

Assignment: Vertikalsprung

Carolin Drescher¹, Michael Schwerhoff¹, Sebastian Keller¹, and Peter Weil¹

¹German Sport University Cologne

12. Dezember 2019

Institution: Deutsche Sporthochschule Köln

Studiengang: M. Sc. Exercise Science and Coaching

Kurs: ESC1 - Biomechanik, Wintersemester 2017/2018

Dozent: Dr. Björn Braunstein

Gruppe: 5

Assignment: 2

Abbildungsverzeichnis

1	Typischer Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte eines Squat Jumps (SJ) mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Absprung, t_3 : Landung sowie der Gewichtskraft F_G des Athleten und dem Beschleunigungskraftstoß A (adaptiert nach Richter, 2011).	5
2	Typischer Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte bei einem Countermovement Jump (CMJ) mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung sowie der Gewichtskraft F_G des Athleten und den relevanten Kraftstößen A_1 : erster negativer Kraftstoß, A_2 : Bremskraftstoß, A_3 : propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß (adaptiert nach Richter, 2011).	6
3	Typischer Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte bei einem Drop Jump (DJ) mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Aufkommen auf der Messplatte, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung sowie der Gewichtskraft F_G des Athleten und den relevanten Kraftstößen A_1 : erster negativer Kraftstoß, A_2 : Bremskraftstoß, A_3 : propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß (adaptiert nach Richter, 2011).	7
4	Schema eines SJ: der Athlet springt aus einer ruhenden Kniebeugeposition ab, springt vertikal nach oben und landet anschließend wieder an der gleichen Stelle (Richter, 2011).	8
5	Schema eines CMJ: der Athlet startet aus dem Stand, begibt sich dann schwingvoll in die Hocke und führt anschließend einen rein vertikalen Sprung aus (Richter, 2011).	9
6	Schema eines DJ: der Athlet bewegt sich aus einer erhöhten Position nach vorne, bremst den Fall ab und stößt sich direkt wieder zum vertikalen Sprung ab (Richter, 2011).	10
7	Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte abzüglich der Gewichtskraft des Athleten bei dem zu analysierenden CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung sowie den relevanten Kraftstößen A_1 : erster negativer Kraftstoß, A_2 : Bremskraftstoß, A_3 : propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß.	12
8	Theoretisches Modell der Einflussfaktoren in Bezug auf Vertikalsprünge. Dreifachlinien stellen einen funktionellen Zusammenhang dar. Dicke Linien beschreiben einen statistischen Zusammenhang, gestrichelte Linien geben weitere Zusammenhänge an. Ebene 1 stellt die funktionelle Beziehung zur Sprungleistung auf Basis der mathematischen Berechnung dar. Ebene 2 beschreibt Bereiche, deren Parameter direkt die in Ebene 1 gezeigten Parameter beeinflussen. Ebene 3 und 4 beschreiben weitere Einflussfaktoren durch das motorische System sowie die Anatomie/Physiologie des Athleten. Aufgrund der limitierten Datenmenge können diese Ebenen in unserer Analyse nicht berücksichtigt werden (Abbildung aus Aragon-Vargas & Gross, 1997).	15
9	Kraft-Zeit-Verlauf beim CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung, $t_{\text{Abdr.}}$ = Abdruckdauer, A_1 erster negativer Kraftstoß, A_2 Bremskraftstoß, A_3 propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß.	18
10	Beschleunigungs-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung (erste Beschleunigungsveränderung), t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit (Beschleunigung wird positiv), t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit (Beschleunigung wird negativ), t_4 : Absprung (Beschleunigung entspricht g), t_5 : Landung (Beschleunigung nimmt zu und wird positiv).	19
11	Kraftstoß-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit (minimaler Kraftstoß vor dem Absprung), t_2 : Umkehrpunkt (Kraftstoß wird positiv), t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit (maximaler Kraftstoß), t_4 : Absprung (konstant abnehmender Kraftstoß), t_5 : Landung (Kraftstoß nimmt zu und wird positiv).	19

12	Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgescheindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt (Geschwindigkeit wird positiv), t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung (konstant abnehmende Geschwindigkeit), t_5 : Landung (Geschwindigkeit nimmt zu und wird positiv).	20
13	Höhen-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt (tiefster Punkt), t_3 : maximale Aufwärtsgescheindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung, h_T : tiefster Punkt der Abwärtsbewegung, h_{SP} : Sprunghöhe sowie Δh : Höhendifferenz.	20

Tabellenverzeichnis

1	Die Tabelle zeigt die wichtigen Parameter der Rohdatenanalyse. Dargestellt sind zusätzlich das Vorgehen bei der Berechnung sowie die erreichten Werte der entsprechenden Parameter.	14
2	Die Tabelle zeigt determinierende Parameter der sportmotorischen Leistung, welche dem Trainer als Grundlage der Ergebnisbesprechung visualisiert werden sollen. Zu diesem Zweck ist jeder Parameter mit dem aktuellen Wert des Athleten, einem Vergleichswert, welcher der durchschnittlichen Performance erfahrener Sportler entspricht, sowie einer subjektiven Bewertung der Diagnostiker, welche als Richtlinie zur zukünftigen Trainingsgestaltung dienen soll. Um die Vergleichbarkeit der Werte zu garantieren, wurden diejenigen Parameter, welche von der Tiefe der Gegenbewegung beeinflusst werden können (i.e. Sprunghöhe und max. Aufwärtsgeschwindigkeit) mit den Daten von Athleten mit einer vergleichbaren vertikalen KSP-Position zu Bewegungsbeginn in Zusammenhang gesetzt. Sämtliche Parameter, die maßgeblich von der Masse der Sportler abhängen, wurden zudem relativ zum Körpergewicht angegeben (propulsive impulse, Startkraft, mean force). Da uns keine Information zur genauen Position des Athleten zu Bewegungsbeginn vorliegt, konnte der in unseren Augen bedeutsame Parameter der Absprunghöhe nicht mit den Werten anderer Sportler verglichen werden. Alle anderen Parameter wurden nach deren von uns eingeschätzter Relevanz für das zukünftige Training von <i>primär verbesserungswürdig</i> (entspricht höchster Priorität) bis <i>in Ordnung</i> (entspricht vorerst geringer Priorität) eingestuft, um dem Trainer eine grobe Orientierung für künftige Maßnahmen zu geben.	16

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen	5
1.1	Beschreibung zeitlicher Events und relevanter Parameter in der Leistungsdiagnostik von Sprüngen	5
1.1.1	Squat Jump	5
1.1.2	Countermovement Jump	6
1.1.3	Drop Jump	7
1.2	Arbeitsweise der Beinstreckerkette bei unterschiedlichen Sprüngen	8
1.2.1	Squat Jump	8
1.2.2	Countermovement Jump	9
1.2.3	Drop Jump	9
1.3	Hauptgütekriterien der Vertikalsprungdiagnostik	10
1.4	Leistungsdiagnostisches Monitoring im Wasserspringen	11
2	Anwendungsbezogener Teil	12
2.1	Zeitliche Events und relevante Parameter einer Sprungdiagnostik	12
2.1.1	Wichtige zeitliche Events	12
2.1.2	Wichtige Parameter	13
2.2	Ergebnisbesprechung der Sprungdiagnostik	14
2.2.1	Wichtige Parameter für den Trainer	14
2.2.2	Phaseninformation	17
2.2.3	Qualität des Kraft-Zeit-Verlaufs	17
3	Anhang	18
3.1	Weitere Kurvenverläufe der Datenanalyse	18

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Beschreibung zeitlicher Events und relevanter Parameter in der Leistungsdiagnostik von Sprüngen

1.1.1 Squat Jump

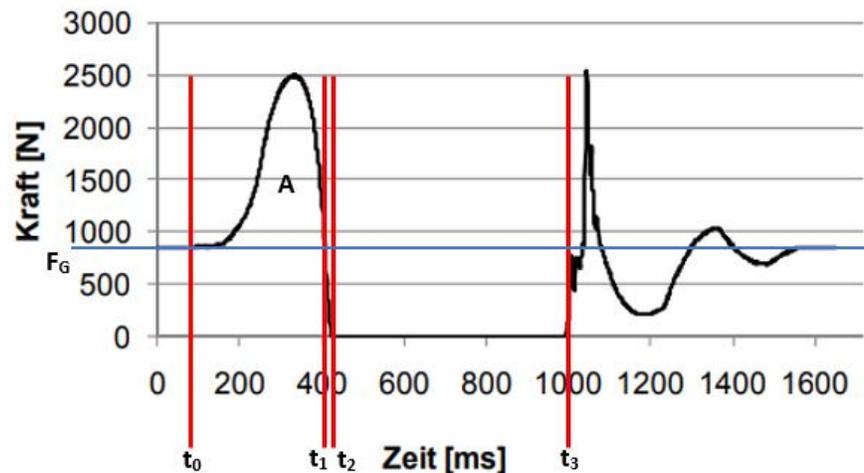


Abbildung 1: Typischer Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte eines Squat Jumps (SJ) mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Absprung, t_3 : Landung sowie der Gewichtskraft F_G des Athleten und dem Beschleunigungskraftstoß A (adaptiert nach Richter, 2011).

Da der SJ, dessen typischer Kraftverlauf in Abbildung 1 dargestellt ist, aus der Kniebeugeposition heraus ohne einleitende Gegenbewegung ausgeführt wird (Frick, Schmidtbleicher, & Wörn, 1991; Wank & Heger, 2009), entspricht die bis zum Zeitpunkt t_0 von der Messplatte ausgegebene Kraft annäherungsweise der Gewichtskraft des Athleten (minimale Schwankungen in der Messung des Sensors durch marginale Bewegungen des Athleten eingeschlossen). Zum Zeitpunkt t_0 beginnen Kraft und Beschleunigung erstmals deutlich, den Wert der Gewichtskraft (bzw. Erdbeschleunigung) zu übersteigen, wodurch die Aufwärtsbewegung des Körperschwerpunkts (KSP) ausgelöst wird. Zum Zeitpunkt t_2 , erreicht der Athlet seine maximale Aufwärtsgeschwindigkeit. Ausschlaggebend für den Betrag der Geschwindigkeit, ist der vertikale Beschleunigungskraftstoß (propulsive impulse) A, welcher der Fläche unter der Kraft-Zeit-Kurve abzüglich der Gewichtskraft F_G entspricht (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011). Dadurch determiniert dieser Kraftstoß ebenfalls zum Großteil den bedeutsamen Parameter der Absprunggeschwindigkeit zum Zeitpunkt t_2 (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006). Neben dem Betrag der Absprunggeschwindigkeit spielt ebenfalls die Position des KSP am Absprungpunkt eine wichtige Rolle. Je höher diese Position, desto höher kann der Athlet in der darauffolgenden Flugphase springen (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006). In diesem vom Absprung (t_2) bis zur Landung (t_3) andauernden Abschnitt hat der Athlet keine Möglichkeit mehr, den Verlauf des Sprungs zu beeinflussen (außer durch Nachschwingen der Arme, die daher in der Diagnostik meistens standardisiert in die Hüfte gestemmt werden) (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006; Wank & Heger, 2009). Eine methodische Schwierigkeit beim SJ stellt die Tiefe der Startposition dar, die individuell sehr unterschiedlich gewählt wird (Richter, 2011). Dadurch dass bei einer tieferen Startposition die Abdruckdauer sowie der Beschleunigungsweg verlängert werden (Richter, 2011), können unter Umständen größere Sprunghöhen erzielt werden (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011). Da jedoch mit einer größeren Abdruckdauer in der Regel auch eine geringere Maximalkraft (peak force) einhergeht (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006), welche als ebenfalls determinierender Parameter bezogen auf die

Sprunghöhe erachtet wird (Dowling & Vamos, 1993), kann keine generelle Aussage über das Verhältnis von peak force und Absprungdauer getätigt werden. Die individuell optimale Akzentuierung der beiden Komponenten hängt insbesondere von der Kraft-Längen-Relation der Muskeln ab (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006). Daher wird die peak force in Sachen Diagnostik als weniger geeigneter Parameter gewertet (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011).

1.1.2 Countermovement Jump

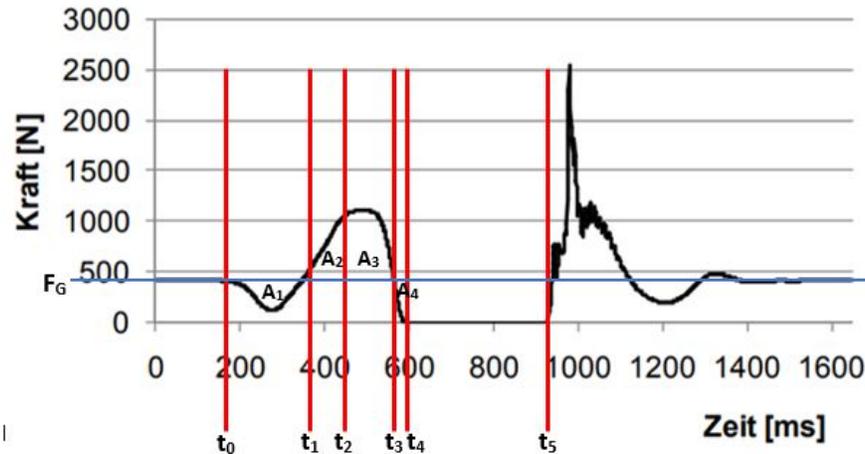


Abbildung 2: Typischer Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte bei einem Countermovement Jump (CMJ) mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung sowie der Gewichtskraft F_G des Athleten und den relevanten Kraftstößen A_1 : erster negativer Kraftstoß, A_2 : Bremskraftstoß, A_3 : propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß (adaptiert nach Richter, 2011).

Im Gegensatz zum SJ beginnt der CMJ, wie in Abbildung 2 zu sehen, mit einer Absenkung des KSP, die zeitlich auf das Sinken der Kraft- und Beschleunigungs-Zeit-Kurven unter den Wert der Gewichtskraft bzw. der Erdbeschleunigung zum Zeitpunkt t_0 folgt. Zum Zeitpunkt t_1 , der (zusammen mit t_0) den ersten negativen Kraftstoß A_1 definiert, besitzt der Athlet die maximale Abwärtsgeschwindigkeit. Der Umkehrpunkt t_2 , an dem der Athlet die tiefste Körperposition vor dem Sprung einnimmt, wird erreicht, wenn der Bremskraftstoßbetrag A_2 abzüglich der konstanten Gewichtskraft F_G gleich dem Betrag des ersten negativen Kraftstoßes A_1 ist. Eine tiefere Gegenbewegung kann aufgrund der daraus resultierenden Verlängerung von Beschleunigungsweg und Kraftwirkungsdauer (Richter, 2011) zu einer größeren Sprunghöhe führen (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011). Durch die Gegenbewegung hat der Athlet zudem bereits zu Beginn des eigentlichen propulsive impulse A_3 eine positive Startkraft, die jedoch noch nicht der peak force entsprechen sollte, da diese optimaler Weise erst in der propulsive phase erreicht wird (Sole, 2015). Da sich Kraft sowie die Dauer ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen (i. d. R. werden bei einer größeren Abdruckdauer niedrigere peak force Werte erreicht, während die höchsten Kraftwerte tendenziell bei kurzer Absprungdauer beobachtet werden (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006)) und gleichzeitig beide Parameter wiederum die resultierende sportmotorische Leistung, i.e. die Sprunghöhe, beeinflussen, erscheint es aus Sicht der Diagnostik weniger sinnvoll, diese Parameter getrennt zu betrachten. Der propulsive impulse A_3 , welcher genau diesen Zusammenhang, nämlich die Wirkung der Kraft über die Zeit beschreibt (zwischen t_2 und t_3), wird als maßgeblicher Faktor der aus der Bewegung resultierenden sportmotorischen Leistung erachtet (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011), weil er ausschlaggebend für die maximale Aufwärtsgeschwindigkeit in t_3 ist. Aus diesem Grund wird die Phase von t_2 bis t_3 auch als propulsive phase bezeichnet (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006; Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011).

Der Geschwindigkeitsverlust vom Zeitpunkt der maximalen Aufwärtsgeschwindigkeit t_3 zum Absprungpunkt t_4 stellt ein Merkmal der Bewegungseffizienz des Athleten dar, die sich neben der Geschwindigkeitsdifferenz auch in dem Betrag des gesamten Kraftstoßes (sprich der Differenz aus A_3 und A_4) manifestiert und für eine große Sprunghöhe möglichst gering ausfallen sollte. Ein weiteres Kennzeichen effizienter Bewegung stellt das Verhältnis von Bremskraftstoß A_2 zu propulsive impulse A_3 dar, wobei kleinere Werte tendenziell mit größeren Sprunghöhen korrelieren (Dowling & Vamos, 1993). Neben der Geschwindigkeit wird die Sprunghöhe lediglich durch die Position des KSP zum Absprungzeitpunkt t_4 determiniert, welcher daher für eine maximale sportmotorische Leistung maximal hoch gewählt werden sollte (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006). Wie schon beim SJ beschrieben, hat der Athlet in der Flugphase von t_4 bis zur Landung t_5 keine Möglichkeit mehr, den Verlauf des Sprungs zu beeinflussen (außer durch Nachschwingen der Arme, die daher in der Diagnostik meistens standardisiert in die Hüfte gestemmt werden) (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006; Wank & Heger, 2009). Neben dem propulsive impulse sowie der peak force werden häufig die maximale Leistung (peak power) sowie die jeweiligen Durchschnittswerte, die mean force und die mean power angegeben. Auch wenn verschiedene Untersuchungen eine positive Korrelation zwischen Kraft bzw. Leistung und der resultierenden Sprunghöhe zeigen konnten (Dowling & Vamos, 1993; Nuzzo, McBride, Cormie, & McCaulley, 2008; Peterson, Avar, & Rhea, 2006; Rousanoglou, Georgiadis, & Boudolos, 2008), bevorzugen Kirby 2011 die Verwendung des propulsive impulse, da dabei wie oben bereits erklärt, neben der Kraft auch deren Wirkungsdauer Berücksichtigung findet. Gleiches gilt auch für die Kraftanstiegsrate sowohl als Mittel- (mean rate of force development (RFD)) als auch als Spitzenwert (peak RFD), die dennoch als wichtiger Einflussfaktor in Bezug auf die Sprunghöhe erachtet wird (McLellan, Lovell, & Gass, 2011).

1.1.3 Drop Jump

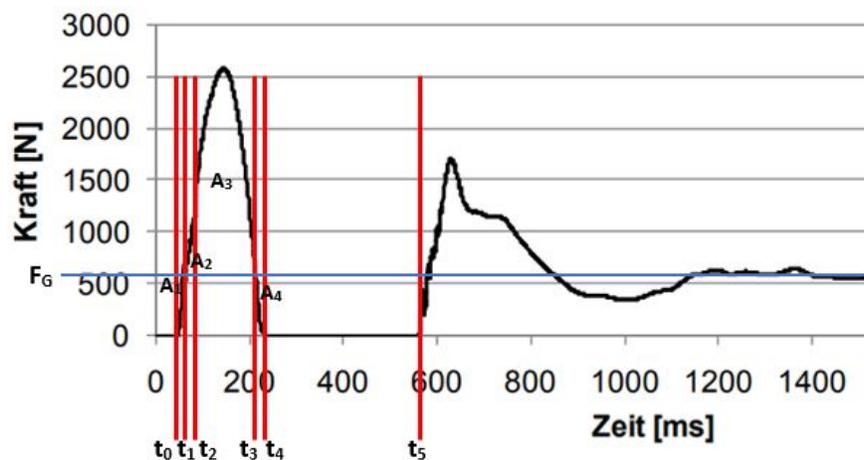


Abbildung 3: Typischer Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte bei einem Drop Jump (DJ) mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Aufkommen auf der Messplatte, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung sowie der Gewichtskraft F_G des Athleten und den relevanten Kraftstößen A_1 : erster negativer Kraftstoß, A_2 : Bremskraftstoß, A_3 : propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß (adaptiert nach Richter, 2011).

Der in Abbildung 3 veranschaulichte typische Kraft-Zeit-Verlauf beim DJ beginnt bei t_0 mit einem rasanten Anstieg der Werte aufgrund des Aufkommens des Athleten nach dem Niedersprung auf der Messplatte. Abhängig von der Ausgangshöhe werden unterschiedliche Sprunghöhen erreicht, wobei mittlere im Vergleich zu hohen bzw. niedrigen Fallhöhen zu besseren Ergebnissen führen (Arteaga, Dorado, Chavarren, & Calbet, 2000). Kurz nach t_0 , zum Zeitpunkt t_1 , der sich in einem Vorzeichenwechsel der Kraft-Zeit-Kurve abzüglich der Gewichtskraft F_G des Athleten manifestiert, wird die maximale Abwärtsgeschwindigkeit erreicht, die bis zum Folgezeitpunkt t_2 wieder den Wert 0 und anschließend positive Werte annimmt. Da in t_2 auch die tiefs-

te Position des KSP erreicht wird, spricht man von dem Umkehrpunkt der Bewegung. Die Tiefe des KSP beeinflusst den Betrag des ersten negativen Kraftstoßes A_1 (von t_0 bis t_1) und damit auch den des Bremsstoßes A_3 (von t_1 bis t_2), welcher aufgebracht werden muss, um A_1 auszugleichen. Durch das Abbremsen der Gegenbewegung wird ähnlich wie beim CMJ eine Startkraft erzeugt, mit der der Athlet in die propulsive phase eintritt. Dieser Abschnitt dauert von dem Umkehrpunkt t_2 bis zu dem Punkt der maximalen Aufwärtsgeschwindigkeit t_3 , die von der Fläche unter der Kraft-Zeit-Kurve, sprich dem propulsive impulse (A_3) determiniert wird. Da im Gegensatz zum CMJ das Ziel des DJ darin besteht, die Bodenkontaktzeit (Abdruckdauer), i.e. den Zeitabschnitt zwischen t_0 und t_4 , möglichst gering zu halten (unter 200 ms (Richter, 2011)), werden i. d. R. höhere mean und peak force Werte erreicht als beim CMJ (Bobbert, Mackay, Schinkelshoek, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1986). Aufgrund der relativ einheitlichen Kraftwirkungsdauer, die der Abdruckdauer entspricht, werden die mean und die peak force genau wie die mean und die peak RFD im Gegensatz zum CMJ als maßgeblich determinierende Faktoren der resultierenden sportmotorischen Leistung und daher auch als valide diagnostische Parameter erachtet (Richter, 2011), weil sie hauptsächlich den Betrag des propulsive impulse bestimmen. Daneben weisen auch die mean und die peak power als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit einen bedeutsamen Zusammenhang mit der Sprunghöhe auf (Dowling & Vamos, 1993; Walsh, Arampatzis, Schade, & Brüggemann, 2004). Ähnlich wie beim CMJ stellt die Differenz aus der maximalen Aufwärtsgeschwindigkeit in t_3 sowie der Absprunggeschwindigkeit in t_4 , die proportional zur Differenz der Kraftstöße A_3 und A_4 ist, ein Maß für die Effizienz der Bewegung dar und ist für eine möglichst hohe Sprunghöhe zu minimieren. Neben der Absprunggeschwindigkeit ist schlussendlich wiederum die vertikale Position des KSP zum Absprungzeitpunkt t_4 ausschlaggebend für die resultierende Sprunghöhe. Je größer die beiden Determinanten der sportmotorischen Leistung, desto größer ist letztendlich die Sprunghöhe, die nach dem Absprung bei t_4 bis zur Landung zum Zeitpunkt t_5 höchstens noch durch ein Nachschwingen der Arme beeinflusst werden könnte, weswegen die Arme in der Diagnostik meistens standardisiert in die Hüfte gestemmt werden (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006; Wank & Heger, 2009).

1.2 Arbeitsweise der Beinstreckerkette bei unterschiedlichen Sprüngen

1.2.1 Squat Jump

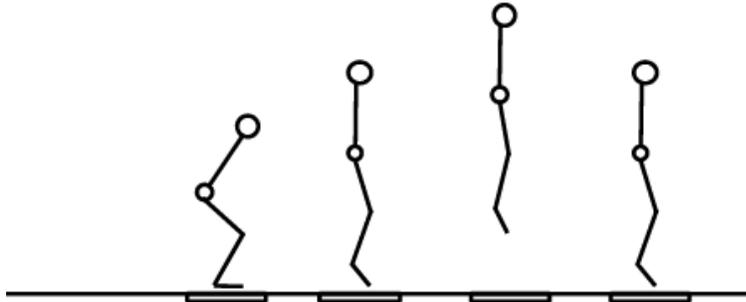


Abbildung 4: Schema eines SJ: der Athlet springt aus einer ruhenden Kniebeugeposition ab, springt vertikal nach oben und landet anschließend wieder an der gleichen Stelle (Richter, 2011).

Wie bereits beschrieben, wird der SJ aus einer Kniebeugeposition durchgeführt. Der Athlet versucht dabei, aus dieser Position einen möglichst großen Sprung in vertikale Richtung durchzuführen. Hierbei ergibt sich für ihn nicht die Möglichkeit, aus einer Gegenbewegung Schwung aufzunehmen. Variationen beim SJ ergeben sich durch den Einsatz der Arme. Je nach Vorgabe wird es dem Athleten erlaubt, diese zum Schwung holen zu nutzen oder fest am Körper zu halten. Weitere Variationen ergeben sich aus dem Flexionswinkel in den Knie- und Hüftgelenken. Diese haben entscheidenden Einfluss auf die Sprunghöhe. Für vergleichbare Ergebnisse innerhalb eines Testverfahrens sollte den Athleten die Startposition vorgegeben werden. Die Durchführung

des Sprungs wird in Abbildung 4 schematisch dargestellt. Da der Athlet aus einer ruhenden Position abspringt, leistet die Beinstreckermuskulatur rein konzentrische Arbeit. Hierbei muss die Körpermasse gegen die Gravitationskraft möglichst stark vertikal beschleunigt werden (Frick, Schmidtbleicher, & Wörn, 1991; Wank & Heger, 2009).

1.2.2 Countermovement Jump

Der CMJ wird aus einer aufrechten Standposition durchgeführt. Aus dieser Position begibt sich der Athlet mit einer schnellen Ausholbewegung in die Hocke, bis er einen Kniewinkel von ungefähr 90 Grad erreicht. Darauf folgt eine maximale Streckbewegung in die Vertikale. Nach der Sprungphase landet der Athlet wieder an der gleichen Stelle. Die nachfolgende Abbildung gibt die Phasen des Bewegungsablaufs eines CMJ schematisch wieder:

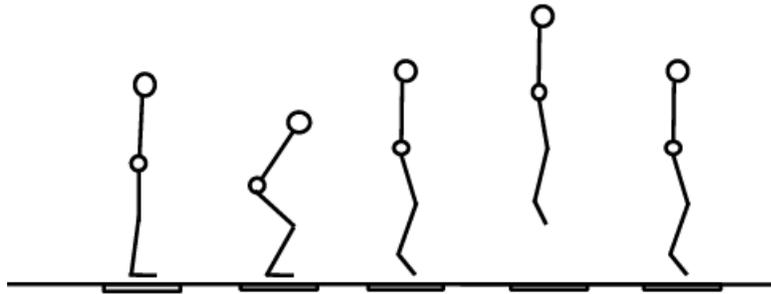


Abbildung 5: Schema eines CMJ: der Athlet startet aus dem Stand, begibt sich dann schwingvoll in die Hocke und führt anschließend einen rein vertikalen Sprung aus (Richter, 2011).

Die Muskulatur arbeitet bei dieser Sprungform sowohl konzentrisch als auch exzentrisch. Durch das Ausholen und die Bewegung in die Hocke muss die beinstreckende Muskulatur die oberhalb von hier gelegene Muskelmasse abbremsen. Dies geschieht durch exzentrische Muskelarbeit. Ab dem Moment, in dem der Körper in eine aufwärts gerichtete Bewegung übergeht, arbeitet die Beinstreckermuskulatur konzentrisch (Frick, Schmidtbleicher, & Wörn, 1991; Wank & Heger, 2009).

Durch die Ausholbewegung kommt es im Muskel-Sehnen-Apparat zu einem Dehnungs-Verkürzung-Zyklus (Stretch-shortening-cycle, SSC). Dieser kommt bei alltäglichen Bewegungen wie dem Gehen, Laufen und Springen vor. Hierbei handelt es sich um ein Phänomen, bei dem die Muskulatur durch den Untergrund trotz aktiver Arbeit gedehnt wird (Stretch-Phase). Dabei handelt es sich um eine Kombination aus exzentrischer und konzentrischer Arbeit des Muskels. Während dieses Vorgangs wird die Sehne ebenfalls gedehnt und puffert die Bewegungsenergie. In der anschließenden konzentrischen Phase potenziert sich die Sprungkraft gegenüber eines Sprungs aus ruhender Position. Dies ermöglicht wesentlich höhere Resultate in vertikalen Sprüngen (Komi, 2003).

1.2.3 Drop Jump

Der DJ wird von einer erhöhten Ausgangsstellung aus durchgeführt. Dies bedeutet, dass der Athlet in aufrechter Körperhaltung auf einem Podest steht. Durch einen Schritt nach vorn wird eine kurze Phase des freien Falls eingeleitet. Während der Landung begibt sich der Athlet durch das Bremsen des Schwungs durch den freien Fall in eine leichte Hockposition ehe er sich anschließend durch einen Sprung in die Vertikale befördert. Bei dieser Sprungform ist es besonders wichtig darauf zu achten, eine möglichst kurze Bodenkontaktzeit zu erreichen, damit der SSC nicht unterbrochen wird. Der Bewegungsablauf wird in der nachfolgenden Abbildung verdeutlicht:

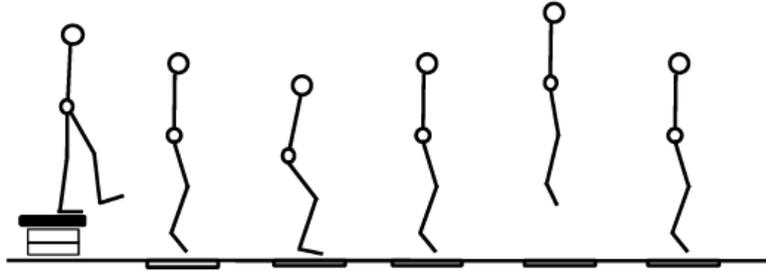


Abbildung 6: Schema eines DJ: der Athlet bewegt sich aus einer erhöhten Position nach vorne, bremst den Fall ab und stößt sich direkt wieder zum vertikalen Sprung ab (Richter, 2011).

Wie beim CMJ arbeitet die Muskulatur nach der Landung zunächst exzentrisch um die Körpermasse abzubremsen. Darauf folgt eine Phase konzentrischer Muskelarbeit, um den Sprung durchzuführen.

Auch hier kommt es im Muskel-Sehnen-Apparat zu einem SSC. Die Belastung des Bewegungsapparates, insbesondere der Muskeln, Sehnen und teilweise auch Bänder der Gelenke, fällt beim DJ wesentlich höher aus als beim CMJ. und sollte daher nicht unterschätzt werden. Durch die möglichst kurze Bodenkontaktzeit wird eine große koordinative Herausforderung an den Athleten gestellt, was auch für das zentrale Nervensystem eine große Belastung darstellt (Komi, 2003).

1.3 Hauptgütekriterien der Vertikalsprungdiagnostik

Verschiedene Vertikalsprünge werden heutzutage als Sprungkrafttest genutzt, um in mehreren Sportarten die Kraftentwicklung der Beinstreckerkette zu ermitteln und die Werte miteinander zu vergleichen. Zu den drei am häufigsten genutzten Vertikalsprüngen gehört der SJ, der CMJ und der DJ (Frick, Schmidtbleicher, & Wörn, 1991).

Für eine exakte Messung der Vertikalsprünge wird die Nutzung von Kraftmessplatten eingesetzt. Diese erzeugen durch eine Verformung der Dehnmessstreifen einen elektrischen Widerstand, welcher Spannungsänderungen zur Folge hat, die proportional mit der Krafteinwirkung des Athleten übereinstimmen (Schwameder, 2009). Dies sorgt für eine exakte Messung der Sprungleistung und erhöht somit die *Objektivität* der Vertikalsprungdiagnostik. Durch eine standardisierte Nutzung der Kraftmessplatten, sollten die Ergebnisse des Probanden unabhängig von der messenden Person miteinander übereinstimmen (Wank & Heger, 2009).

Da in vielen Sportarten, wie zum Beispiel dem Weit-, Hoch- oder Dreisprung, die Sprungbewegungen eine vertikale und horizontale Komponente besitzen, wird die *Validität* der Vertikalsprungdiagnostik dadurch beeinflusst, dass die Sprungtestes der einzelnen Vertikalsprünge die Kraft in ausschließlich vertikaler Richtung messen und die horizontale Komponente nicht beachtet wird (Wank & Heger, 2009). Dies hat zur Folge, dass die Messwerte nicht exakt der sportartspezifischen Sprungleistung entsprechen. Dennoch stellt die Vertikalsprungdiagnostik mit den drei genannten, standardisierten Sprüngen und der Nutzung einer Kraftmessplatte ein valides Instrument zur Erfassung der (Sprung-)Kraft der Beinmuskulatur dar (Wank & Heger, 2009).

Der Ablauf der verschiedenen Vertikalsprünge kann sowohl mit Armschwung, als auch ohne Armschwung durchgeführt werden. Damit eine hohe *Reliabilität* des Tests besteht, sollte die Ausführung der Sprungtechnik bei einer wiederholten Messung identisch mit der vorherigen Messung durchgeführt werden. Es ist zu empfehlen, die Arme während des Sprungs am Körper zu fixieren, damit ausschließlich die Sprungkraft der Beine gemessen wird (Wank & Heger, 2009). Des Weiteren wird die Tiefe des SJ individuell gewählt und kann somit zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Durch eine tiefere Startposition wird der Beschleunigungsweg verlängert und das Drehmoment vergrößert, wodurch unterschiedliche Ergebnisse erzeugt werden

können. Bei der Kraftmessung des DJ sollte eine einheitliche Fallhöhe eingesetzt werden, da unterschiedliche Fallhöhen Auswirkungen auf die Ergebnisse haben können (Arteaga, Dorado, Chavarren, & Calbet, 2000).

Zusätzlich sollte beachtet werden, dass die Kraftmessungen der einzelnen Vertikalsprünge jeweils zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und nicht miteinander verglichen werden sollten. Zum Beispiel zeigen die Ergebnisse des SJ vorwiegend die Maximalkraft der Beinstreckschlinge eines Athleten, da eine ausschließlich konzentrische Arbeitsweise mit einer hohen Ausführungsgeschwindigkeit geleistet wird. Der CMJ hingegen testet vorwiegend die Schnellkraftleistung eines Athleten aufgrund der exzentrisch-konzentrisch arbeitenden Beinmuskulatur und einer hohen Ausführungsgeschwindigkeit. Der DJ arbeitet, wie der CMJ, exzentrisch-konzentrisch. Durch die geringere Bodenkontaktzeit wird jedoch hauptsächlich die Reaktivkraftfähigkeit bestimmt (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Die Hauptgütekriterien sollten somit auf einen individuellen Vertikalsprung angewendet werden.

1.4 Leistungsdiagnostisches Monitoring im Wasserspringen

Für die Sportart Wasserspringen ist eine Vertikaldiagnostik durchaus als sinnvoll zu erachten. Das leistungsdiagnostische Monitoring über die Zeit bietet hierbei mehrere Möglichkeiten, die individuelle sportmotorische Leistung zu verbessern und Bewegungsabläufe zu optimieren. Dies wird bei Betrachtung der Leistungsdeterminanten dieser Sportart deutlich. Nach diesen sind insbesondere die Vertikalgeschwindigkeit beim Absprung und somit der daraus resultierende vertikale Kraftstoß von großer Bedeutung. Diese determinieren die Höhe und damit auch die Ausführungsdauer des Sprungs (Köthe & Falk, 2004). Die Optimierung des vertikalen Kraftstoßes und der damit verbundenen längeren Flugzeit ermöglicht dem Athleten, die angestrebte Anzahl an Rotationen um die Längs- und Breitenachse kontrollieren und unter geringerem Zeitdruck auszuführen.

Diese Optimierung kann durch eine Vertikaldiagnostik entscheidend unterstützt werden. Denn deren Ergebnisse können neben der Sprunghöhe, die dynamische Maximalkraft sowie den Kraft-Zeitverlauf darstellen. Insbesondere am Kraft-Zeit-Verlauf können Phasen identifiziert werden, in welchen der Athlet bzw. die Athletin Kraft - und dadurch auch Sprunghöhe - einbüßt. Dadurch kann der Trainer bzw. die Trainerin gezielt Übungen für diese entsprechenden zeitlichen Abschnitte der Bewegung einführen. Zudem geben die Werte der dynamischen Maximalkraft Aufschluss darüber, welche Kraft der Athlet bzw. die Athletin innerhalb der Bewegung realisieren kann. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit einer Maximalkraftmessung ermöglicht eine Überprüfung, ob in der Bewegungsausführung eine größtmögliche Kraft erzeugt werden kann. Weiterhin ermöglicht die Diagnostik eine Verlaufskontrolle von Trainingsinterventionen, welche die zuvor genannten Parameter betreffen. Abschließend ermöglicht sie den Vergleich von verschiedenen Athletinnen und Athleten untereinander.

Im saisonalen Verlauf ist die Diagnostik an verschiedenen Abschnitten denkbar. Zum einen zu Beginn einer Saison. Hier könnten die Ergebnisse dazu beitragen, eventuelle Defizite (z. B. dynamische Maximalkraft) aufzuzeigen. Voraussetzung hierfür sind jedoch Vergleichswerte, welche sowohl von anderen Athleten als auch von vorherigen Messungen des gleichen Individuums stammen können. Eine weitere Möglichkeit ist das Einbinden der Diagnostik über einen längeren zeitlichen Abschnitt in das Training als Verlaufskontrolle. Dadurch kann die Entwicklung des Individuums im Vergleich zu sich selbst und zur Gruppe beobachtet werden. Aber auch der Einsatz der Diagnostik nach einer Verletzungspause ist ein denkbares Szenario. Hier könnten die Ergebnisse auch einen Verlauf darstellen, welcher als eines von mehreren Kriterien herangezogen werden könnte, wenn es um die Beurteilung des Leistungsstandes des Athleten geht und um die Frage, ob dieser wieder für bestimmte Intensitäten im Training oder für Wettkämpfe einsatzbereit ist.

2 Anwendungsbezogener Teil

2.1 Zeitliche Events und relevante Parameter einer Sprungdiagnostik

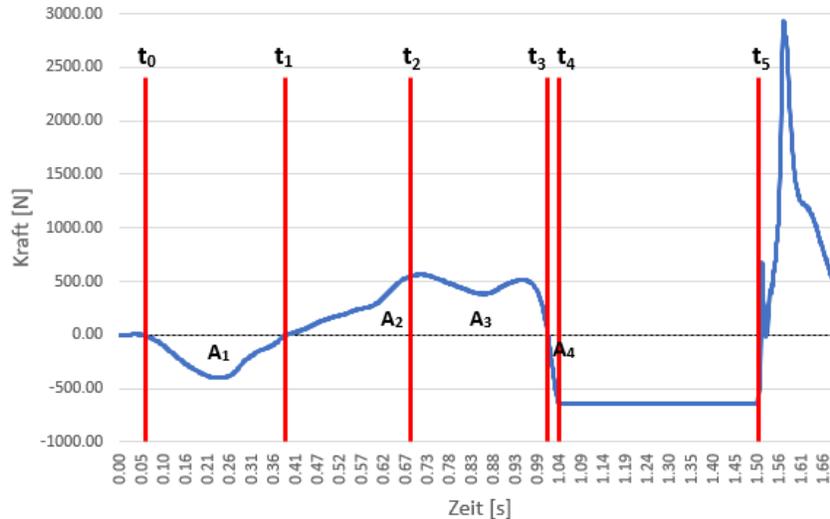


Abbildung 7: Kraft-Zeit-Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskräfte abzüglich der Gewichtskraft des Athleten bei dem zu analysierenden CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung sowie den relevanten Kraftstößen A_1 : erster negativer Kraftstoß, A_2 : Bremskraftstoß, A_3 : propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß.

Abbildung 7 stellt die Auswertung der Vertikalsprungdiagnostik des zu analysierenden CMJ dar. Für die Bestimmung zeitlicher Events und relevanter Parameter wurden die Rohdaten unter anderem integriert. Weitere Abbildungen aus der Analyse sind dem Anhang (Abbildung 9 - 13) zu entnehmen.

2.1.1 Wichtige zeitliche Events

Für die leistungsdiagnostische Untersuchung des in den Rohdaten dargestellten CMJ können verschiedene zeitliche Events bestimmt werden. Für unsere Analyse haben wir sechs wichtige zeitliche Events definiert:

Der Zeitpunkt t_0 beschreibt den Start der Bewegungsausführung. Dieser Zeitpunkt wird dann erreicht, wenn in der geglätteten Kraftkurve (gleitender Mittelwert über 30 Werte) der Kraftwert das erste Mal einen Wert [?] -40 N einnimmt. Diese Bedingung wird nach 0,067 s erfüllt.

Das zweite Event ist die maximale Abwärtsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t_1 . Dieses Event wird durch den ersten Vorzeichenwechsel vom negativen zum positiven Bereich der geglätteten Kraftkurve nach dem Start der Bewegungsausführung bestimmt. Im untersuchten Sprung wird dies nach 0,382 s erreicht.

Der Umkehrpunkt stellt das dritte Event (t_2) dar und beschreibt den Wechsel der KSP-Bewegung von einer Abwärtsbewegung zur Aufwärtsbewegung. Dieses Event wird durch den ersten Vorzeichenwechsel von negativen zu positiven Werten im Integral der geglätteten Kraftkurve bestimmt und tritt nach 0,683 s ein.

Das nächste Event (t_3) beschreibt die maximale Aufwärtsgeschwindigkeit. Dieses Event wird durch den ersten Vorzeichenwechsel von positiven zum negativen Bereich der geglätteten Kraftkurve definiert. In der Kraftkurve wird dieses Event nach 0,996 s erreicht.

Das fünfte Event (t_4) definiert den Absprung beziehungsweise das Verlassen der Kraftmessplatte. Dieser Punkt wird erreicht, wenn die geglattete Kraftkurve dem anschließend konstant bleibenden Wert der negativen Gewichtskraft (-644.87 N) entspricht. Nach 1.037s ist diese Bedingung im Rohdatensatz erfüllt.

Die Landung (t_5) stellt das letzte definierte Event dar. Die Landung haben wir als Zeitpunkt, zu welchem in der geglatteten Kraftkurve das erste Mal nach t_4 der Wert der negativen Gewichtskraft überschritten wird, definiert. Dies passiert nach 1.478 s.

Anhand der genannten Zeitpunkte können verschiedene Bewegungsphasen des CMJ definiert werden:

- Abwärtsbeschleunigung des KSP vom Zeitpunkt t_0 bis t_1
- Abwärtsbewegung (des KSP) von t_0 bis t_2
- Bremskraftstoss von t_1 bis t_2
- propulsive phase von t_2 bis t_3 (vergleiche Kirby, 2011)
- Absprungsphase von t_3 bis t_4
- Flugphase von t_4 bis t_5
- Landungsphase ab t_5

2.1.2 Wichtige Parameter

Für die Analyse der vorhandenen Daten ist die Bestimmung von relevanten Parametern von Bedeutung. Tabelle 1 zeigt die unsererseits für wichtig erachteten Parameter der Vertikalsprung-Analyse. Grundlegendes Ziel der Bewegungsausführung ist es, einen möglichst hohen Sprung zu erzielen. Aus diesen Grund stellt die Sprunghöhe den primären Parameter der Vertikalsprungdiagnostik dar. Die Sprunghöhe wird über die Absprunggeschwindigkeit berechnet. Die vorhandene Absprunggeschwindigkeit, sowie ein möglicher Verlust von maximaler Aufwärtsgeschwindigkeit zur Absprunggeschwindigkeit ist zudem ein diagnostisch interessanter Wert. Des Weiteren sind alle Parameter, welche eine möglichst hohe Absprunggeschwindigkeit ermöglichen, für die Leistungsanalyse bedeutend. Hierunter zählen beispielsweise die Abdruckdauer, das Kraftstoßverhältnis oder auch Eigenschaften der propulsiven Phase (Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006; Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Bobbert, Mackay, Schinkelshoek, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1986; Cronin, Hing, & McNair, 2004; Aragon-Vargas & Gross, 1997). Neben den genannten spezifischen Parametern scheinen auch maximale Werte der Kraft und Leistung mit der Sprungleistung zu korrelieren und können somit einen Einblick in die Leistung des ausgeführten Vertikalsprunges geben (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011).

Zusätzlich zu den bereits genannten Parametern wurden Eigenschaften der RFD analysiert. McLellan et al. (2011) konnten aufzeigen, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der Sprunghöhe und der RFD besteht und dass Probanden mit einer höheren peak RFD bessere Sprungleistungen aufwiesen. Um eine weiter gefasste Aussage über die Sprungleistung des Athleten formulieren zu können, wurden diese Parameter ergänzend aufgezeichnet beziehungsweise berechnet.

Es können verschiedene Methoden zur Verbesserung der Sprunghöhe angewandt werden. Vargas und Gross (1997) legen in ihrem Paper dar, dass durch Krafttraining der unteren Extremitäten die Sprungleistung geringfügig verbessert werden können (8 - 12%). Außerdem zeigen sie auf, dass die vertikale Position und Beschleunigung des KSP zum Absprungszeitpunkt aufgrund der mathematischen Berechnung die Sprungleistung direkt beeinflussen. Diese Parameter werden unter anderem durch die durchschnittliche Kraft in der propulsiven phase sowie die vom KSP zurückgelegte Strecke beeinflusst (Aragon-Vargas & Gross, 1997). Weitere Einflussfaktoren ihrer Untersuchung sind in Abbildung 8 dargestellt. Aufgrund der vorhandenen Rohdaten konzentriert sich unserer Analyse nur auf Ganzkörperkinematik und -dynamik. Für zukünftige Analysen wäre es jedoch sinnvoll die Analyse der Gelenkskinematik und -dynamik mit einzubeziehen.

Parameter	Berechnung	Wert
Sprunghöhe [m]	maximale Höhe des KSP in der Flugphase im Vergleich zum Stand; $h = v^2/2g$	0.21
propulsive impulse [Ns]	Integral des Kraft-Zeit-Verlaufes im Bereich von t_2 bis t_4	141.19
Δh [m]	maximale Differenz der y-Werte des geglätteten Strecken-Zeit-Verlaufes	0.62
peak force [N]	höchster Kraftwert während der Sprungbewegung	562.4
peak RFD [N/s]	Maximum der abgeleiteten Kraftkurve	4479.36
peak power [W]	höchster Wert der Leistung während der Sprungbewegung	971.35
Startkraft [N]	Kraft auf den KSP zu Beginn der propulsive phase (t_2)	545.96
mean RFD [N/s]	peak force/Dauer von $F = 0$ bis $F = F_{\text{peak}}$	1779.76
mean force in der propulsive phase [N]	Summe $[F(t_2):F(t_3)]/\text{Anzahl der Werte}$	472.12
durchschnittliche Geschwindigkeit in der propulsive phase [m/s]	Summe $[v(t_2):v(t_3)]/\text{Anzahl der Werte}$	0.93
mean power in der propulsive phase [W]	Summe $[P(t_2):P(t_3)]/\text{Anzahl der Werte}$	476.48
maximale Aufwärtsgeschwindigkeit [m/s]	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t_3	2013-02-01
Absprunghöhe [m]	Höhe des KSP beim Absprung im Vergleich zum Bewegungsauftakt	0.0
Kraftstoßverhältnis	Flächenverhältnis von Bremskraftstoß zu propulsive impulse (A2/A3)	0.52
Abdruckdauer [s]	Dauer der propulsive phase von t_2 bis t_4	0.35

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt die wichtigen Parameter der Rohdatenanalyse. Dargestellt sind zusätzlich das Vorgehen bei der Berechnung sowie die erreichten Werte der entsprechenden Parameter.

2.2 Ergebnisbesprechung der Sprungdiagnostik

Die Inhalte der mündlichen Ergebnisbesprechung der erbrachten Sprungleistung können in folgende Bereiche unterteilt werden.

2.2.1 Wichtige Parameter für den Trainer

Für die Ergebnisbesprechung mit dem Trainer sind vor allem die Parameter von Interesse, welche in der Praxis direkt umgesetzt werden und bei erneuter Messung eine Leistungsveränderung diagnostizieren können. Tabelle 2 zeigt die für den Trainer relevanten Informationen der Vertikalsprunganalyse mit Vergleichsergebnissen aus der Literatur (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Bobbert, Mackay, Schinkelshoek, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1986; Dowling & Vamos, 1993).

Zunächst gilt es die Sprunghöhe zu analysieren. Die erbrachte Höhe von 20.6 cm liegt deutlich unter den Vergleichswerten der Literatur (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011). Hierbei ist hervorzuheben, dass diese vor allem durch die vertikale Absprunggeschwindigkeit beeinflusst wird (s. o.). Das Training sollte dementsprechend Parameter stimulieren, durch welche eine Verbesserung der Absprunggeschwindigkeit erreicht werden kann. Zur Überprüfung einer Veränderung der sportmotorischen Leistung sind daher die mean force in der propulsive phase, die Absprunghöhe, die Abdruckdauer und das Kraftstoßverhältnis von Bedeutung.

Für die direkte Bewegungsanalyse stellen der Tiefpunkt des KSP in der Gegenbewegung sowie dessen Höhe beim Absprung ein Kriterium dar. Über die Tiefe der Hocke kann die Sprunghöhe beeinflusst werden, da

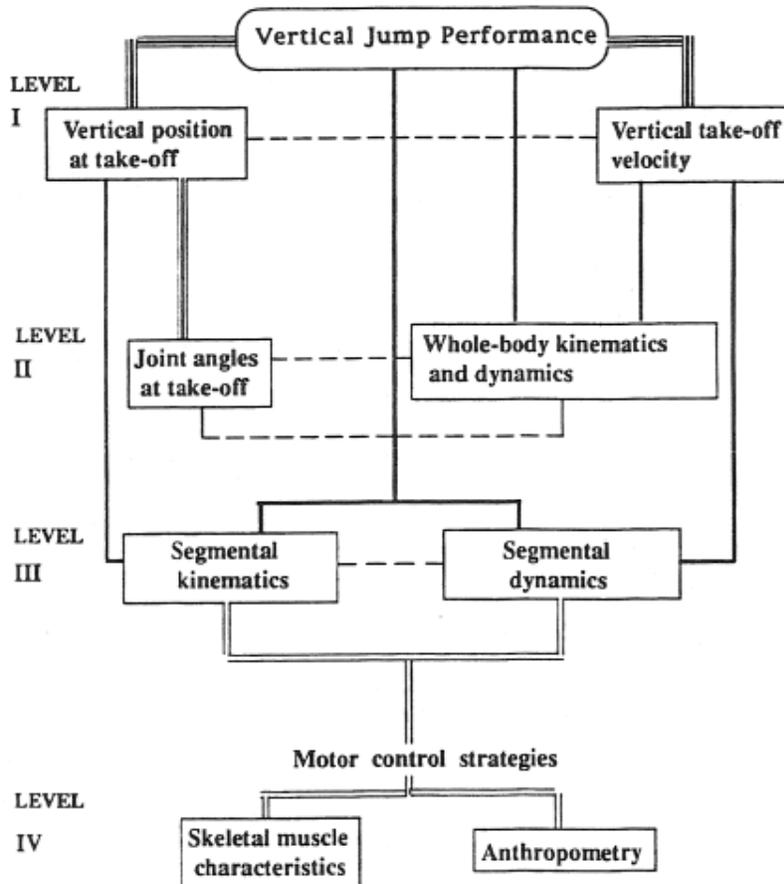


Abbildung 8: Theoretisches Modell der Einflussfaktoren in Bezug auf Vertikalsprünge. Dreifachlinien stellen einen funktionellen Zusammenhang dar. Dicke Linien beschreiben einen statistischen Zusammenhang, gestrichelte Linien geben weitere Zusammenhänge an. Ebene 1 stellt die funktionelle Beziehung zur Sprungleistung auf Basis der mathematischen Berechnung dar. Ebene 2 beschreibt Bereiche, deren Parameter direkt die in Ebene 1 gezeigten Parameter beeinflussen. Ebene 3 und 4 beschreiben weitere Einflussfaktoren durch das motorische System sowie die Anatomie/Physiologie des Athleten. Aufgrund der limitierten Datenmenge können diese Ebenen in unserer Analyse nicht berücksichtigt werden (Abbildung aus Aragon-Vargas & Gross, 1997).

durch eine niedrigere Position ein größerer Bremsimpuls und somit eine größere Startkraft zu Beginn der propulsive phase erzielt werden kann (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011).

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Sprunghöhe stellt beispielsweise Krafttraining dar. Neben einer Zunahme der Muskelmasse können hierdurch auch die inter- und intramuskuläre Koordination für die Sprungbewegung verbessert werden. Vargas und Gross (1997) beschreiben in ihrem Paper eine Verbesserung der Sprunghöhe durch Krafttraining der unteren Extremitäten um 8 - 12% . Hierbei sollte jedoch berücksichtigt werden, ob dies im sportartspezifischen Interesse des Athleten steht.

Da der Kraft-Zeit-Verlauf des Sprungs Informationen über die Bewegungsausführung und Qualität des Sprungs gibt, sollte dem Trainer dieser im Handout beigefügt werden. Zudem kann der Verlauf der Kurve Aufschluss über mögliche Verbesserungen beziehungsweise Fehler in der Bewegungsausführung geben (Sole, 2015). So stellen beispielsweise eine U-Form des Kraft-Zeit-Verlaufs in der Abwärtsbewegung oder ein

bimodaler Kurvenverlauf im Bereich von t_1 bis t_4 Kriterien einer guten Bewegungsausführung dar (Sole, 2015).

Aufgrund der unterdurchschnittlichen Ergebnisse der Analyse müssen eventuell die Vergleichswerte der Tabelle 2, die allesamt von erfahrenen Sportlern stammen (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Bobbert, Mackay, Schinkelshoek, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1986; Dowling & Vamos, 1993), angepasst werden. Die Vergleichsgruppe wurde deshalb ausgewählt, weil in der Aufgabenstellung von einer Besprechung mit dem Bundestrainer die Rede war und daher auf einen Sportler auf nationalem Spitzenniveau geschlossen wurde. Angesichts der Ergebnisse (siehe Tabelle 2) liegt die Vermutung nahe, dass es sich dabei möglicherweise um einbeinig ausgeführte Sprünge bzw. um einen Athleten, der sich am Ende einer Reha-Phase (o. ä.) befindet, handelt. Da diesbezüglich keine näheren Informationen gegeben waren, gingen wir vorerst von einem beidbeinig ausgeführten CMJ eines gesunden Sportlers aus. Falls die Ausgangssituation (wie oben beschrieben) von unserem Szenario abweichen sollte, muss die Referenz entsprechend angepasst werden.

Parameter	Wert	Vergleich	Bewertung
Sprunghöhe (nach vergleichbarer vertikaler Position des KSP in der Gegenbewegung) [m]	0.21	0.45 - 0.48	primär verbesserungswürdig
relativer propulsive impulse [m/s]	2.15	3.06 - 3.1	primär verbesserungswürdig
Tiefe der Gegenbewegung [m]	0.42	0.15 - 0.75	in Ordnung
relative Startkraft [m/s ²]	8.3	23.57	sekundär verbesserungswürdig
relative mean force in der propulsive phase	7.18	20.46	primär verbesserungswürdig
maximale Aufwärtsgeschwindigkeit (nach vergleichbarer vertikaler Position des KSP in der Gegenbewegung) [m/s]	2.13	2.94 - 3.13	primär verbesserungswürdig
Absprunghöhe (vertikale Position des KSP am Absprungpunkt im Vergleich zum Bewegungsbeginn) [m]	0.0		nicht vergleichbar
Kraftstoßverhältnis (Bremskraftstoß/propulsive impulse)	0.52	0.45	sekundär verbesserungswürdig
Abdruckdauer [s]	0.35	0.28	in Ordnung

Tabelle 2: Die Tabelle zeigt determinierende Parameter der sportmotorischen Leistung, welche dem Trainer als Grundlage der Ergebnisbesprechung visualisiert werden sollen. Zu diesem Zweck ist jeder Parameter mit dem aktuellen Wert des Athleten, einem Vergleichswert, welcher der durchschnittlichen Performance erfahrener Sportler entspricht, sowie einer subjektiven Bewertung der Diagnostiker, welche als Richtlinie zur zukünftigen Trainingsgestaltung dienen soll. Um die Vergleichbarkeit der Werte zu garantieren, wurden diejenigen Parameter, welche von der Tiefe der Gegenbewegung beeinflusst werden können (i.e. Sprunghöhe und max. Aufwärtsgeschwindigkeit) mit den Daten von Athleten mit einer vergleichbaren vertikalen KSP-Position zu Bewegungsbeginn in Zusammenhang gesetzt. Sämtliche Parameter, die maßgeblich von der Masse der Sportler abhängen, wurden zudem relativ zum Körpergewicht angegeben (propulsive impulse, Startkraft, mean force). Da uns keine Information zur genauen Position des Athleten zu Bewegungsbeginn vorliegt, konnte der in unseren Augen bedeutsame Parameter der Absprunghöhe nicht mit den Werten anderer Sportler verglichen werden. Alle anderen Parameter wurden nach deren von uns eingeschätzter Relevanz für das zukünftige Training von *primär verbesserungswürdig* (entspricht höchster Priorität) bis *in Ordnung* (entspricht vorerst geringer Priorität) eingestuft, um dem Trainer eine grobe Orientierung für künftige Maßnahmen zu geben.

2.2.2 Phaseninformation

Für den Trainer stehen vor allem drei Phasen im Vordergrund.

Zunächst ist der Abschnitt des ersten negativen Kraftstoßes von Interesse, da in dieser Phase durch unterschiedlich tiefe Hockpositionen der weitere Sprungverlauf beeinflusst werden kann, indem eine positive Startkraft generiert wird.

Die propulsive phase (vergleiche Fläche A_3 Abbildung 7) ist die entscheidende Phase für eine maximale Aufwärts- und damit auch Absprunggeschwindigkeit. Je größer der Kraftstoß, der in dieser Phase generiert werden kann, desto größer ist die maximale Geschwindigkeit. Der Betrag des propulsive impulse ist zum einen von der ausgeübten Kraft und zum anderen von der Dauer der Phase abhängig. Diese zwei Faktoren sind durch Training beziehungsweise Bewegungsveränderung modifizierbare Parameter.

Zuletzt ist die Absprunghase für den Trainer relevant. Ziel in dieser Phase ist es, einen möglichst geringen Verlust zwischen maximaler Aufwärtsgeschwindigkeit und Absprunggeschwindigkeit zu erzielen. Zusätzlich kann die KSP-Höhe im Vergleich zur Standhöhe weitere Informationen zur Bewegungsoptimierung liefern. Die vertikale Position des KSP sollte in dieser Phase maximiert werden.

2.2.3 Qualität des Kraft-Zeit-Verlaufs

Sole (2015) stellt in seiner Dissertation dar, dass die Form und Ausprägung des Kraft-Zeit-Verlaufs einen guten Indikator für die Kraftgeneration bildet. Durch Training kann sich diese Charakteristik verändern. Untrainierte bzw. unerfahrene Springer weisen im Verlauf bei der Abwärtsbewegung eine V-Form und im darauffolgenden Bremsstoß sowie der propulsive phase einen langsamen und langen Anstieg auf. Zudem erreichen unerfahrenere Springer nur einen Hochpunkt in der phase von t_1 bis t_4 . Der Verlauf von Erfahrenen weist in der Abwärtsbewegung eine U-Form sowie darauffolgend einen steileren und kürzeren Anstieg auf. Zusätzlich erreichen sie einen bimodalen Verlauf mit einem zweiten, höheren Peak nach dem Bremskraftstoß, sprich in der propulsive phase.

Der Verlauf kann somit als Orientierungsparameter gesehen werden.

Wird die Kurve der Rohdaten (vergleiche Abbildung 7) betrachtet, so kann in der Abwärtsphase (A_1) eine V-ähnliche Form beobachtet werden. Ebenso verläuft der Anstieg eher langsam und lange. Trotz des Verlaufes entsteht eine bimodale Kurve, deren Peak jedoch beim ersten Modalwert zu finden ist. Für den Trainer gilt es dementsprechend, bei der nächsten leistungsdiagnostischen Untersuchung auf eine Veränderung des Kraft-Zeit-Verlaufs zu achten.

Ergänzung Handout

Zusätzlich zur mündlichen Ergebnisbesprechung wird für den Trainer ein Handout zur Vertikalsprungdiagnostik erstellt. Dieses enthält zunächst eine Abbildung des Kraft-Zeit-Verlaufes mit Kennzeichnung der wichtigsten zeitlichen Events, Flächen und Phasen (vergleiche Abbildung 7). Unter dem Verlauf sind die wichtigsten Messwerte und deren Beurteilung im Verhältnis zu Referenzwerten aus vergleichbaren Untersuchungen dargestellt (vergleiche Tabelle 2). Bei wiederholter Messung kann eine Spalte mit Vergleichswerten der individuellen Leistung erstellt werden, um einen Trainingsverlauf zu kennzeichnen und zu evaluieren. Zuletzt wird ein Notizbereich freigelassen, sodass der Trainer eigene bzw. unsere Anmerkungen z. B. zur Qualität des Kraft-Zeit-Verlaufs oder Begrifflichkeiten verschriftlichen kann.

3 Anhang

3.1 Weitere Kurvenverläufe der Datenanalyse

Abbildungen 9 bis 13 zeigen die weitere Datenanalyse des Kraft-Zeit-Verlaufs beziehungsweise der gegebenen Rohwerte. Der Verlauf der jeweiligen Funktionen spiegelt die in der Literatur zu findenden Ergebnisse wider (Linthorne, 2001).

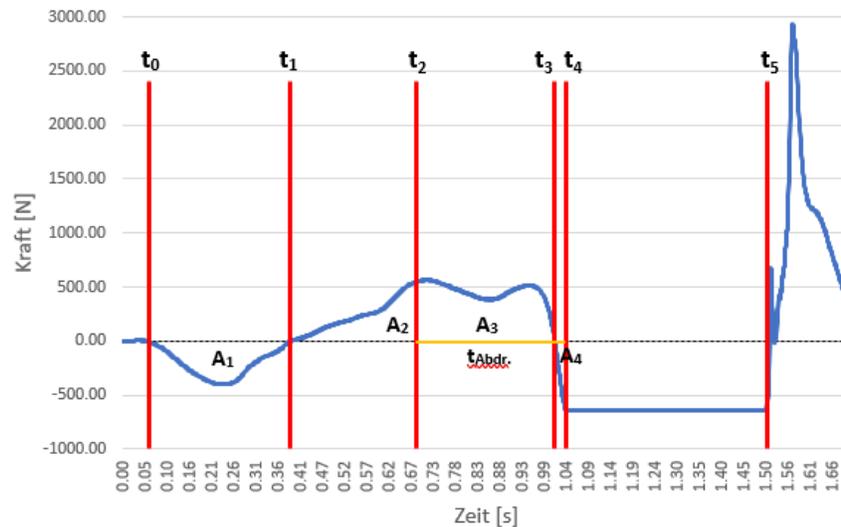


Abbildung 9: Kraft-Zeit-Verlauf beim CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung, $t_{\text{Abdr.}}$ = Abdruckdauer, A_1 erster negativer Kraftstoß, A_2 Bremskraftstoß, A_3 propulsive impulse und A_4 : zweiter negativer Kraftstoß.

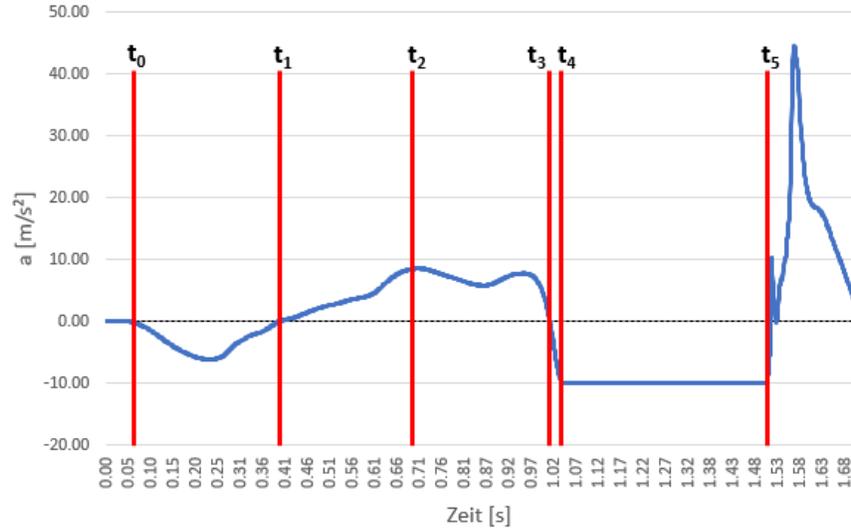


Abbildung 10: Beschleunigungs-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung (erste Beschleunigungsveränderung), t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit (Beschleunigung wird positiv), t_2 : Umkehrpunkt, t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit (Beschleunigung wird negativ), t_4 : Absprung (Beschleunigung entspricht g), t_5 : Landung (Beschleunigung nimmt zu und wird positiv).

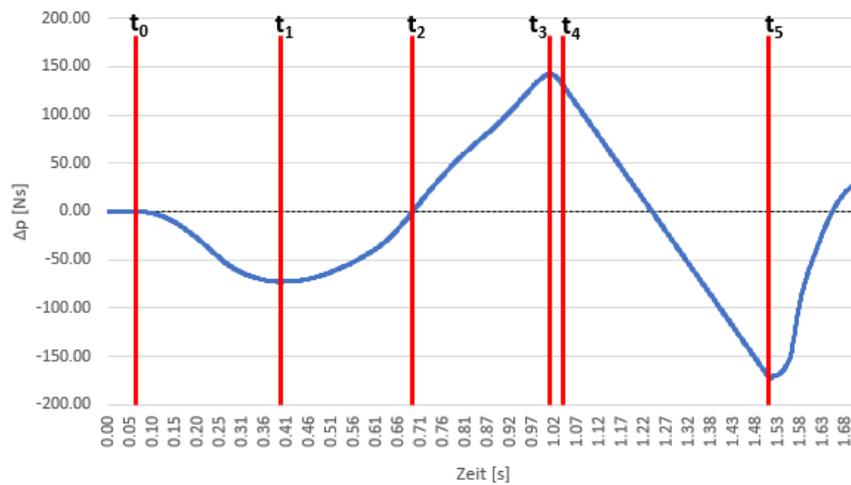


Abbildung 11: Kraftstoß-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit (minimaler Kraftstoß vor dem Absprung), t_2 : Umkehrpunkt (Kraftstoß wird positiv), t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit (maximaler Kraftstoß), t_4 : Absprung (konstant abnehmender Kraftstoß), t_5 : Landung (Kraftstoß nimmt zu und wird positiv).

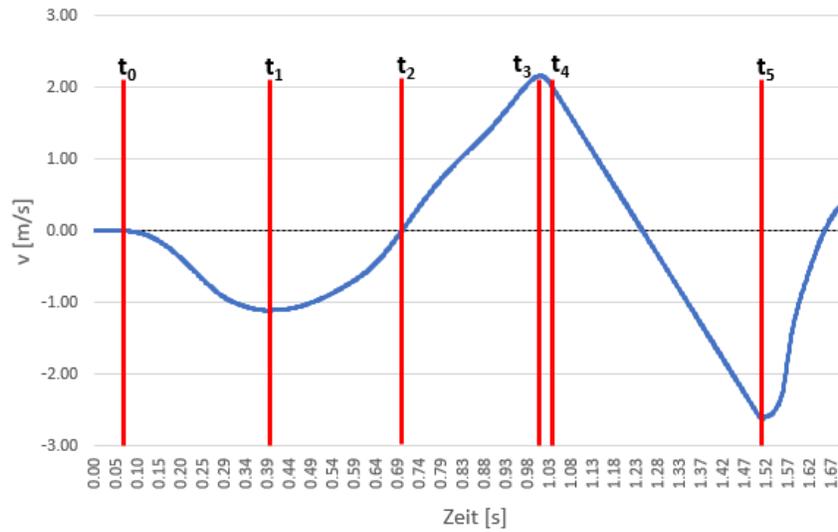


Abbildung 12: Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt (Geschwindigkeit wird positiv), t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung (konstant abnehmende Geschwindigkeit), t_5 : Landung (Geschwindigkeit nimmt zu und wird positiv).

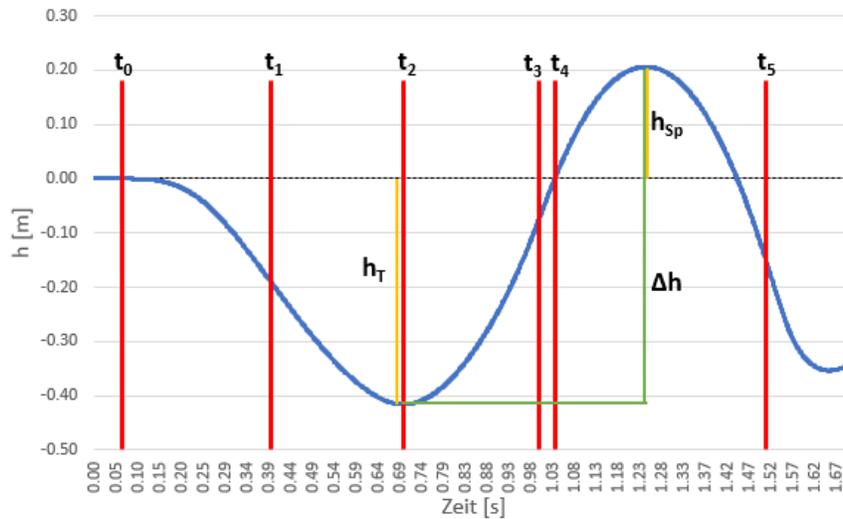


Abbildung 13: Höhen-Zeit-Verlauf des CMJ mit den bedeutsamen Zeitpunkten t_0 : Beginn der Bewegung, t_1 : maximale Abwärtsgeschwindigkeit, t_2 : Umkehrpunkt (tiefster Punkt), t_3 : maximale Aufwärtsgeschwindigkeit, t_4 : Absprung, t_5 : Landung, h_T : tiefster Punkt der Abwärtsbewegung, h_{Sp} : Sprunghöhe sowie Δh : Höhendifferenz.

Literatur

- Aragon-Vargas, L. F., & Gross, M. M. (1997). Kinesiological Factors in Vertical Jump Performance: Differences among Individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, *13*(1), 24–44. <https://doi.org/10.1123/jab.13.1.24>
- Arteaga, R., Dorado, C., Chavarren, J., & Calbet, J. A. (2000). Reliability of jumping performance in active men and women under different stretch loading conditions. *J Sports Med Phys Fitness*, *40*, 26–34.
- Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. A., & Van Ingen Schenau, G. J. (1986). Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, *54*, 566–573.
- Cronin, J. B., Hing, R. D., & McNair, P. J. (2004). Reliability and Validity of a Linear Position Transducer for Measuring Jump Performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(3), 590. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<590:ravoal>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<590:ravoal>2.0.co;2)
- Dowling, J. J., & Vamos, L. (1993). Identification of Kinetic and Temporal Factors Related to Vertical Jump Performance. *Journal of Applied Biomechanics*, *9*(2), 95–110. <https://doi.org/10.1123/jab.9.2.95>
- Frick, U., Schmidtbleicher, D., & Wörn, C. (1991). Vergleich biomechanischer Messverfahren zur Bestimmung der Sprunghöhe bei Vertikalsprüngen. *Leistungssport*, *2*, 48–53.
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*, *50*, 223–234.
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative Net Vertical Impulse Determines Jumping Performance. *Journal of Applied Biomechanics*, *27*(3), 207–214. <https://doi.org/10.1123/jab.27.3.207>
- Komi. (2003). Stretch–Shortening Cycle. In *Strength and Power in Sport* (pp. 184–202). Blackwell.
- Köthe, T., & Falk, H. (2004). Eine biomechanische Abschätzung der Wirkungen von Teilkörperbewegungen bei Technikvarianten im Wasserspringen. *Leistungssport*, *35*, 33–38.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, *69*(11), 1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The Role of Rate of Force Development on Vertical Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(2), 379–385. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181be305c>
- 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>
- Peterson, M. D., Avar, B. A., & Rhea, M. R. (2006). The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*(4), 867–873. <https://doi.org/10.1519/00124278-200611000-00024>
- Reiser, R. F., Rocheford, E. C., & Armstrong, C. J. (2006). Building a Better Understanding of Basic Mechanical Principles Through Analysis of the Vertical Jump. *Strength and Conditioning Journal*, *28*(4), 70–80. <https://doi.org/10.1519/00126548-200608000-00012>
- Richter, A. (2011). *Aspekte der Sprungkraft und Sprungkraftdiagnostik unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung im Kindes- und Jugendalter* (PhD thesis). Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Rousanoglou, E. N., Georgiadis, G. V., & Boudolos, K. D. (2008). Muscular Strength and Jumping Performance Relationships in Young Women Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(4), 1375–1378. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31816a406d>

Schwameder, H. (2009). Dynamometrie. In *Handbuch Sportbiomechanik*. Hofmann.

Sole, C. J. (2015). *Analysis of Countermovement Vertical Jump Force-Time Curve Phase Characteristics in Athletes* (PhD thesis). East Tennessee State University.

Walsh, M., Arampatzis, A., Schade, F., & Brüggemann, G.-P. (2004). The Effect of Drop Jump Starting Height and Contact Time on Power Work Performed, and Moment of Force. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 561. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<561:teodjs>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<561:teodjs>2.0.co;2)

Wank, V., & Heger, H. (2009). Sprünge. In *Handbuch Sportbiomechanik*. Hofman Verlag.