo: uma revisão sistemática. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, 19(1), 128. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2017v19n1p128>
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Quantifying training load: A comparison of subjective and objective methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 16–30. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.1.16>
- Borst, S. E., Hoyos, D. V. de, Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T., & Pollock, M. L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4), 648–653. <https://doi.org/10.1097/00005768-200104000-00021>
- Bös, K., & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen*. Hofmann.
- Bosco, C., Belli, A., Astrua, M., Tihanyi, J., Pozzo, R., Kellis, S., Tsarpela, O., Foti, C., Manno, R., & Tranquilli, C. (1995). A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(5), 379–386. <https://doi.org/10.1007/BF00618487>
- Bosco, C. (1997). Zum Verhältnis von Muskelkraft und Testosteron aus der Sicht des Trainings. *Leistungssport*, 27(2), pp. 15-18.
- Bourne, M. N., Opar, D. A., Williams, M. D., Al Najjar, A., & Shield, A. J. (2016). Muscle activation patterns in the Nordic hamstring exercise: Impact of prior strain injury. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(6), 666–674. <https://doi.org/10.1111/sms.12494>
- Boyle, M. (2016). *New functional training for sports* (Second Edition). Human Kinetics.
- Bührle, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. *Grundlagen des Maximal-und Schnellkrafttrainings*, 82, 109.
- Bührle, M. (1989). Maximalkraft–Schnellkraft–Reaktivkraft. *Sportwissenschaft*, 19(3), 311-325.
- Bührle, M. (1993). Schnellkraft - theoretisches Konstrukt - physiologischer Hintergrund und Bedingungsstruktur - diagnostische Erfassung - spezifische Trainingsmethoden. *Spectrum der Sportwissenschaft*, 2, 5-29.

- Bührle, M., & Schmidtbleicher, D. (1981). Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. *Sportwissenschaft*, 11, 11-27.
- Bührle, M., & Schmidtbleicher, D. (1981). Komponenten der Maximal- und der Schnellkraft. Versuch einer Neustrukturierung auf der Basis empirischer Ergebnisse. *Sportwissenschaft*, 11(1), pp. 11-27.
- Büsch, D., Prieske, O., Kriemler, S., Puta, C., Gabriel, H. H. W., & Granacher, U. (2017). Krafttraining im Kindes- und Jugendalter: Bedeutung, Wirkung und Handlungsempfehlungen. *Swiss sports & exercise medicine*, 65(3), pp. S. 34-42.
- Buford, T. W., Rossi, S. J., Smith, D. B., & Warren, A. J. (2007). A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1245–1250. <https://doi.org/10.1519/R-20446.1>
- Buller, A. J., Eccles, J. C., & Eccles, R. M. (1960). Interactions between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speeds of their responses. *The Journal of Physiology*, 150, 417–439. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1960.sp006395>
- Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., & Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: Specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1-2), 50–60. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0681-6>
- Carless, D., & Faulkner, G. (2003). Physical activity and mental health. In J. McKenna & C. Riddoch (Eds.), *Perspectives on health and exercise* (pp. 61–82). Palgrave Macmillan: Hampshire.
- Carroll, T. J., Abernethy, P. J., Logan, P. A., Barber, M., & McEniery, M. T. (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(3), 270–275. <https://doi.org/10.1007/s004210050419>
- Casajús, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(4), 463–469.
- Chavda, S., Sorensen, A., Vernau, J., Bishop, C., & Turner, A. N. (2019). *Effect of Post Activation Potentiation on Weightlifting Performance*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13280.23043>
- Chelly, M. S., Fathloun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z., & van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2241–2249. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b86c40>
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2670–2676. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e2728f>
- Cheng, A. J., & Rice, C. L. (2005). Fatigue and recovery of power and isometric torque following isotonic knee extensions. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 99(4), 1446–1452. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00452.2005>
- Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Piliandis, T., & Tokmakidis, S. P. (2006). Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 783–791. <https://doi.org/10.1519/R-17254.1>
- Chu, D. A. (1996). *Explosive power & strength: Complex training for maximum results*. Human Kinetics.
- Clarkson, P. M., Nosaka, K., & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 512–520.
- Coffey, T. H. (1946). Delorme method of restoration of muscle power by heavy resistance exercises. *Treatment Services Bulletin. Canada. Department of Veterans' Affairs*, 1(2), 8–11.
- Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98–101. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>

- Collette, R., Kellmann, M., Ferrauti, A., Meyer, T., & Pfeiffer, M. (2018). Relation Between Training Load and Recovery-Stress State in High-Performance Swimming. *Frontiers in Physiology*, 9, 845. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00845>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Medicine*, 41(1), 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>
- Counsilman, B.E. & Counsilman, J.E. (1991). The Residual Effects of Training. *Journal of Swimming Research*, 7(1), 5-12.
- Cureton, K. J., Collins, M. A., Hill, D. W., & McElhannon, F. M. (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(4), 338–344. <https://doi.org/10.1249/00005768-198808000-00003>
- Davies, J., Parker, D. F., Rutherford, O. M., & Jones, D. A. (1988). Changes in strength and cross sectional area of the elbow flexors as a result of isometric strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(6), 667–670. <https://doi.org/10.1007/BF01075986>
- Davies, T., Orr, R., Halaki, M., & Hackett, D. (2016). Effect of Training Leading to Repetition Failure on Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 487–502. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0451-3>
- Davis, D. S., Barnette, B. J., Kiger, J. T., Mirasola, J. J., & Young, S. M. (2004). Physical Characteristics That Predict Functional Performance in Division I College Football Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(1), 115. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)018<0115:PCTFPF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)018<0115:PCTFPF>2.0.CO;2)
- Del Balso, C., & Cafarelli, E. (2007). Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 103(1), 402–411. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00477.2006>
- Delahunt, E., McGroarty, M., Vito, G., & Ditroilo, M. (2016). Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 663–672. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3325-3>
- DeLorme, T.L. (1945). Restoration of muscle power by heavy resistance exercises. *J Bone Joint Surg*, 27, 645–667.
- Deutscher Handballbund (2019). *Testmanual zur Leistungssportsichtung des DHB 2020*. Dortmund/Leipzig: DHB/IAT.
- Deutscher Handballbund (2020). *Manual zur einheitlichen Leistungsdiagnostik des DHB im Rahmen der FSL-Kooperation an den Olympiastützpunkten* (5. aktual. Aufl.). Dortmund/Leipzig: DHB/IAT.
- Di Bella, G. (2008). Complete objective response to biological therapy of plurifocal breast carcinoma. *Neuro Endocrinology Letters*, 29(6), 857–866.
- Donnelly, A. E., Clarkson, P. M., & Maughan, R. J. (1992). Exercise-induced muscle damage: Effects of light exercise on damaged muscle. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(4), 350–353. <https://doi.org/10.1007/BF00636223>
- Dons, B., Bollerup, K., Bonde-Petersen, F., & Hancke, S. (1979). The effect of weight-lifting exercise related to muscle fiber composition and muscle cross-sectional area in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(2), 95–106. <https://doi.org/10.1007/BF00421155>
- Dorrell, H. F., Moore, J. Smith, M. F., & Gee, T. I. (2019). Validity and reliability of a linear positional transducer across commonly practised resistance training exercises. *Journal of Sports Sciences*, 37(1), 67–73. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1482588>
- Dorrell, H. F., Smith, M. F., & Gee, T. I. (2019). Comparison of Velocity-Based and Traditional Percentage-Based Loading Methods on Maximal Strength and Power Adaptations. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 34(1). DOI: 10.1519/JSC.0000000000003089

- Ebbeling, C. B., & Clarkson, P. M. (1990). Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(1), 26–31. <https://doi.org/10.1007/BF00572181>
- Ebben, W. P., & Blackard, D. O. (2001). Strength and conditioning practices of National Football League strength and conditioning coaches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 48–58.
- Ebben, W. P. (2009). Hamstring activation during lower body resistance training exercises. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(1), 84–96. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.1.84>
- Edman, P. (1994). Die kontraktile Funktion der Skelettmuskulatur. In: Komi, P. (Hrsg.) *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 104-120.
- Eifler, C. (2016). Short-Term Effects of Different Loading Schemes in Fitness-Related Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1880–1889. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001303>
- Endoh, T., Nakajima, T., Sakamoto, M., & Komiyama, T. (2005). Effects of muscle damage induced by eccentric exercise on muscle fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(7), 1151–1156. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000170098.26968.eb>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: What, why and how it influences muscle function. *The Journal of Physiology*, 586(1), 11–23. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>
- Epley, B. (1985). *Poundage chart. Boyd Epley workout*. Lincoln, NE: University of Nebraska Press.
- Erko, A., Idir, M., Krist, T., & Michette, A. G. (2008). *Modern developments in X-ray and neutron optics*. Springer.
- Eston, R., & Evans, H. J. L. (2009). The validity of submaximal ratings of perceived exertion to predict one repetition maximum. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8(4), 567–573.
- Farthing, J. P., & Chilibeck, P. D. (2003). The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 578–586. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0842-2>
- Ferger, K. (1998). *Trainingseffekte im Fußball*. Czwalina.
- Fetz, F. *Bewegungslehre der Leibesübungen. Theorie und Praxis der Leibesübungen: Bd. 25, Ed. 3*.
- Fieseler, G., Jungermann, P., Koke, A., Delank, K.-S., & Schwesig, R. (2014). Beweglichkeit der Wurfarmschulter sowie isometrische Kraftentwicklung und ihre Veränderungen unter Trainings- und Saisonbedingungen beim semi- /professionellen Handballsportler Teil I: Veränderungen in der Saisonvorbereitungsphase. *Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology*, 30(3), 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2014.03.001>
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30(5), 32–38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318187e25b>
- Flanagan, E. P., Ebben, W. P., & Jensen, R. L. (2008). Reliability of the reactive strength index and time to stabilization during depth jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1677–1682. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318182034b>
- Fleck, S. J. (1999). Periodized strength training: A critical review. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (1), 82-89.
- Fleck, S. (2002). Periodization of training. In: Kraemer, W. (Hrsg). *Strength Training for Sport*. Blackwell Science, Oxford, 55-68.
- Foretić, N., Rogulj, N., & Trninić, M. (2010). The influence of situation efficiency on the result of a handball match. *Sport Science*, 3(2), 45-51.

- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Romero-Rodriguez, D., Montalvo, A. M., Kiefer, A. W., Lloyd, R. S., & Myer, G. D. (2016). Integrative Neuromuscular Training and Injury Prevention in Youth Athletes. Part I. *Strength and Conditioning Journal*, 38(3), 36–48. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000229>
- Fridén, J., & Lieber, R. L. (1992). Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 521–530.
- Fröhlich, M. (2014). Krafttraining. In H.-D. Kempf (Ed.), *Funktionelles Training mit Hand- und Klein-geräten* (pp. 3–12). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-43659-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43659-2_1)
- Fröhlich, M., & Schmidtbleicher, D. (2008). Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59(2), pp. 34-42.
- Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D., & Emrich, E. (2002). Belastungssteuerung im Muskelaufbautraining-Belastungsnormativ Intensität versus Wiederholungszahl. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53(3), 79-83.
- Fry, A.C., Häkkinen, K., & Kraemer, W. (2002). Special considerations in strength training, In: Kraemer, W. & Häkkinen, K. (Hrsg.): *Strength Training for Sport*. Oxford: Blackwell Science, 135-216.
- Fry, A. C., Schilling, B. K., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., & Thrush, J. T. (2003). Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 746–754. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0746:mfcapc>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0746:mfcapc>2.0.co;2)
- Fry, A. C., & Newton, R. U. (2002). A brief history of strength training and basic principles and concepts. *Handbook of sports medicine and science*. Strength training for sport. Blackwell Science Ltd, 1, 19.
- Fry, A. C., & Newton, R. U. (2008). A Brief History of Strength Training and Basic Principles and Concepts. In E.:W. J. Kraemer & E.:K. Hakkinen (Eds.), *Strength Training for Sport: Olympic Handbook of Sports Medicine* (pp. 1–19). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470698754.ch1>
- Fry, R. W., Morton, A. R., & Keast, D. (1992). Periodisation and the prevention of overtraining. *Canadian Journal of Sport Sciences = Journal Canadien Des Sciences Du Sport*, 17(3), 241–248.
- Fukunaga, T., Philippi, H., Hollmann, W. (1976). Über die Beziehung zwischen statischer Arbeit, Kraftleistung und Durchblutung. *Sportarzt und Sportmedizin*, 8, 181–188.
- Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Gilman, M. B. (1996). The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 21(2), 73–79. <https://doi.org/10.2165/00007256-199621020-00001>
- Glencross, D. J. (1966). The nature of the vertical jump test and the standing broad jump. *Research Quarterly*, 37(3), 353–359.
- Golden, C. L., & Dudley, G. A. (1992). Strength after bouts of eccentric or concentric actions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(8), 926–933.
- Goldspink, G. (2011-). Alterations in Myofibril Size and Structure During Growth, Exercise, and Changes in Environmental Temperature. In R. Terjung (Ed.), *Comprehensive physiology*. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/cphy.cp100118>
- Golle, K., Mechling, H., & Granacher, U. (2019). Koordinative Fähigkeiten und Koordinationstraining im Sport. In A. Güllich & M. Krüger (Eds.), *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit: Handbuch Sport und Sportwissenschaft* (pp. 1–24). Springer Berlin Heidelberg; Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53386-4\\_51-1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53386-4_51-1)
- Gondin, J., Guette, M., Ballay, Y., & Martin, A. (2006). Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *European Journal of Applied Physiology*, 97(2), 165–173. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0159-z>

- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibañez, J., González-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2006). Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(2), 357–366. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000184586.74398.03>
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 955–963.
- Granacher, U., Gruber, M., & Gollhofer, A. (2009). Resistance training and neuromuscular performance in seniors. *International Journal of Sports Medicine*, 30(9), 652–657. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224178>
- Groeger, D.; Beppler, J.; Braun, J.; Luig, P.; Overkamp, S.; Ribbecke, T. & Wudtke, E. (2019): *Athletikkonzept des DHB – Version: 1.0*. Münster: Philippka-Sportverlag.
- Grosser, M., & Renner, T. (2007). *Schnelligkeitstraining*. BLV-Buchverl.
- Gruber, M., & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1-2), 98–105. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1080-y>
- Güllich, A., & Krüger, M. (Eds.). (2019). *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit: Handbuch Sport und Sportwissenschaft*. Springer Berlin Heidelberg; Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53386-4>
- Guellich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Krafftigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(7,8), pp. 223-234.
- Hackett, D. A., Cobley, S. P., Davies, T. B., Michael, S. W., & Halaki, M. (2017). Accuracy in Estimating Repetitions to Failure During Resistance Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2162–2168. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001683>
- Hackett, D. A., Cobley, S. P., & Halaki, M. (2018). Estimation of Repetitions to Failure for Monitoring Resistance Exercise Intensity: Building a Case for Application. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1352–1359. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002419>
- Hackett, D. A., Johnson, N. A., Halaki, M., & Chow, C.-M. (2012). A novel scale to assess resistance-exercise effort. *Journal of Sports Sciences*, 30(13), 1405–1413. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.710757>
- Haff, G. G. (2004). Roundtable Discussion: Periodization of Training—Part 1. *Strength and Conditioning Journal*, 26(1), 50. [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2004\)026<0050:RDPO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2004)026<0050:RDPO>2.0.CO;2)
- Häkkinen, K., & Keskinen, K. L. (1989). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(3), 215–220. <https://doi.org/10.1007/BF02386190>
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 65(6), 2406–2412. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.65.6.2406>
- Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1986). Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(2), 147–155. <https://doi.org/10.1007/BF00714997>
- Haff, G., Justice, B., Rossi, S., O’Connor, D., & Swick, S. (2002). Peak Force and Rate-of-Force Development during Dynamic and Isometric Muscle Action. Conference: National Strength and Conditioning Association, Volume:16.
- Haller, N. (2007). *Bewegungsgeschwindigkeit im Krafttraining : Konzentrische und exzentrische Muskelarbeitsweise und deren Metabolismus*. Dissertationsschrift. Universität Konstanz.
- Handballbund, D., & Trainingswissenschaft, I. f. A. (Eds.). *Die DHB-Talentsichtung 2011*.

- Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2006). *Exercise metabolism* (2nd ed.). Human Kinetics.
- Harre, D. (1973). *Trainingslehre*, 7. Aufl., Sportverlag Berlin.
- Harries, S. K., Lubans, D. R., & Callister, R. (2015). Systematic review and meta-analysis of linear and undulating periodized resistance training programs on muscular strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1113–1125. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000712>
- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., & Hansen, K. T. (2008). Relationship between sprint times and the strength/power outputs of a machine squat jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 691–698. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816d8d80>
- Hartmann, J. & Tünnemann, H. (1987). *Modernes Krafttraining*. Berlin: Sportverlag.
- Hartmann, H., Wirth, K., & Klusemann, M. (2013). Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(10), 993–1008. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0073-6>
- Hartmann, H., Wirth, K., Klusemann, M., Dalic, J., Matuschek, C., & Schmidtbleicher, D. (2012). Influence of squatting depth on jumping performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(12), 3243–3261. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824ede62>
- Hasegawa, H., Dziados, J., Newton, R.U., Fry, A.C., Kraemer, W.J., & Häkkinen, K. (2002). Periodized training programmes for athletes, In: Kraemer, W.J., Häkkinen, K. (Hrsg.): *Strength Training for Sport*. Oxford: Blackwell Science, 69-134.
- Hecht, A. (1972). Zur Adaptation der Muskelzelle an einen Belastungsreiz und Möglichkeiten ihrer Trainierbarkeit. *Medizin und Sport*, 12, 358-367.
- Helms, E. R., Cronin, J., Storey, A., & Zourdos, M. C. (2016). Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for Resistance Training. *Strength and Conditioning Journal*, 38(4), 42–49. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000218>
- Hemmling, G. (1994). *Anpassungen des neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode*. Bundesinstitut für Sportwissenschaften, 5, 94, Sport & Buch Strauß, Köln.
- Henneman, E. (1981). Recruitment of motoneurons: the size principle. In: Motor unit types, recruitment, and plasticity in health and disease. In: Desmed, J. (ed.) *Progress in clinical neurophysiology*, 9, Karger, Basel (pp 26–60).
- Hermassi, S., Delank, K. S., Fieseler, G., Bartels, T., Chelly, M. S., Khalifa, R., Laudner, K., Schulze, S., & Schwesig, R. (2019). Beziehungen zwischen der maximalen Beinkraft sowie der maximalen Leistung der oberen und unteren Extremität, des Muskelvolumens und der Wurfgeschwindigkeit bei Elitehandballspielern [Relationships Between Olympic Weightlifting Exercises, Peak Power of the Upper and Lower Limb, Muscle Volume and Throwing Ball Velocity in Elite Male Handball Players]. *Sportverletzung Sportschaden : Organ Der Gesellschaft Fur Orthopaedisch-Traumatologische Sportmedizin*, 33(2), 104–112. <https://doi.org/10.1055/a-0625-8705>
- Hermassi, S., Schwesig, R., Aloui, G., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Short-Term In-Season Weightlifting Training on the Muscle Strength, Peak Power, Sprint Performance, and Ball-Throwing Velocity of Male Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(12), 3309–3321. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003068>
- Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L., & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 81(5), 2173–2181. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2173>
- Hill, A.V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B - Biological Sciences*, 126(843), 136–195. <https://doi.org/10.1098/rspb.1938.0050>
- Hirsch, S. M., & Frost, D. M. (2019). Considerations for Velocity-Based Training: The Instruction to Move "As Fast As Possible" Is Less Effective Than a Target Velocity. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003233>

- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(7), 585–595. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535070-00004>
- Hoff, J., & Almåsbaek, B. (1995). The Effects of Maximum Strength Training on Throwing Velocity and Muscle Strength in Female Team-Handball Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(4), 255. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1995\)009<0255:TEOMST>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1995)009<0255:TEOMST>2.3.CO;2)
- Hoffman, J. R., & Kang, J. (2003). Strength changes during an in-season resistance-training program for football. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 109–114. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0109:scdais>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0109:scdais>2.0.co;2)
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Limpert.
- Hollmann, W. (1990). *Training, Grundlagen und Anpassungsprozesse*. Hofmann.
- Hollmann, W., & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin ; mit 101 Tabellen* (4., völlig Neubearb. und erw. Aufl.). Schattauer.
- Holm, L., Reitelseder, S., Pedersen, T. G., Doessing, S., Petersen, S. G., Flyvbjerg, A., Andersen, J. L., Aagaard, P., & Kjaer, M. (2008). Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 105(5), 1454–1461. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90538.2008>
- Holtermann, A., Roeleveld, K., Engstrøm, M., & Sand, T. (2007). Enhanced H-reflex with resistance training is related to increased rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 301–312. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0503-y>
- Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R., & Nosaka, K. (2008). Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 412–418. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318166052b>
- Hori, N., Newton, R. U., Nosaka, K., & Stone, M. H. (2005). Weightlifting Exercises Enhance Athletic Performance That Requires High-Load Speed Strength. *Strength and Conditioning Journal*, 27(4), 50. [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2005\)27\[50:weeapt\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2005)27[50:weeapt]2.0.co;2)
- Hortobágyi, T., Katch, F. I., & LaChance, P. F. (1989). Interrelationships among various measures of upper body strength assessed by different contraction modes. Evidence for a general strength component. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58(7), 749–755. <https://doi.org/10.1007/BF00637387>
- Hortobágyi, T., Tracy, J., Hamilton, G., & Lambert, J. (1996). Fatigue effects on muscle excitability. *International Journal of Sports Medicine*, 17(6), 409–414. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972870>
- Hottenrott, K. (2007, September 9). Hören Sie auf ihren Körper und werden so Ihr eigener Trainer. [http://www.loges.de/H%C3%B6ren\\_Sie\\_auf\\_Ihren\\_K%C3%B6rper\\_und\\_werden\\_so\\_Ihr\\_eigener\\_Trainer](http://www.loges.de/H%C3%B6ren_Sie_auf_Ihren_K%C3%B6rper_und_werden_so_Ihr_eigener_Trainer).
- Houston, M. E., Froese, E. A., Valeriote, S. P., Green, H. J., & Ranney, D. A. (1983). Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: A one leg model. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(1), 25–35. <https://doi.org/10.1007/BF00952534>
- Howatson, G., & van Someren, K. A. (2007). Evidence of a contralateral repeated bout effect after maximal eccentric contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 101(2), 207–214. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0489-5>
- Hughes, L. J., Banyard, H. G., Dempsey, A. R., Peiffer, J. J., & Scott, B. R. (2019). Using Load-Velocity Relationships to Quantify Training-Induced Fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 762–773. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003007>
- Hultman, E. & Sjöholm, H. (1986). Biochemical causes of fatigue. In: Jones, L., McCartney, N. & McComas, A. (eds.) *Human muscle power*. Human Kinetics, Champaign, Ill., pp 215–235.

- Humburg, H., Baars, H., Schröder, J., Reer, R., & Braumann, K.-M. (2007). 1-Set vs. 3-set resistance training: A crossover study. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 578–582. <https://doi.org/10.1519/R-21596.1>
- Hutchins, K. (1980). Conditioning for soccer. *National Strength Coaches Association Journal*, 2, 32-35.
- IKAI, M., & STEINHAUS, A. H. (1961). Some factors modifying the expression of human strength. *Journal of Applied Physiology*, 16, 157–163. <https://doi.org/10.1152/jappl.1961.16.1.157>
- Ingjer, F. (1979). Capillary supply and mitochondrial content of different skeletal muscle fiber types in untrained and endurance-trained men. A histochemical and ultrastructural study. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(3), 197–209. <https://doi.org/10.1007/BF00426942>
- Ishida, K., Moritani, T., & Itoh, K. (1990). Changes in voluntary and electrically induced contractions during strength training and detraining. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(4), 244–248. <https://doi.org/10.1007/BF00379390>
- Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Medicine*, 40(3), 189–206. <https://doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000>
- Issurin, V. B., & Kaverin, V. (1985) Planning and design of annual preparation cycle in canoe-kayak paddling. In: Samsonov, E.B. & Kaverin, V.F. (eds.). *Grebnoj Sport (Rowing, Canoeing, Kayaking)*. Moscow: Fizkultura i Sport. p. 25-29.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X., & Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 100(5), 1647–1656. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01400.2005>
- JASP Team, JASP (Version 0.16.2)[Computer software] (2022) <https://jasp-stats.org>
- Jakovlev, N. N. *Sportbiochemie. Sportmedizinische Schriftenreihe der Deutschen Hochschule für Körperkultur Leipzig: Bd. 14.*
- Jeffreys, I. (2019). *The warm-up: Maximize performance and improve long-term athletic development*. Human Kinetics.
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J.-M., & Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 267–270. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f>
- Jones, D. A., & Rutherford, O. M. (1987). Human muscle strength training: The effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *The Journal of Physiology*, 391, 1–11. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1987.sp016721>
- Jovanovic, M., & Flanagan, E.P. (2014). Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond*, 22, 58–69.
- Jürimäe, J., Abernethy, P. J., Blake, K., & McEniery, M. T. (1996). Changes in the myosin heavy chain isoform profile of the triceps brachii muscle following 12 weeks of resistance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(3), 287–292. <https://doi.org/10.1007/BF00377452>
- Jürimäe, J., Abernethy, P. J., Quigley, B. M., Blake, K., & McEniery, M. T. (1997). Differences in muscle contractile characteristics among bodybuilders, endurance trainers and control subjects. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(4), 357–362. <https://doi.org/10.1007/s004210050172>
- Kanehisa, H., & Miyashita, M. (1983). Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(3), 365–371. <https://doi.org/10.1007/BF00423242>
- Kanehisa, H., & Miyashita, M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(1), 104–106. <https://doi.org/10.1007/BF00429034>

- Karcher, C., & Buchheit, M. (2014). On-court demands of elite handball, with special reference to playing positions. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(6), 797–814. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0164-z>
- Karcher, C. & Buchheit, M. (2014a). Competitive demands of elite handball. *Aspetar Sports Medicine Journal*, 3, 112-119.
- Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 675–684. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<675:TOTLFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<675:TOTLFT>2.0.CO;2)
- Keferstein, G., Mager, R., Houben, P., Müller, D., Adler, S. & Bednarz, M. (2018). Eishockey Performance : *Athletiktraining, Ernährung, Regeneration und Trainingsplanung für Profis und Nachwuchsspieler*. (3. Aufl.): Bioflow Publishing.
- Keiner, M. (2014). *Krafttraining im Nachwuchsleistungssport: Effekte eines ergänzenden Krafttrainings auf Maximalkraft- und Sprungleistungen im langsamen und schnellen Dehnungs-Verkürzung-Zyklus bei Nachwuchsfußballern*. Frankfurt a.M: Universität Frankfurt am Main / Institut für Sportwissenschaften / Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaften.
- Keller, M., Lauber, B., Gehring, D., Leukel, C., & Taube, W. (2014). Jump performance and augmented feedback: Immediate benefits and long-term training effects. *Human Movement Science*, 36, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.04.007>
- Kellmann, M. (2002). Underrecovery and overtraining. Different concepts – similar impact? In Kellmann, M. (Ed.), *Enhancing recovery. Preventing underperformance in athletes* (pp. 3 – 24). Champaign, Il: Human Kinetics.
- Kellmann, M. & Golenia, M. (2003). Skalen zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit im Sport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54(11), 329-330.
- Kelly, S. B., Brown, L. E., Coburn, J. W., Zinder, S. M., Gardner, L. M., & Nguyen, D. (2007). The effect of single versus multiple sets on strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1003–1006. <https://doi.org/10.1519/R-22356.1>
- Kemmler, W. K., Lauber, D., Engelke, K., & Weineck, J. (2004). Effects of single- vs. Multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 689–694. <https://doi.org/10.1519/R-16164.1>
- Kempf, H.-D. (2014). *Funktionelles Training mit Hand- und Kleingeräten*. Springer.
- Kempf, H.-D. (Ed.). (2014). *Funktionelles Training mit Hand- und Kleingeräten*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43659-2>
- Kim, D., & Hong, J. (2011). Hamstring to quadriceps strength ratio and noncontact leg injuries: A prospective study during one season. *Isokinetics and Exercise Science*, 19(1), 1–6. <https://doi.org/10.3233/IES-2011-0406>
- Kitai, T. A., & Sale, D. G. (1989). Specificity of joint angle in isometric training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58(7), 744–748. <https://doi.org/10.1007/BF00637386>
- Kleinert, J. (2007). Mood states and perceived physical states as short term predictors of sport injuries: Two prospective studies. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 5(4), 340–351. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2007.9671840>
- Knaf, A., & Pfeiffer, M. (2014). *Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Trainingsbeanspruchung und Erholung im Handball*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4707.6805>
- Knapik, J. J., Mawdsley, R. H., & Ramos, M. U. (1983). Angular Specificity and Test Mode Specificity of Isometric and Isokinetic Strength Training *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 5(2), 58–65. <https://doi.org/10.2519/jospt.1983.5.2.58>
- Knechtle, B. (2002). *Aktuelle Sportphysiologie: Leistung und Ernährung im Sport*. Karger. <https://doi.org/10.1159/isbn.978-3-318-00876-0>

- Knight, K. L. (1979). Knee rehabilitation by the daily adjustable progressive resistive exercise technique. *The American Journal of Sports Medicine*, 7(6), 336–337. <https://doi.org/10.1177/036354657900700605>
- Kniubaite, A., Skarbalius, A., Clemente, F. M., & Conte, D. (2019). Quantification of external and internal match loads in elite female team handball. *Biology of Sport*, 36(4), 311–316. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2019.88753>
- Komi, P. V., Viitasalo, J. T., Rauramaa, R., & Vihko, V. (1978). Effect of isometric strength training of mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(1), 45–55. <https://doi.org/10.1007/BF00420988>
- Komi, P. V. (Ed.). (2003). *The Encyclopaedia of sports medicine: v. 3. Strength and power in sport* (2nd ed.). Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470757215>
- Komi, P. V., & Gollhofer, A. (1997). Stretch Reflexes Can Have an Important Role in Force Enhancement during SSC Exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4), 451–460. <https://doi.org/10.1123/JAB.13.4.451>
- Kotani, Y. & Hori, N. (2017). The Reasons Why Athletes Squat Deep In Japan National Volleyball Team. *J Aust Strength Cond*, 25(3) 28-32.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakevou, G., & Patikas, D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 369–375. <https://doi.org/10.1519/R-14944.1>
- Kraemer, E.:W. J., & Hakkinen, E.:K. (Eds.). (2008). *Strength Training for Sport: Olympic Handbook of Sports Medicine*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470698754>
- Kraemer, W. J. (1988). Endocrine responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5 Suppl), S152-7. <https://doi.org/10.1249/00005768-198810001-00011>
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., Newton, R. U., Triplett, N. T., & Dziados, J. E. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 78(3), 976–989. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.78.3.976>
- Kraemer, W. J., French, D. N., Paxton, N. J., Häkkinen, K., Volek, J. S., Sebastianelli, W. J., Putukian, M., Newton, R. U., Rubin, M. R., Gómez, A. L., Vescovi, J. D., Ratamess, N. A., Fleck, S. J., Lynch, J. M., & Knuttgen, H. G. (2004). Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(1), 121–128. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)018<0121:ciepah>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)018<0121:ciepah>2.0.co;2)
- Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., Hymer, W. C., Nindl, B. C., & Fragala, M. S. (2020). Growth Hormone(s), Testosterone, Insulin-Like Growth Factors, and Cortisol: Roles and Integration for Cellular Development and Growth With Exercise. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 33. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00033>
- Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., & Nindl, B. C. (2017). Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 122(3), 549–558. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00599.2016>
- Kreider, R. B., Ferreira, M. P., Greenwood, M., Wilson, M., & Almada, A. L. (2002). Effects of conjugated linoleic acid supplementation during resistance training on body composition, bone density, strength, and selected hematological markers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3), 325–334.
- Kroon, G. W., & Naeije, M. (1991). Recovery of the human biceps electromyogram after heavy eccentric, concentric or isometric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(6), 444–448. <https://doi.org/10.1007/BF00868076>

- Krüger, K., Pilat, C., Uckert, K., Frech, T., & Mooren, F. C. (2014). Physical performance profile of handball players is related to playing position and playing class. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 117–125. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b713>
- Kanehisa, H. & Miyashita, M. (1983b). Specificity of velocity in strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 52, 104-106.
- Küchler, G. (1983). *Motorik*. G. Fischer.
- Kyröläinen, H., Avela, J., McBride, J. M., Koskinen, S., Andersen, J. L., Sipilä, S., Takala, T. E. S., & Komi, P. V. (2005). Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(1), 58–64. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00390.x>
- Lamont, H. S., Cramer, J. T., Bemben, D. A., Shehab, R. L., Anderson, M. A., & Bemben, M. G. (2009). Effects of a 6-week periodized squat training program with or without whole-body vibration on jump height and power output following acute vibration exposure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2317–2325. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3e1dc>
- Lauersen, J. B., Bertelsen, D. M., & Andersen, L. B. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 48(11), 871–877. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092538>
- Lavallée, L., & Flint, F. (1996). The relationship of stress, competitive anxiety, mood state, and social support to athletic injury. *Journal of Athletic Training*, 31(4), 296–299.
- Laver, L., Landreau, P., Seil, R., & Popovic, N. (Eds.). (2018). *Handball Sports Medicine*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55892-8>
- Laver, L., Luig, P., Achenbach, L., Myklebust, G., & Karlsson, J. (2018). Handball Injuries: Epidemiology and Injury Characterization: Part 1. In L. Laver, P. Landreau, R. Seil, & N. Popovic (Eds.), *Handball Sports Medicine* (pp. 141–153). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55892-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55892-8_11)
- Lehmann, F., Wenzel, U., & Sandau, I. (Eds.). (2020). *Schriftenreihe für angewandte Trainingswissenschaft: [Neue Folge], Band 15. Kräftiger, schneller, ausdauernder - Entwicklung der muskulären Leistung im Hochleistungstraining: Tagungsband zum gleichnamigen Spitzensport-Symposium am 21./22. Mai 2019 in Leipzig* [1. Auflage]. Meyer & Meyer Verlag.
- Leibiger, R., & Büsch, D. (2018). Training mit dem Schubschlitten. Neue Impulse für das Athletiktraining im Handball. *Handballtraining*, 40(4+5), pp. 32-36.
- Letzelter, M. (1971). Zur Terminologie der motorischen Grundeigenschaft Kraft. *Praxis der Leibesübungen*, 4, 68-70.
- Letzelter, H., & Letzelter, M. (1982). Kondition und konditionelle Fähigkeiten als Trainingsziele. *Sportpraxis in Schule und Verein*, 23(2), pp. 31-33.
- Li, Y., Ploutz-Snyder, L., Graves, J., & Mayer, J. (1998). Neuromuscular adaptations to lumbar extension strength gain. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 30, 207.
- Liebenson, C. & Hyman, J. (1995). Spinal Stabilization Exercises: The Low Cost Solution to Exercising Your Patients. *Dynamic Chiropractic*, 13(09)
- Lindh, M. (1979). Increase of muscle strength from isometric quadriceps exercises at different knee angles. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 11(1), 33–36.
- Liu, Y., Gampert, L., Prokopchuk, O., & Steinacker, J. (2007). Satellitenzellaktivierung beim Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(1), pp. 6-11.
- Liu, Y., Schlumberger, A., Wirth, K., Schmidtbleicher, D., & Steinacker, J. M. (2003). Different effects on human skeletal myosin heavy chain isoform expression: Strength vs. Combination training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 94(6), 2282–2288. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00830.2002>

- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., Ste Croix, M. B. A. de, Williams, C. A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., Thomas, D. P., Hatfield, D. L., Cronin, J. B., & Myer, G. D. (2015). Long-term athletic development- part 1: A pathway for all youth. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1439–1450. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000756>
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1539–1550. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234e8a0>
- Luig, P. (2008). *Laufleistungs- und Laufgeschwindigkeitsprofile männlicher Hallenhandballer bei der Handballweltmeisterschaft 2007 in Deutschland - eine empirische Studie*. Diplomarbeit. Deutsche Sporthochschule Köln: Köln.
- Luig, P., Bloch, H., Burkhardt, K., Klein, C. & Kühn, N. (2017). VBG Sports Report 2017 – *Analysis of accidents in German Men's professional team sports leagues: basketball, hockey, soccer, and handball*. Hamburg: VBG.
- Luig, P., Krutsch, W., Henke, T., Klein, C., Bloch, H., Platen, P., & Achenbach, L. (2020). Contact - but not foul play - dominates injury mechanisms in men's professional handball: A video match analysis of 580 injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 54(16), 984–990. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100250>
- Luig, P., & Moser, N. (2016). VBG-Sportreport – 2016: *Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball & Handball*. Hamburg: VBG.
- Macdougall, J. D. (2003). Hypertrophy and Hyperplasia. In P. V. Komi (Ed.), *The Encyclopaedia of sports medicine: v. 3. Strength and power in sport* (2nd ed., pp. 252–264). Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470757215.ch13>
- Maio Alves, J. M. V., Rebelo, A. N., Abrantes, C., & Sampaio, J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 936–941. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7c5fd>
- Malone, S., Owen, A., Mendes, B., Hughes, B., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2018). High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(3), 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.016>
- Manchado, C., García-Ruiz, J., Cortell-Tormo, J. M., & Tortosa-Martínez, J. (2017). Effect of Core Training on Male Handball Players' Throwing Velocity. *Journal of Human Kinetics*, 56, 177–185. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0035>
- Mangine, G. T., Huet, K., Williamson, C., Bechke, E., Serafini, P., Bender, D., Hudy, J., & Townsend, J. (2018). A Resisted Sprint Improves Rate of Force Development During a 20-m Sprint in Athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1531–1537. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002030>
- Mann, B., & Kazadi, K. (2016). *Developing explosive athletes: Use of velocity based training in athletes* (E. Pirrung, & J. Jensen, Eds.) (3rd edition). Ultimate Athlete Concepts.
- Mann, J. B., Thyfault, J. P., Ivey, P. A., & Sayers, S. P. (2010). The effect of autoregulatory progressive resistance exercise vs. Linear periodization on strength improvement in college athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1718–1723. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181def4a6>
- Marconnet, P., & Komi, P. V. (1987). *Muscular function in exercise and training. Medicine and sport science: vol. 26*. Karger.
- Marconnet, P. E., & Komi, P. V. (Eds.). (1987). *Medicine and sport science. Muscular function in exercise and training: 3rd International symposium on biological sciences in sport : Selected papers*. Karger. <https://doi.org/10.1159/issn.0076-6070>

- Markworth, P. (2013). *Sportmedizin: Physiologische Grundlagen* (25. Aufl.). Rororo: 17049 : rororo Sport. Rowohlt.
- Marques, M. C., van den Tilaar, R., Vescovi, J. D., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2007). Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 414–422. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.4.414>
- Marques, M. C., Marques, M. A. C., & González-Badillo, J. J. (2006). In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 563–571. <https://doi.org/10.1519/R-17365.1>
- Martin, D. *Grundlagen der Trainingslehre* (1993). *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 63/64 ; 77/78*.
- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (1991). *Handbuch Trainingslehre. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Vol. 100*. Hofmann.
- Martins, L. R., Grigera, J., & Rezende, R. (2018). *Historical materialism book series: Volume 157. The long roots of formalism in Brazil* ((R. Rezende, Trans.)) (J. Grigera, Ed.). Brill.
- Marschall, F., & Büsch, D. (2014). Positionspapier für eine beanspruchungsorientierte Trainingsgestaltung im Krafttraining. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 62(1), pp. S. 24-31.
- Marx, J. O., Ratamess, N. A., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Dohi, K., Bush, J. A., Gómez, A. L., Mazzetti, S. A., Fleck, S. J., Häkkinen, K., Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (2001). Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4), 635–643. <https://doi.org/10.1097/00005768-200104000-00019>
- Masanovic, B., Popovic, S., Bjelica, D., & Gardasevic, J. (2020). The 2018 National Report on Children's and Adolescents' Physical Activity and Physical Fitness for Montenegro. *Iranian Journal of Public Health*. Advance online publication. <https://doi.org/10.18502/ijph.v49i10.4705>
- Massalgin, N. & Uwaschkow, I. (1979). Anwendbarkeit der Elektromyografie zur Beurteilung des Entwicklungsniveaus zentralnervaler Faktoren, die die Effektivität der Schnellkraftbewegungen beeinflussen (translation). *Med Sport*, 19, 364–366.
- Mathis, S. L., & Caputo, J. L. (2018). Resistance Training Is Associated With Higher Lumbar Spine and Hip Bone Mineral Density in Competitive Male Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(1), 274–279. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002209>
- Matwejew, L. P. (1972). *Periodisierung des sportlichen Trainings. Schriftenreihe des Bundesausschusses zur Förderung der Leitungssports, Trainierbibliothek: v. 2*. Bartels and Wernitz.
- Mayo, M., Seijas, R., & Alvarez, P. (2014). Calentamiento neuromuscular estructurado como prevención de lesiones en futbolistas profesionales jóvenes [Structured neuromuscular warm-up for injury prevention in young elite football players]. *Revista española de cirugía ortopédica y traumatología*, 58(6), 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2014.05.008>
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2000). *Essentials of exercise physiology* (2nd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- McBride, J. M., Blow, D., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., & Triplett, N. T. (2009). Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1633–1636. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b2b8aa>
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. Light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 75–82.
- McCall, G. E., Byrnes, W. C., Dickinson, A., Pattany, P. M., & Fleck, S. J. (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 81(5), 2004–2012. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2004>

- McDonagh, M. J., & Davies, C. T. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(2), 139–155. <https://doi.org/10.1007/BF00433384>
- McGrath, R. E., & Meyer, G. J. (2006). When effect sizes disagree: The case of  $r$  and  $d$ . *Psychological Methods*, 11(4), 386–401. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.11.4.386>
- Menrad, T. & Edelmann-Nusser, J. (2021). Validity Evaluation of the leading measurement systems in velocity-based strength training. *International Journal of Computer Science in Sport*. In print.
- Metaxas, T. I., Mandroukas, A., Vamvakoudis, E., Kotoglou, K., Ekblom, B., & Mandroukas, K. (2014). Muscle fiber characteristics, satellite cells and soccer performance in young athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(3), 493–501.
- Michalsik, L.B. (2019). Planning of the training in team handball. In: Proceedings of 5th European Handball Federation Scientific Conference (eds.). Handball for Life, Cologne, Germany, 21-22 November 2019.
- Michalsik, L. B., & Aagaard, P. (2015). Physical demands in elite team handball: Comparisons between male and female players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(9), 878–891.
- Michaut, A., Pousson, M., Baly, Y., & Van Hoecke, J. (2001). Shortterm changes in the series elastic component after an acute eccentric exercise of the elbow flexors. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 569-574
- Milner-Brown, H.S., & Lee, R.G. (1975). Synchronization of human motor units: Possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38(3), 245–254. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(75\)90245-x](https://doi.org/10.1016/0013-4694(75)90245-x)
- Miranda, F., Simão, R., Rhea, M., Bunker, D., Prestes, J., Leite, R. D., Miranda, H., Salles, B. F. de, & Novaes, J. (2011). Effects of linear vs. Daily undulatory periodized resistance training on maximal and submaximal strength gains. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1824–1830. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e7ff75>
- Miyamoto, N., Yanai, T., & Kawakami, Y. (2011). Twitch potentiation induced by stimulated and voluntary isometric contractions at various torque levels in human knee extensor muscles. *Muscle & Nerve*, 43(3), 360–366. <https://doi.org/10.1002/mus.21871>
- Moczall, S., & Stoll, O. (2013). Entwicklung und Durchführung eines Interventionsprogramms zur Vermeidung von Versagen unter Druck. *Leistungssport*, 43(3), pp. 44-48.
- Möck, S., Hartmann, R., Wirth, K., & Mickel, C. (2016). Der Zusammenhang des dynamischen Kraftmaximums in der Kniebeuge mit Sprintleistungen zwischen 5 und 30 Metern. *Leipziger sportwissenschaftliche Beiträge*, 57(2), 162-174.
- Möck, S., Hartmann, R., Wirth, K., Rosenkranz, G., & Mickel, C. (2018). Correlation of dynamic strength in the standing calf raise with sprinting performance in consecutive sections up to 30 meters. *Research in Sports Medicine (Print)*, 26(4), 474–481. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1492397>
- Moritani, T. (1994). Die zeitliche Abfolge der Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings. In: Komi, P. (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag (pp. 266-276).
- Morrissey, M. C., Harman, E. A., & Johnson, M. J. (1995). Resistance training modes: Specificity and effectiveness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(5), 648–660.
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(3), 193–199. <https://doi.org/10.1007/s004210050147>

- Müller, K.-J. (1987). *Statische und dynamische Muskelkraft: Eine empirische Grundlagenuntersuchung*. Zugl.: Freiburg (Breisgau), Univ., Diss., 1987 u.d.T.: Müller, Klaus-Jürgen: Der Zusammenhang zwischen statischem und dynamisch-konzentrischem Kraftverhalten. *Beiträge zur Sportwissenschaft: Bd. 7*. H. Deutsch.
- Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J., & Gandevia, S. C. (2005). Resistance training for strength: Effect of number of sets and contraction speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(9), 1622–1626. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000177583.41245.f8>
- Naclerio, F. J., Colado, J. C., Rhea, M. R., Bunker, D., & Triplett, N. T. (2009). The influence of strength and power on muscle endurance test performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1482–1488. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a4e71f>
- Naczka, M., Naczka, A., Brzenczek-Owczarzak, W., Arlet, J. & Adach, Z. (2010). Relationship between maximal rate of force development and maximal voluntary contraction. *Studies In Physical Culture And Tourism*, 17, 4.
- Nagata, A., Doma, K., Yamashita, D., Hasegawa, H., & Mori, S. (2018). The Effect of Augmented Feedback Type and Frequency on Velocity-Based Training-Induced Adaptation and Retention. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(11), 3110–3117. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002514>
- Nakazawa, K., Kawakami, Y., Fukunaga, T., Yano, H., & Miyashita, M. (1993). Differences in activation patterns in elbow flexor muscles during isometric, concentric and eccentric contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(3), 214–220. <https://doi.org/10.1007/BF00235096>
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310–319. <https://doi.org/10.1007/BF02388334>
- Nemeth, P. (1990). Metabolic fiber types and influences on their transformation. In: Binder, M. & Mendell, L., (eds.). *The segmental motor system*. Oxford: University Press (pp. 258–277).
- Nett, T. (1964). *Leichtathletisches Muskeltraining*. Bartels & Wernitz.
- Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Cormie, P., & McCaulley, G. O. (2008). Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 699–707. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816d5eda>
- Orange, S., Liefieith, A., Metcalfe, J., Robinson, A. & Applegarth, M.J. (2019). Effects of In-Season Velocity- Versus Percentage-Based Training in Academy Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 15(4). DOI: 10.1123/ijsp.2019-0058
- Pabst, J., Büsch, D., Schorer, J., Lemmel, U., Petersen, K.D. & Schwabe, A. (2011). Die DHB-Talentsichtung 2011 - Teil 2. *Handballtraining*, 33(1), 40-44.
- Pampus, B. (1995). *Schnellkrafttraining*. Meyer und Meyer.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose-response relationship. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 377–382. <https://doi.org/10.1519/R-12842.1>
- Pette, D., & Staron, R. S. (2001). Transitions of muscle fiber phenotypic profiles. *Histochemistry and Cell Biology*, 115(5), 359–372. <https://doi.org/10.1007/s004180100268>
- Pieper, H.-G. (2002). SCHULTER- UND ELLENBOGENVERLETZUNGEN BEI BALLSPORTARTEN. *Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology*, 18(4), 241–244. <https://doi.org/10.1078/0949-328X-00181>
- Prince, F. P., Hikida, R. S., & Hagerman, F. C. (1976). Human muscle fiber types in power lifters, distance runners and untrained subjects. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology*, 363(1), 19–26. <https://doi.org/10.1007/BF00587397>

- Raastad, T., & Hallén, J. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82(3), 206–214. <https://doi.org/10.1007/s004210050673>
- Ramos-Campo, D., Martínez-Aranda, L. M., Andreu Caravaca, L., Ávila-Gandí, V., & Rubio-Arias, J. Á. (2020). Effects of resistance training intensity on the sleep quality and strength recovery in trained men: a randomized cross-over study. *Biology of Sport*. Advance online publication. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.97677>
- Randell, A. D., Cronin, J. B., Keogh, J. W. L., Gill, N. D., & Pedersen, M. C. (2011). Effect of instantaneous performance feedback during 6 weeks of velocity-based resistance training on sport-specific performance tests. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 87–93. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fee634>
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., & Burkett, L. N. (2002). Single versus multiple sets for strength: A meta-analysis to address the controversy. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(4), 485–488. <https://doi.org/10.1080/02701367.2002.10609050>
- Rhea, M. R., Ball, S. D., Phillips, W. T., & Burkett, L. N. (2002). A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 250–255.
- Ribbecke, T. (2018). *Regenerationsstrategien: Neue Reserven durch systematische Erholung und Monitoring* (1. Auflage). Richard Pflaum Verlag GmbH & Co. KG.
- Rodriguez-Rosell, D., Yanez-Garcia, J. M., Mora-Custodio, R., Pareja-Blanco, F., Ravelo-Garcia, A. G., Ribas-Serna, J. & Gonzalez-Badillo, J. J. (2020). Velocity-based resistance training: impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response. *Canadian Science Publishing*, 45(8), 817–828. <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0829>
- Rohen, J. W. (1975). *Funktionelle Anatomie des Nervensystems*. Schattauer.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38, 3, 193 – 200.
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A., & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 773–780. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a5e86>
- Rønnestad, B. R., Egeland, W., Kvamme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F., & Raastad, T. (2007). Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 157–163. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00028>
- Rønnestad, B. R., Nymark, B. S., & Raastad, T. (2011). Effects of in-season strength maintenance training frequency in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2653–2660. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822dcd96>
- Röthig, P. *Sportwissenschaftliches Lexikon. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport: Bd. 49/50, Ed. 6*.
- Rowell, L. B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*, 54(1), 75–159. <https://doi.org/10.1152/physrev.1974.54.1.75>
- Rühlemann, A., Mayer, C. U., Götte, L., Behringer, M., & Jäger, M. (2019). Funktionelle Kniestabilität im Handball: Ein unverzichtbares Kriterium für sicheren Sport [Functional Knee Stability in Handball: An Indispensable Criterion For Safe Sport]. *Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 33(2), 87–95. <https://doi.org/10.1055/a-0753-2285>
- Russell, B., Motlagh, D., & Ashley, W. W. (2000). Form follows function: How muscle shape is regulated by work. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 88(3), 1127–1132. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.1127>

- Rutherford, O. M., & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(1), 100–105. <https://doi.org/10.1007/BF00422902>
- Saeger, H.-D., Jauch, K.-W., & Bauer, H. (2006). *Chirurgisches Forum 2006*. Springer Berlin Heidelberg.
- Sander, A., Keiner, M., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2012). Entwicklung von Sprintleistungen durch ein Krafttraining im Nachwuchsleistungssport Fußball. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 24(2), 28-46.
- Saltin, B., & Gollnick, P. D. (2011-). Skeletal Muscle Adaptability: Significance for Metabolism and Performance. In R. Terjung (Ed.), *Comprehensive physiology*. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/cphy.cp100119>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>
- Sands, W. A., Apostolopoulos, N., Kavanaugh, A. A., & Stone, M. H. (2016). Recovery-Adaptation. *Strength and Conditioning Journal*, 38(6), 10–26. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000260>
- Schaible, H.-G., & Schmidt, R. F. (2006). *Neuro- und Sinnesphysiologie* (5., neu bearb. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer Medizin Verlag Heidelberg. <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1156433> <https://doi.org/10.1007/3-540-29491-0>
- Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Diagnostik und Trainierbarkeit der azyklischen Bewegungsschnelligkeit. In: Wiemeyer, J. (Hrsg.). *Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport*. Hamburg: Czwalina, 305-309.
- Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (2000). Grundlagen der Kraftdiagnostik in Prävention und Rehabilitation. *Manuelle Medizin*, 38(4), 223–231. <https://doi.org/10.1007/s003370070022>
- Schmidt, R. F., Lang, F., & Heckmann, M. (2011). *Physiologie des Menschen*. Springer Berlin Heidelberg.
- Schmidt, R. F., Thews, G., & Lang, F. (Eds.). (2000). *Springer-Lehrbuch. Physiologie des Menschen* (Achtundzwanzigste, korrigierte und aktualisierte Auflage). Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-09346-7>
- Schmidtbleicher, D. (1984). Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. *Lehre der Leichtathletik*, 30, 1785-1793.
- Schmidtbleicher, D. (2003). Motorische Eigenschaft Kraft: Struktur, Komponenten, Anpassungerscheinungen, Trainingsmethoden und Periodisierung. In Fritsch, W. (Hrsg.), *Rudern – erfahren, erkunden, erforschen*, 15-40. Gießen: Sport Media.
- Schmidt-Wiethoff, R., Rapp, W., Schneider, T., Haas, H., Steinbrück, K. & Gollhofer, A. (2000). Funktionelle Schulterprobleme und Muskelimbancen beim Leistungssportler mit Überkopfbelastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51(10), 327-335.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
- Schoenfeld, B. J. (2012). Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(5), 1441–1453. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824f207e>
- Schünke, M. (2000). *Topographie und Funktion des Bewegungssystems*. Thieme.
- Schwameder, H., (2009). Biomechanische Forschung im Skisprung – Ein Überblick. *Spectrum der Sportwissenschaften*. 68-95.
- Senn, B. (2018, Juli 26). The Autoregulation Book of Methods. <https://kabukistrength.com/the-auto-regulation-book-of-methods-includes-a-free-velocity-profiling-download-for-all-readers/>

- Seger, J. Y., Arvidsson, B., & Thorstensson, A. (1998). Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(1), 49–57. <https://doi.org/10.1007/s004210050472>
- Shephard, R. J., & Sidney, K. H. (1975). Effects of physical exercise on plasma growth hormone and cortisol levels in human subjects. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 3, 1–30.
- Shephard, R. J. & Pyley, M.J. (1992). Peripheral Circulation. In: Astrand, P.O. & Shephard, R.J. (eds.). *Encyclopedia of Sports Medicine*. London: Blackwell Scientific Publications. pp. 80-95.
- Shepstone, T. N., Tang, J. E., Dallaire, S., Schuenke, M. D., Staron, R. S., & Phillips, S. M. (2005). Short-term high- vs. Low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 98(5), 1768–1776. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01027.2004>
- Shima, N., Ishida, K., Katayama, K., Morotome, Y., Sato, Y., & Miyamura, M. (2002). Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 86(4), 287–294. <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0559-z>
- Siff, M. C. (2000). Biomechanical Foundations of Strength and Power Training. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in Sport* (pp. 103–139). Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470693797.ch6>
- Siff, M. C., & Verkoshansky, Y. V. (1999). *Supertraining*. 4th izd. Denver, Colorado: Supertraining International.
- Simmons, L. (2000). *Westside barbell book of methods*. Westside Barbell.
- Simmons, L. (2015). *Special strength development for all sports*. Westside Barbell.
- Sjøgaard, G., Savard, G., & Juel, C. (1988). Muscle blood flow during isometric activity and its relation to muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(3), 327–335. <https://doi.org/10.1007/BF00635992>
- Slobounov, S. (2008). *Foundations of sport-related injuries: Psychological perspectives* (1. Aufl.). Springer. <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10239463>
- Smirniotou, A., Katsikas, C., Paradisis, G., Argeitaki, P., Zacharogiannis, E., & Tziortzis, S. (2008). Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(4), 447–454.
- Steele, J., Endres, A., Fisher, J., Gentil, P., & Giessing, J. (2017). Ability to predict repetitions to momentary failure is not perfectly accurate, though improves with resistance training experience. *PeerJ*, 5, e4105. <https://doi.org/10.7717/peerj.4105>
- Steinhöfer, D. (2003). *Grundlagen des Athletiktrainings: Theorie und Praxis zu Kondition Koordination und Trainingssteuerung im Sportspiel*. Philippka-Sportverl.
- Stone, M. (1994). Anpassungserscheinungen unter einem Krafttraining im Bereich von Bindegewebe und Knochen. In: Komi, P. (Hrsg.) *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 277-289.
- Stone, M. H., Plisk, S. S., Stone, M. E., Schilling, B. K., O'Bryant, H. S., & Pierce, K. C. (1998). Athletic Performance Development: Volume Load—1 Set vs. Multiple Sets, Training Velocity and Training Variation. *Strength and Conditioning Journal*, 20(6), 22. [https://doi.org/10.1519/1073-6840\(1998\)020<0022:APDVLS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1519/1073-6840(1998)020<0022:APDVLS>2.3.CO;2)
- Struzik, A., & Pietraszewski, B. (2019). Relationships between Hamstrings-to-Quadriceps Ratio and Variables Describing Countermovement and Drop Jumps. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2019, 4505481. <https://doi.org/10.1155/2019/4505481>
- Styles, W. J., Matthews, M. J., & Comfort, P. (2016). Effects of Strength Training on Squat and Sprint Performance in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1534–1539. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001243>

- Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., & Stone, M. H. (2019). Implementing Eccentric Resistance Training—Part 1: A Brief Review of Existing Methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2), 38. <https://doi.org/10.3390/jfmk4020038>
- Tax, A. A., van der Denier Gon, J. J., Gielen, C. C., & van den Tempel, C. M. (1989). Differences in the activation of m. Biceps brachii in the control of slow isotonic movements and isometric contractions. *Experimental Brain Research*, 76(1), 55–63. <https://doi.org/10.1007/BF00253623>
- Terjung, R. (Ed.). (2011-). *Comprehensive physiology*. John Wiley and Sons.
- Terzis, G., Kyriazis, T., Karampatsos, G., & Georgiadis, G. (2012). Muscle strength, body composition, and performance of an elite shot-putter. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(4), 394–396. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.4.394>
- Tesch, P. A. (1987). Acute and Long-Term Metabolic Changes Consequent to Heavy-Resistance Exercise. In P. E. Marconnet & P. V. Komi (Eds.), *Medicine and sport science. Muscular function in exercise and training: 3rd International symposium on biological sciences in sport: Selected papers* (Vol. 26, pp. 67–89). Karger. <https://doi.org/10.1159/000414707>
- Tesch, A.P. (1994). Kurzzeitige und langfristige histochemische und biochemische Adaptationen im Skelettmuskel. In: Komi, P (Hrsg.): *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag (pp. 240-248).
- Testa, M., Noakes, T. D., & Desgorces, F.-D. (2012). Training state improves the relationship between rating of perceived exertion and relative exercise volume during resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(11), 2990–2996. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824301d1>
- Thorstensson, A., Hultén, B., Döbeln, W. von, & Karlsson, J. (1976). Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 96(3), 392–398. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1976.tb10207.x>
- Toigo, M. (2019). *MuskelRevolution - Konzepte und Rezepte zum Muskel- und Kraftaufbau*. Springer.
- Toigo, M. (2019). Neuronale Aspekte beim Krafttraining. In *MuskelRevolution*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-54765-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-662-54765-6_22)
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 643–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>
- Tschiene, P. (1985). Veränderungen in der Struktur des Jahrestrainingszyklus. *Leistungssport*, 15, 5-12.
- Tsimachidis, C., Patikas, D., Galazoulas, C., Bassa, E., & Kotzamanidis, C. (2013). The post-activation potentiation effect on sprint performance after combined resistance/sprint training in junior basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 31(10), 1117–1124. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.771817>
- Turner, A. N., & Stewart, P. F. (2014). Strength and Conditioning for Soccer Players. *Strength and Conditioning Journal*, 36(4), 1–13. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000054>
- Ulmer, H.-V. (2000). Arbeits- und Sportphysiologie. In R. F. Schmidt, G. Thews, & F. Lang (Eds.), *Springer-Lehrbuch. Physiologie des Menschen* (pp. 672–696). Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-09346-7\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-662-09346-7_31)
- Urhausen, A. & Kindermann, W. (2000). Aktuelle Marker für die Diagnostik von Überlastungszuständen in der Trainingspraxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51, 226-233.
- van Hooren, B., Bosch, F., & Meijer, K. (2017). Can Resistance Training Enhance the Rapid Force Development in Unloaded Dynamic Isoinertial Multi-Joint Movements? A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2324–2337. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001916>

- Van Mechelen, W., Twisk, J., Molendijk, A., Blom, B., Snell, J., & Kemper, H. (1996). Subject related risk factors for sport injuries: A 1-year prospective study in young adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1171-1179.
- Verkoshansky, Y., & Tatjan, W. (1975). Komponenten und funktionelle Struktur der Explosivkraft des Menschen. *Leistungssport*, 5, 25-31.
- Verstegen, M., Williams, P., & Garciparra, N. (2007). *Core Performance: The Revolutionary Workout Program to Transform Your Body and Your Life*. Rodale.
- Vierck, J., O'Reilly, B., Hossner, K., Antonio, J., Byrne, K., Bucci, L., & Dodson, M. (2000). Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biology International*, 24(5), 263–272. <https://doi.org/10.1006/cbir.2000.0499>
- Vogel, R. (2001). «Übertraining»: Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 49(4), 154-162.
- Waltman, N. L., Twiss, J. J., Ott, C. D., Gross, G. J., Lindsey, A. M., Moore, T. E., Berg, K., & Kupzyk, K. (2010). The effect of weight training on bone mineral density and bone turnover in postmenopausal breast cancer survivors with bone loss: A 24-month randomized controlled trial. *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation Between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 21(8), 1361–1369. <https://doi.org/10.1007/s00198-009-1083-y>
- Warren, G. L., Ingalls, C. P., Lowe, D. A., & Armstrong, R. B. (2001). Excitation-contraction uncoupling: Major role in contraction-induced muscle injury. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(2), 82–87. <https://doi.org/10.1097/00003677-200104000-00008>
- Weakley, J., Wilson, K., Till, K., Banyard, H., Dyson, J., Phibbs, P., Read, D., & Jones, B. (2020). Show Me, Tell Me, Encourage Me: The Effect of Different Forms of Feedback on Resistance Training Performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(11), 3157–3163. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002887>
- Weakley, J. J. S., Till, K., Read, D. B., Leduc, C., Roe, G. A. B., Phibbs, P. J., Darrall-Jones, J., & Jones, B. (2018). Jump Training in Rugby Union Players: Barbell or Hexagonal Bar? *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002742>
- Weakley, J. J. S., Wilson, K. M., Till, K., Read, D. B., Darrall-Jones, J., Roe, G. A. B., Phibbs, P. J., & Jones, B. (2019). Visual Feedback Attenuates Mean Concentric Barbell Velocity Loss and Improves Motivation, Competitiveness, and Perceived Workload in Male Adolescent Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2420–2425. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002133>
- Weicker, H., & Strobel, G. (1994). *Sportmedizin*. Fischer.
- Weineck, J. (2000). *Optimales Training*. Spitta-Verl.
- Willardson, J. M. (2007). Core stability training: Applications to sports conditioning programs. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 979–985. <https://doi.org/10.1519/R-20255.1>
- Williams, J. M., Hogan, T. D., & Andersen, M. B. (1993). Positive states of mind and athletic injury risk. *Psychosomatic Medicine*, 55(5), 468–472. <https://doi.org/10.1097/00006842-199309000-00010>
- Willoughby, D. S. (2004). Effects of heavy resistance training on myostatin mRNA and protein expression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 574–582. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121952.71533.ea>
- Wilson, G. J., Murphy, A. J., & Walshe, A. (1996). The specificity of strength training: the effect of posture. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(3-4), 346–352. <https://doi.org/10.1007/BF02425497>

- Wilson, K. M., Helton, W. S., Joux, N. R. de, Head, J. R., & Weakley, J. J. S. (2017). Real-time quantitative performance feedback during strength exercise improves motivation, competitiveness, mood, and performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 1546–1550. <https://doi.org/10.1177/1541931213601750>
- Wilson, K. M., Joux, N. R. de, Head, J. R., Helton, W. S., Dang, J. S., & Weakley, J. J. S. (2018). Presenting objective visual performance feedback over multiple sets of resistance exercise improves motivation, competitiveness, and performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 62(1), 1306–1310. <https://doi.org/10.1177/1541931218621299>
- Winkelman, N. (2021). *The language of coaching: The art & science of teaching movement*. Human Kinetics Inc.
- Wirth, K. (2011). *Exzentrisches Krafttraining*. Sportverlag Strauß.
- Wirth, K. (2013). *Krafttraining im Leistungssport: Theoretische und praktische Grundlagen für Trainer und Athleten* (2., korrig. Aufl.). *Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft: 2012/01*. Sportverl. Strauß.
- Wirth, K., Bob, A., Müller, S. & Schmidtbleicher, D. (2006/07). *Vergleich verschiedener Trainingsmethoden zur Schnellkraftentwicklung*. BISP-Jahrbuch, 191-202.
- Wirth, K., & Zawieja, M. (2008). Erfahrungen aus dem Gewichtheben für das leistungssportliche Krafttraining. Teil 1: Bedeutung der Wettkampf- und Trainingsübungen des Gewichthebens für die Entwicklung der Schnellkraft. *Leistungssport*, 38(5), pp. 10-13.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285–288. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002071>
- Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 54(4), 1143–1154. <https://doi.org/10.1080/713756012>
- Wulf, G., & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(4), 648–660. <https://doi.org/10.3758/BF03196201>
- Young, A., Stokes, M., Round, J. M., & Edwards, R. H. (1983). The effect of high-resistance training on the strength and cross-sectional area of the human quadriceps. *European Journal of Clinical Investigation*, 13(5), 411–417. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.1983.tb00122.x>
- Young, W., McLean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35(1), 13–19.
- Young, W., Pryor, J. & Wilson, G. (1995b). Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 232-236.
- Zatsiorsky, V. M. *Die körperlichen Eigenschaften des Sportlers. Trainerbibliothek: Bd. 3.*
- Zatsiorsky, V. M. (2000). *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention. Volume IX of the Encyclopaedia of sports medicine*. Blackwell Science.
- Zatsiorsky, V. M. (Ed.). (2000). *Biomechanics in Sport*. Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470693797>
- Zourdos, M. C., Jo, E., Khamoui, A. V., Lee, S.-R., Park, B.-S., Ormsbee, M. J., Panton, L. B., Contreras, R. J., & Kim, J.-S. (2016). Modified Daily Undulating Periodization Model Produces Greater Performance Than a Traditional Configuration in Powerlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3), 784–791. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001165>