

Universität Leipzig  
Sportwissenschaftliche Fakultät  
Komplexe Diagnostik planen, durchführen und auswerten – Modul 08-005-0006

**Hausarbeit zur Modulabschlussprüfung**

DOZENT: PROF. DR. ULRICH HARTMANN

**Karate-Kumite: Vorüberlegungen zur Bestimmung  
des energetischen Anforderungsprofils in einer  
Schnellkrafttrainingseinheit**

vorgelegt von:

MARTIN NEUMANN

geboren am 13. August 1988 in Berlin

Tag der Einreichung: 30. September 2015

Matrikelnummer: 3712395  
Kontakt: mm.neumann@gmx.de

## Inhaltsverzeichnis

Karate-Kumite: Vorüberlegungen zur Bestimmung des energetischen Anforderungsprofils in einer Schnellkrafttrainingseinheit .....	I
Inhaltsverzeichnis .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	II
Tabellenverzeichnis .....	III
Formelverzeichnis .....	IV
1 Einleitung .....	1
2 Theorie .....	2
2.1 Karate – Von der Entstehung zum Wettkampfsport.....	2
2.2 Energiebereitstellung im Körper – Wissen und Unwissen .....	3
2.3 Deutung sportlicher Fähigkeiten.....	5
2.4 Karate-Kumite Wettkampfsystem und Regelwerk.....	6
2.5 Karate-Kumite – Forschungsstand.....	8
2.6 Schnellkraft im Karate-Kumite.....	12
2.7 Forschungsfrage und Hypothesen .....	15
3 Methodik.....	16
3.1 Forschungsdesign .....	16
3.2 Probanden .....	16
3.3 Untersuchungsaufbau .....	17
3.4 Auswertung .....	20
3.4.1 Erstellung des energetischen Profils .....	20
3.4.2 Statistische Auswertung .....	27
3.5 Methodenkritik .....	28
4 Diskussion.....	29
5 Zusammenfassung und Ausblick .....	31
Literaturverzeichnis .....	
Anhang.....	

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1.</i> Anteil der Energiebereitstellung im zeitlichen Verlauf, Bührle, 1985, S. 95..	3
<i>Abb. 2.</i> Modell vom energetischen Verlauf der Energiesysteme, Eigendarstellung nach Hartmann, 2015 .....	4
<i>Abb. 3.</i> Wettkampffläche Karate-Kumite, World Karate Federation, 2015, S. 48.....	6
<i>Abb. 4.</i> Anaerobe-laktazide Leistung fällt mit steigender Kampfanzahl, Beneke et al., 2004, S. 522.....	9
<i>Abb. 5.</i> Kraft-Zeit-Kurve und Schnellkraftparameter, Bührle, 1985, S. 104.....	12
<i>Abb. 6.</i> Kraft-Zeit-Verlauf-Kurven mit unterschiedlich zu überwindenden Lasten – A 30 kg, B 10 kg, Bührle, 1985, S. 103 .....	13
<i>Abb. 7.</i> Grafische Beispieldarstellung der Sauerstoffkurve mit Sauerstoffdefizit und Sauerstoffmehraufnahme nach Belastungsende, Marées, 2003, S. 377 ; Fläche O <sub>2</sub> -Defizit modifiziert .....	22
<i>Abb. 8.</i> Grafische Darstellung der Bi-exponentiellen Funktion, Beneke et al., 2002, S. 389 ; Fläche eigenmodifiziert, Fläche A entspricht dem Sauerstoffvolumen für die anaerob-alkalazide Energiebereitstellung .....	24
<i>Abb. 9.</i> Dargestellte Mittelwertkurve aus der Untersuchung Piiper & Spiller, 1970, S. 659 ; Whiskers geben die Standardabweichung an.....	24
<i>Abb. 10.</i> Beispieldarstellung der Sauerstoffkurve nach Belastung ; $\dot{V}O_2$ = Nettosauerstoffaufnahme in Prozent zur Zeit t in Minuten ; Bilder von links nach rechts nach der Theorie von Beyer (1999) in Anlehnung an Piiper & Spiller (1970), orange Fläche entspricht Volumen O <sub>2</sub> der schnellen Komponente, repräsentativ für den anaerob-alkalaziden Energieanteil, blau der zusätzliche Anteil der langsamen Komponente: Bild 1: beginnender abflachender Teil bei 2 Minuten ; Bild 2: beginnender abflachender Teil vor 2 Minuten, die Differenz (rote Strecke) wird nicht berücksichtigt ; Bild 3: beginnender abflachender Teil nach 2 Minuten, rote Fläche wird nicht mit berücksichtigt.....	26
<i>Abb. 11.</i> Auswertungs-Chromatogramm der MRT, Darstellung der jeweiligen Moleküle zu ihren korrespondierenden Frequenzen, McCully et al., 1992, S. 1355 .....	30

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Versuchsaufbau – Schnellkrafttrainingseinheit, 2 Gruppen Crossover-  
Design.....20

## Formelverzeichnis

<i>Form. 1.</i> Grundformel zur Bestimmung des Arbeitsumsatzes.....	21
<i>Form. 2.</i> Aerober Arbeitsumsatz, Beyer, 1999, S. 12.....	21
<i>Form. 3.</i> Bi-exponentielle Funktion zur Bestimmung der schnellen und langsamen Komponente, Beneke et al., 2002, S. 389 .....	23
<i>Form. 4.</i> Gleichung für den anaerob-alkalischer Arbeitsumsatz, Beyer, 1999, S. 13.....	26
<i>Form. 5.</i> Gleichung für den anaerob-laktaziden Arbeitsumsatz, Beyer, 1999, S. 12 .....	26
<i>Form. 6.</i> Gleichung für den Gesamtarbeitsumsatz (tot = Total), Beneke et al., 2004, S. 519 .....	26
<i>Form. 7.</i> Gleichung für die Gesamtleistung der Arbeit, Beyer, 1999, S. 13 .....	27

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde auf das Hinzufügen weiblicher Endungen verzichtet. Damit ist in keinem Falle eine geschlechtsspezifische Absicht verbunden. Sofern nicht eindeutig kenntlich gemacht, schließt die männliche Form die weibliche mit ein.

## 1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten kam es vermehrt zu Untersuchungen der energetischen Anforderungsprofile in den jeweiligen Sportarten. Mit Hilfe der Ergebnisse konnten die Sportarten besser auf ihre energetisch physiologische Grundlage beurteilt werden. Vorerst wurden einfach zu bestimmende Parameter wie Laktat genutzt und es folgte eine sinngebende Ableitung. So wurden zum Beispiel in Kampfsportarten sehr hohe Laktatkonzentrationen ermittelt. Demnach galt der Schluss, die Sportarten basieren zum Großteil auf die anaerob-laktazide Energiebereitstellung (Lehmann, 2000). Beneke, Beyer, Jachner, Erasmus & Hütler versuchten das energetische Profil in der Sportart Karate-Kumite genauer zu beschreiben. Sie führten ein Simulationswettkampf durch. Mittels Spirometrie, Laktatabnahmen und einer grundsätzlichen Methodik der indirekten Kalorimetrie wurde ein energetisches Profil bestimmt. Zu allem Erstaunen konnte der aeroben Energiebereitstellung ein Gesamtanteil von ca. 80 % zugeschrieben werden. Sogar der alaktazide Anteil war größer als der laktazide (2004). Man könnte fast behaupten, diese Ergebnisse sind bahnbrechend, da sie einen großen Einfluss auf den Trainingsalltag haben. Die physiologische Belastung kann mit Hilfe der Profile besser verstanden werden.

Eine Recherche ergab, dass energetische Profile bisher ausschließlich auf die Wettkampfleistung erstellt wurden. Dies klingt einleuchtend, da jegliches Training auf die Wettkampfleistung hinaus läuft. Es ist sich jedoch die Frage zu stellen, wieviel Zeit ein Sportler im Training und wieviel Zeit er im Wettkampf verbringt. Unzweifelhaft wird der erstgenannte Parameter überwiegen, doch wieviel wissen wir über unsere energetischen Abläufe in dieser Zeit? Die Trainer verwenden verschiedenste Trainingsmethoden und wechseln diese tagtäglich. Es ergeben sich daher Fragen, ob zum Beispiel die tradierten Trainingsmethoden wirklich das energetische Potenzial abrufen, was sie behaupten vorzugeben.

Die vorliegende Arbeit soll in der Sportart Karate-Kumite den ersten Denkanreiz einer möglichen Untersuchung eines energetischen Profils innerhalb einer Trainingseinheit geben. Als Stundenziel wurde ein spezifisches Schnellkrafttraining an Pratzen ausgewählt. Neben der Gesamtaufnahme des Profils in der Einheit soll die inhaltliche energetische Darstellung der Wiederholungsmethode überprüft werden. Der Bezug gilt der Resynthese von Kreatinphosphat, welche nach 3 Minuten nahezu erschöpft sein soll. In Form von 8 schnellkräftigen Sätzen mit unterschiedlichen Pausenzeiten soll der energetische Verlauf während des Trainings betrachtet werden.

In der Arbeit werden zu Beginn für das Verständnis grundlegende Begrifflichkeiten und Sichtweisen bezüglich dem Karatesport, der energetischen Aspekte und der Trainingswissenschaft erläutert. Anschließend erfolgt die forschungsleitende Fragestellung und die Aufstellung von Hypothesen. Im zweiten Abschnitt wird das methodische Design detailliert dargestellt, um ein mögliches Vorgehen bestmöglich nachvollziehen zu können. Weiter wird die Arbeit reflektiert und manche Themen zur Diskussion gestellt. Als letzter Punkt erfolgt eine Zusammenfassung mit einem Ausblick.

## 2 Theorie

Die folgenden Kapitel haben die Intention, die Aspekte des Karate-Kumite-Sports, die Energiebereitstellung und die Trainingswissenschaft zu erläutern und sie miteinander zu verbinden. Die Schnittstellen sollen deutlich werden, um das Verständnis für die beabsichtigte Forschungsthematik zu erhöhen.

### 2.1 Karate – Von der Entstehung zum Wettkampfsport

Der Begriff Karate wird aus den japanischen Schriftzeichen „Kara“ und „Te“ zusammengesetzt. „Kara“ bedeutet übersetzt „leer“ und „Te“ die „Hand“. Heutzutage wird der Begriff Karate oft mit dem Begriff „Karate-Do“ gleichgesetzt. „Do“ ist übersetzt der „Weg“ und symbolisiert Karate als Kunst und Lebenseinstellung. Somit vereinen beide Begrifflichkeiten die zusammengefasste Übersetzung „Kampfkunst der leeren Hand“ oder „Der Weg der leeren Hand“ (Lind, 1997, S. 254 ff.). Die Entwicklung der Namensgebung, der Sportart Karate und die Etablierung als Kunst haben prägnante historische Ereignisse als Ursache.

Als Gründungsstätte wird die japanische Insel Okinawa angegeben. Aufgrund ihrer Lage etablierte sich ein Handelszentrum. Hierbei trafen viele Kulturen aufeinander, welche das Wesen des Karate prägten. Politische Einflüsse formten die Entwicklung des Karate auf verschiedene Weisen. Okinawa wurde in Territorien untergliedert, wodurch eine gleichmäßige Entwicklung der Kampfkunst nicht möglich war. Der Fortschritt und die Art waren ortsgebunden. Des Weiteren wurden im zeitlichen Verlauf mehrere Waffenverbote erteilt und die Ausführung und Vermittlung des Karate in der Öffentlichkeit verboten. Dies implizierte die Ausführung mit der „leeren“ Hand und das Wissen wurde nur im Geheimen weitergegeben, wodurch sich sehr viele verschiedene Stile entwickelten. Zu dieser Zeit diente das Karate lediglich dem Selbstschutz. Durch Entspannung der politischen Lage erfuhr das Karate eine Renaissance. Es entwickelte sich zur Kampfkunst, welche die Ausübung mehr als körperliche und geistige Stärkung ansah. Dies war der Beginn der weltweiten Verbreitung des Karate. Zur nationalen und internationalen Anerkennung mussten weitere politische Forderungen eingehalten werden, wie die Etablierung eines Wettkampfsystems. Zwiespältig nahm die Entwicklung seinen Lauf, da der Wettkampfgedanke dem Kunstgedanken widersprach. Die Turnierform erfolgt in der Ausführung der Kata und dem Kumite (Lind, 1997; Grupp 2012).

Die Kata ist die „*Form*“ (Grupp, 2007, S. 20). Es existieren mehrere festgelegte Abläufe. Katas enthalten alle Arten der Techniken im Karate. Sie komprimieren die Selbstverteidigungstechniken auf ein Muster und simulieren einen Kampf gegen einen imaginären Gegner (Grupp, 2007, S. 20). Das Wesen aller Kampfkünste ist der Kampf mit dem Gegner, im Karate das Kumite (Grupp, 2009, S. 9). Kumite heißt „*Begegnung der Hände*“ (Fritzsche, 2011, S. 14). Das Geschick und der Umgang mit den Techniken werden in Zusammenarbeit mit dem Partner trainiert (Grupp, 2009, S. 9 f.).

Eine klare Definition von Karate in seiner Form und seinem Inhalt ist nicht möglich. Durch äußere kulturelle Einflüsse, gepaart mit individuellen Weiterentwicklungen und politischen Einflüssen sind heutzutage mehr als 100 Stile entstanden. Des Weiteren ist auch das Verständnis des Karate als Kunst oder als Sport unterschiedlich und individuell. Trotz der zahllosen Differenzen haben sie dennoch gemein, dass sie lediglich mit ihrem Körper Selbstverteidigungsformen durchführen und einen Teil des Kunstgedankens in sich tragen. Zudem gleichen sich alle Stile über die Vermittlungsformen der Kata und dem Kumite.

Beide Disziplinen stellen unterschiedliche Ansprüche an die Athleten, sodass sie technisch und energetisch als zwei separate Sportarten bezeichnet werden können. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der Disziplin Kumite.

## 2.2 Energiebereitstellung im Körper – Wissen und Unwissen

Unbestritten ist Adenosintriphosphat (ATP) das energetische Schlüsselmolekül im menschlichen Körper, wobei bei der Abspaltung von einem Phosphat die größte Menge an Energie frei wird (Marées, 2003, S. 345). Auch die Resynthesewege dieses Moleküls sind in vielen Physiologiebüchern der letzten Jahrzehnte ausführlich erläutert worden und stellen Paradigmen dar. Dabei nutzen sie die Hauptenergieträger Kohlenhydrate und Fette bzw. ihre molekularen Bestandteile, Glukose und Fettsäuren. Es wird in den anaerob-alaktaziden – Resynthese über Kreatinphosphat, anaerob-laktaziden – Resynthese von Kohlenhydraten über die Glykolyse, und den aeroben Stoffwechselweg – Resynthese über die Atmungskette von Glukose und Fetten, unterschieden. Die anaeroben Prozesse haben in der Summe eine schlechtere Energiebilanz als die aeroben Prozesse. Dennoch benötigt der Körper dringend ihre Vorgehensweisen, da das körperliche System erst eine gewisse Anlaufzeit benötigt, um sich aerob auf die gegebene Belastung anzupassen. Das heißt er benötigt mehr Sauerstoff pro Zeit im Muskelgewebe, was durch eine gesteigerte Herzarbeit, Atemarbeit und Umverteilung des Blutes von statten geht (Marées, 2003, S. 344 ff., 357). Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die Resynthesewege in der angegebenen Reihenfolge bei startender Belastung im Körper durchgeführt werden und sie schematisch für eine gewisse Zeit den Energiebedarf nahezu selbstständig abdecken können. Demnach entstanden entsprechende Verlaufsgrafiken, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist.

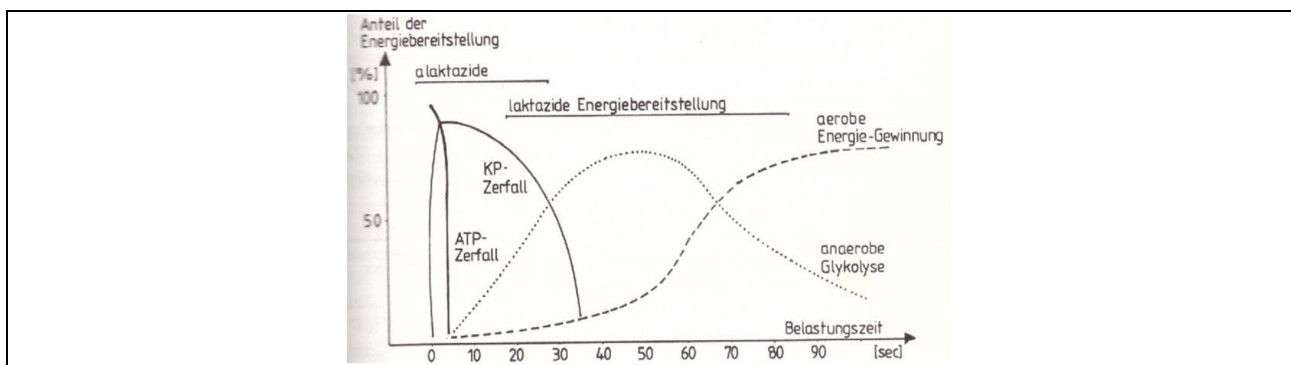


Abb. 1. Anteil der Energiebereitstellung im zeitlichen Verlauf, Bührle, 1985, S. 95



Dieses Modell ist leider zu statisch für die dynamischen Prozesse im Körper und weist auch mittlerweile bekannte Fehlerquellen auf. So ist der Abfall von Kreatinphosphat zum Beispiel sehr stark intensitätsabhängig. Gleiches gilt umgekehrt für die Glykolysetätigkeit. Weiter wird unmittelbar nach beginnendem Kreatinphosphatabfall der aerobe Stoffwechsel verstärkt aktiviert, bevor der glykolytische Stoffwechsel eine stärkere Anregung erfährt. Dies wird deutlich bei einem sehr moderaten Belastungsbeginn, wo nahezu kaum Belastungslaktat gebildet wird. Weiterhin findet im Körper zu jeder Zeit ein aerober Prozess statt, um die Lebensfunktionen aufrecht zu erhalten. Somit kommt es nie zu einer reinen anaeroben Arbeit. Die glykolytische Arbeit deckt lediglich einen Großteil der Gesamtenergie bei einer intensiven Belastung bis zu einer Streckenlänge bzw. Zeitlänge von ca. 400 Metern ab. Hier ist die Verteilung aerob – anaerob nur noch nahezu 1 zu 1. Mit steigender Belastungszeit nimmt der laktazide Anteil stark ab (Hartmann, 2015 ; Heck, 1990, S. 49, 54). So beschreiben Wahl, Bloch & Mester sogar nur einen anaerob-laktaziden Anteil von rund 2% bei einem maximalen Laktatsteadystate bei einer Dauerbelastung (2009, S. 105). Weiter zeigen Untersuchungen, dass der aerobe Verlauf bereits nach ca. 2 Minuten sein Optimum erreicht (Marées, 2003, S. 370 ; Heck, 1990, S. 49 f. ; Prampero, 1981, S. 184). Zusammenfassend müsste der zeitliche Verlauf in dem Schemata verändert werden, Abbildung 2.

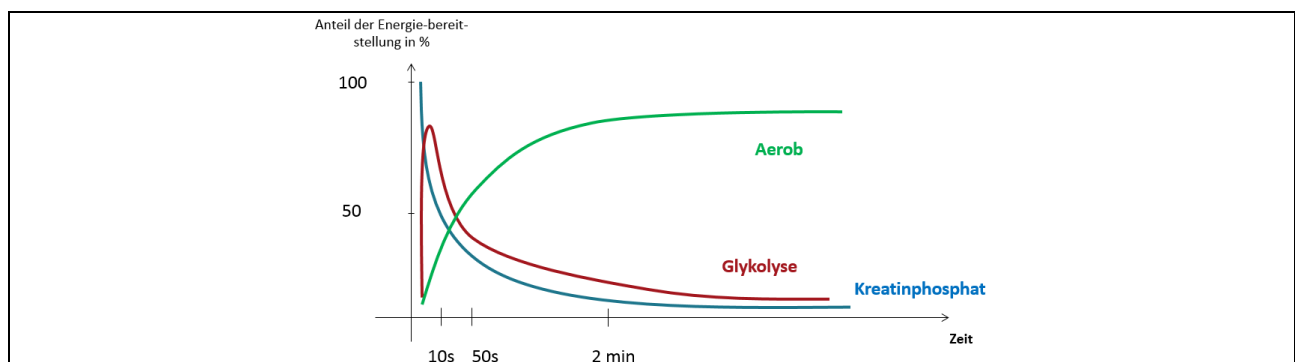


Abb. 2. Modell vom energetischen Verlauf der Energiesysteme, Eigendarstellung nach Hartmann, 2015

Auch dieses Modell hegt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da auch hier zum Beispiel die Intensität nicht berücksichtigt wird. Demnach können diese Modelle in der Praxis nur als richtungsweisend gedeutet werden. Betrachtet man exemplarisch Kampfsportarten oder Spportsportarten, kommt es zu einem ständigen Wechsel zwischen der Belastung und Erholung, sowie auch zu einem Wechsel in der Intensität und Dauer beider Komponenten. Des Weiteren findet zwischen den Geweben, z.B. Organen und Muskeln, und auch zwischen den aktiven und passiven Muskeln eine unterschiedliche energetische Beanspruchung statt. Auch wenn es heutzutage möglich ist ein energetisches Profil einer Sportart zu erstellen, wird dabei nur der zusammengehörige „Output“ des Körpers erfasst.

Dieser Abschnitt sollte darstellen, dass die dogmatischen Resynthesewege von ATP sich in ihrem zeitlichen Verlauf komplexer gestalten als angenommen. Speziell unter spezifischen Belastungen sind dezidierte Verläufe zwischen den Geweben schwer

ausfindig zu machen. Ein energetisches Belastungsprofil gibt nur eine Aussage über die Summe des Körperstoffwechsels.

### *2.3 Deutung sportlicher Fähigkeiten*

Nach Harre wird grundsätzlich in drei motorische Fähigkeiten unterschieden: Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit. Der Autor selbst beschreibt, dass es eine eindeutige Unterteilung dieser Fähigkeiten nicht gibt. Alle bedingen sich gegenseitig (2011, S. 155 f.). In der jeweiligen Sportspezifik geht man daher immer von einer Verlagerung zu einer bestimmten Fähigkeit aus. So wird die Ausdauer zum Beispiel dem Radsport zugeschrieben, Kraft dem Gewichtheben und Schnelligkeit dem 100m Sprint. Von der physiologischen Seite kann diese Unterteilung in verschiedenen Punkten als kritisch betrachtet werden. So haben Straßenradfahrer mit ihrer Trittfrequenz von ca. 90-110 Umdrehungen die Minute ca. 600 Millisekunden Zeit für eine Umdrehung. Betrachtet man vereinfacht lediglich die Druck- und Zugphase des Trittes, bleiben für die Aktivierung lediglich 300 Millisekunden übrig, was sich in die Richtung leichtathletischer Bodenkontaktzeiten entwickelt. Hinzu kommt die wechselseitige Koordination (Voß, 2015). Demnach wäre es recht abwegig, dem Radsportler keine koordinative Schnelligkeit zuweisen zu wollen. Ebenso wäre es unangemessen, den Gewichthebern keine Ausdauerfähigkeit zuzuschreiben, wobei sie bis zu 2500 Tonnen im Jahr an Gewicht umsetzen (Spitz, 1985, S. 195 f.). Noch komplexer wird es wiederum bei den Kampf- und Spisportarten, die schnellstmögliche Aktionen wiederholt in einem längerfristigen Zeitraum durchführen sollen. Auch energetisch gesehen, haben alle Fähigkeiten die gleiche Ausgangslage, ATP. Gemäß Kapitel 2.2 unterscheiden die Resynthesewege nicht zwischen den Bewegungen, sondern lediglich zwischen der Intensität. Demnach kann hinterfragt werden, ob man sich in Zukunft vielleicht eher einer physiologischen Trainingseinteilung annimmt anstelle von subjektiv empfundenen Fähigkeitsmodellen.

Des Weiteren wurden aus den Fähigkeiten viele Mischformen entwickelt, wie Schnellkraft oder Kraftausdauer. Diese haben zum Teil ihre Berechtigung, können aber auch hinterfragt werden. So sind manche Einteilungen sehr sportartspezifisch, z. B. die Einteilung der Ausdauer in Kurzausdauer, Mittelausdauer und Langausdauer. Diese bezieht sich lediglich auf die Laufdisziplin, wird aber oft auf andere Sportarten übertragen. Weiter kann die Energiebereitstellung jedoch bezüglich den Mischformen keine Unterscheidung tätigen. Es gibt lediglich die 3 Resynthesewege und diese können jeweils nur unterschiedlich angesprochen werden. Dies bedeutet, dass viele verschiedene Fähigkeitsausübungen, das gleiche energetische Potenzial fordern.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die etablierten Begriffe der Fähigkeitsmodelle verständnis halber verwendet. Nichtsdestotrotz soll dieser Absatz die kritische Haltung des Autors bezüglich dieser Modelle darstellen.

## 2.4 Karate-Kumite Wettkampfsystem und Regelwerk

Das Jiyu-Kumite, der Freikampf, ist die heute gängige Wettkampfform. Beide Kämpfer können sich frei bewegen und Techniken ihrer Wahl anwenden. Sie sind sowohl Angreifer als auch Verteidiger zur gleichen Zeit (Fritzsche, 2011, S. 14). Interessanterweise ist im Kumite Wettkampfsport keine Unterscheidung der Stilrichtung zu erkennen. Es hat sich eine disziplinspezifische Eigenart entwickelt, die in Bezug auf den Wettkampf bzw. auf das Wettkampfsystem als optimal anzusehen ist. Da die äußere Form durch das Regelwerk bestimmt ist, beeinflusst dies maßgebend die Leistungsstruktur der Sportart. Daher werden im folgenden Abschnitt die bedeutendsten Regeln basierend auf dem international größten Dachverband, der World Karate Federation – WKF, dargestellt. Alle beschriebenen Regeln beziehen sich auf den Seniorenbereich. Dies entspricht der Leistungsklasse ab dem Jahrgang, in dem das 18. Lebensjahr erreicht wird.

Beim Kumite agieren zwei Sportler innerhalb eines markierten Feldes gegeneinander. Sie führen Techniken zum Gegner aus, wodurch sie Punkte erhalten. Nach einer vorgegebenen Zeit gewinnt der Kämpfer mit den meisten Punkten.

Die Kampffläche wird aus Matten mit einer Größe von 8x8 Metern gebildet. Hierbei ist der äußere Meter der Kampffläche in rot zu gestalten, um eine visuelle Abgrenzung zu erzeugen. Ebenfalls in rot sind die Startpositionen der Kämpfer ausgelegt. Die restliche Kampffläche, sowie der Sicherheitsbereich von einem Meter um die Kampffläche herum, besitzt die Farbe blau. Insgesamt ergibt die Mattenfläche eine Größe von 10x10 Metern, Abbildung 3.

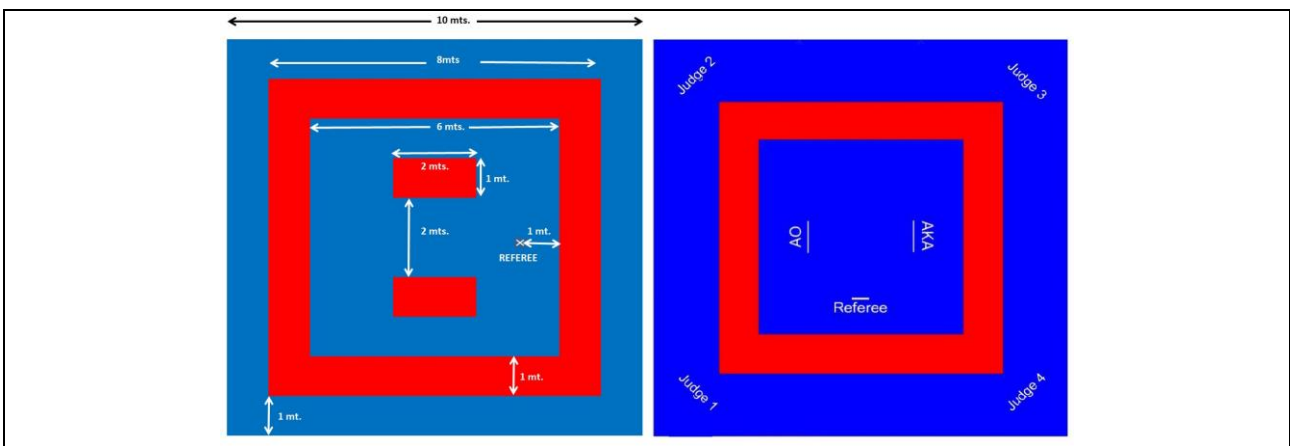


Abb. 3. Wettkampffläche Karate-Kumite, World Karate Federation, 2015, S. 48

Die Abbildung 3 zeigt die Aufteilungen und Positionen der Kämpfer und Kampfrichter. An den Ecken im Sicherheitsbereich sitzen die Seitenkampfrichter, welche mit einer blauen und einer roten Fahne ausgestattet sind. Mittig zwischen den Kämpfern ist der Hauptkampfrichter positioniert. Am Wettkampftisch, an der Seite der Kampffläche des Hauptkampfrichters hinter dem Sicherheitsbereich, werden die Turnierlisten und Kampfprotokolle geführt. Weiter finden hier die Zeitnahme und die Darstellung der aktuellen Punkt- und Sanktionswertungen statt.

Die Karatekämpfer haben einen weißen Karateanzug (Gi) zu tragen. Zur Unterscheidung trägt ein Kämpfer einen roten Gürtel sowie rote Schutzausrüstung (AKA), der andere einen blauen Gürtel und eine blaue Schutzausrüstung (AO). Die Schutzausrüstung der Kämpfer besteht aus Faust-, Schienbein- und Fußschützern. In weißer Farbe ist eine Schutzweste am Oberkörper und für die Frauen zusätzlich ein Brustschutz zu tragen. Ein Tiefschutz für beide Geschlechter ist obligatorisch. Ein passender Zahnschutz ist Pflicht. Im Kampf versuchen die Sportler mit Techniken zum Gegner Punkte zu erzielen. Yuko entspricht einem Punkt, Waza-ari zwei Punkte und Ippon drei Punkte. Die Ausführung der Technik für einen Punkt unterliegt folgenden Kriterien: gute Form, sportliche Einstellung, strikte Anwendung, Bewusstsein (Zanshin), gutes Timing und richtige Distanz. Erlaubt sind Schläge und Tritte auf folgende Körperregionen: Kopf, Gesicht, Nacken, Bauch, Brust(korb), Rücken und die Oberkörperseite. Schläge und Tritte unterhalb der Gürtellinie sind nicht gestattet, sowie Angriffe auf Arme und Gelenke. Würfe oder Fußfeger dürfen vollzogen werden, jedoch nur so, dass der Körperschwerpunkt des Gegners nicht über seine Gürtelhöhe gehoben wird. Für Schläge zum Körper und zum Kopf erhält der Kämpfer einen Yuko. Tritte zum Körper werden mit Waza-ari honoriert. Einen Ippon erhält der Sportler bei einem Tritt zum Kopf und bei einer Folgetechnik, wenn der Gegner selbst- oder fremdverschuldet auf dem Boden liegt. Alle Techniken müssen kontrolliert ausgeführt werden, so dass keine Verletzungen entstehen. Speziell zum Kopf und zum Nacken gilt Semi-Kontakt. Eine leichte Berührung ohne Verletzung ist für einen Punkt erforderlich. Techniken zum Oberkörper können durch das schützende Muskelkorsett kräftiger ausgeführt werden, müssen aber die Grundprämisse der Verletzungsfreiheit erhalten. Es gibt zwei Verwarnungssysteme für verbotenes Verhalten, Kategorie 1 und Kategorie 2. In Kategorie 1 kommt es zur Ermahnung für zu harten Kontakt, verbotene Techniken und bei Techniken auf verbotene Körperregionen. In Kategorie 2 werden Verwarnungen für Passivität, Täuschung, Kommentare, Verlassen der Kampffläche, selbstgefährdendes Handeln, unkontrollierte Techniken und für Klammern des Gegners ausgesprochen. In beiden Systemen darf der Sportler jeweils drei Verwarnungen erhalten. Kommt eine vierte hinzu, ist er disqualifiziert. Beide Systeme addieren sich aber nicht. Somit kann ein Kampf mit drei Verwarnungen je Kategorie trotzdem gewonnen werden. Die Seitenkampfrichter sind während der Kampfzeit als einzige für die Bewertung zuständig. Sie entscheiden über Punkte und Sanktionen. Dies geschieht mit Hilfe ihrer Fahnen. Vorgegebene Fahnenpositionen symbolisieren einen Punktgewinn oder eine Sanktion. Der Hauptkampfrichter hat in der Kampfzeit die Aufgabe den Kampf zu leiten. Er startet, unterbricht und beendet den Kampf. Sobald zwei Fahnen der Seitenkampfrichter für einen Sportler einen Punkt oder eine Sanktion anzeigen, muss der Hauptkampfrichter die Bewertung übertragen. Hierzu unterbricht er den Kampf und erteilt den Punkt oder die Sanktion. Wird nur eine Fahne von den Seitenkampfrichtern angezeigt, kann der Hauptkampfrichter den Kampf unterbrechen und sich die Meinung der anderen Kampfrichter einholen. Jedoch erst ab einem Votum von zwei Stimmen für einen

Sportler ist er verpflichtet, dieses zu vergeben. Eine gleichzeitige Punkt- oder Sanktionsvergabe bei einem Votum von 2:2 ist möglich. Wurde nach offizieller Kampfzeit ein Unentschieden erreicht, gibt es einen Schiedsrichterentscheid. Hier bekommt der Hauptkampfrichter ein Entscheidungsrecht zugeschrieben. Alle Kampfrichter dürfen sich nur für einen Sportler entscheiden. Somit liegt eine ungerade Stimmanzahl vor und es kommt zu einem eindeutigen Ergebnis. Hierbei müssen die Kampfrichter folgende Kriterien berücksichtigen: Einstellung zum Kampf, technisch-taktische Überlegenheit, wer zeigte mehr Initiative und führte die Mehrzahl von Aktionen aus. Auf Pfiff heben die Seitenkampfrichter eine Fahne und der Hauptkampfrichter den jeweiligen Arm zum Kämpfer rechts oder links neben ihm. Anschließend verkündet der Hauptkampfrichter den Sieger. Die Kampfzeit bei den Männern beträgt effektiv 3 Minuten, bei den Frauen 2 Minuten. Dies bedeutet, dass zu jeder Punkt- oder Sanktionsvergabe der Kampf und die Zeit unterbrochen werden. Sieger ist, wer am Ende der Zeit die meisten Punkte erzielen konnte. Die Wettkämpfe werden nach dem Brasilianischen K.O. System durchgeführt (Anhang A). Hierbei reduziert sich nach jeder Runde die Teilnehmerzahl um die Hälfte. Nur bei einer Niederlage gegen den späteren Finalisten, ist eine Teilnahme an der Trostrunde möglich. Hier kann noch der dritte Platz erreicht werden. Bei internationalen Großveranstaltungen müssen Kämpfer bis zu 7 Runden überstehen, um eine Medaille zu erlangen. Dies entspricht einer Netto-Kampfzeit bei den Männern von 21 Minuten und bei den Frauen von 14 Minuten. Zu beachten ist, dass sich die Pausen mit fortschreitendem Sieg verkürzen. Die Ausnahme stellt das Finale dar, welches in der Regel am Abend durchgeführt wird. Um eine Chancengleichheit in Bezug zur Konstitution der Teilnehmer herzustellen, existieren folgende Gewichtsklassen:

Frauen: -50 kg, -55 kg, -61 kg, -68 kg, +68 kg

Männer: -60 kg, -67 kg, -75 kg, -84 kg, +84 kg

(World Karate Federation, 2015).

### *2.5 Karate-Kumite – Forschungsstand*

Chaabène, Hachana, Franchini, Mkaouer & Chamari verfassten 2012 einen Übersichtsartikel über die physischen Eigenschaften eines Elite-Karate-Kumite-Athleten, welcher für den folgenden Abschnitt als Grundlage herangezogen wurde. Allgemein wird in der Literatur stets darauf hingewiesen und appelliert, dass die wissenschaftliche Lage in Bezug auf die Frau desolat ist. Demnach beziehen sich nachfolgende Ausführungen fast ausschließlich auf das männliche Geschlecht.

Karatekas sollten einem ektomorphen und mesomorphen Körpertyp entsprechen. Erstgenanntes spiegelt die Neigung zur Schlankheit wieder, Zweitgenanntes die Neigung zur Bildung von Muskeln. Zudem wird darauf hingewiesen, dass Karatekas einen geringen Körperfettanteil besitzen (unter 10%), dies jedoch nicht leistungsdeterminierend ist. Ein Unterschied zwischen den Disziplinen Kata und Kumite wurde hier nicht betrachtet (Chaabène et al., 2012, S. 831 ff.). Anders hingegen schreiben Koropanovski, Berjan & Bozic, dass Kumite-Kämpfer größer als Kata-Kämpfer sind.

Sie begründen ihre Aussage in Bezug auf die Spezifik, dass ein Kämpfer mit entsprechend längeren Extremitäten einen Distanzvorteil beim Kumitekampf besitzt. Weiter verweisen sie auch auf andere Studien mit gleichen Ergebnissen (2011, S. 112).

Der Übersichtsartikel verdeutlicht die Wichtigkeit der aeroben Kapazität, kann jedoch über die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2 \text{ max}$ ) keinen eindeutigen Richtwert benennen. Dies liegt u.a. an den unterschiedlichen Untersuchungsverfahren der durchgeführten Studien, z.B. Messungen auf dem Laufband oder dem Fahrradergometer. Es wurden Werte bis zu über  $60 \text{ ml/kg/min}$  der  $VO_2 \text{ max}$  dargestellt. Ein Unterschied zwischen den Disziplinen konnte nicht festgestellt werden (Chaabène et al., 2012, S. 834 f.). Beneke et al. untersuchten das energetische Anforderungsprofil von Kumite-Kämpfern. Hierzu imitierten sie einen Wettkampf unter realen Bedingungen über vier Kampfunden. Die Teilnehmer waren aktive Kämpfer auf nationalem und internationalem Niveau. Für die Datenerhebung wurden die mobile Spirometrie und die Laktatmessung eingesetzt. Sie konnten herausfinden, dass der aerobe Stoffwechsel zu 77,8%, der anaerobe-alkalazide zu 16,0% und der anaerobe-laktazide zu 6,2% beansprucht wird. Demnach ist der aerobe Stoffwechsel die vorherrschende Energiebereitstellung (2004, S. 518 ff.). Des Weiteren verweist Beyer in seiner Examsschrift eindeutig darauf, dass die tradierte Meinung, Kampfsportarten besitzen einen großen Anteil an der laktaziden Energiebereitstellung, nicht mehr tragbar ist (1999, S. 50, 58). Dies gleicht sich auch mit der energetischen Darstellung aus Kapitel 2.2 und der andauernden Nettowettkampfzeit von 2 bzw. 3 Minuten pro Kampf, Kapitel 2.4. Die damalige Schlussfolgerung resultierte aus den ansteigenden hohen Laktatwerten von Kampfunde zu Kampfunde. Was hingegen jedoch nicht beachtet wurde, ist die Laktatkinetik (Lehmann, 2000). Den Untersuchungen von Beneke et al. ist eindeutig zu entnehmen, dass die Laktatdifferenz von Runde zu Runde abnimmt, Abbildung 4 (2004, S. 522). Demnach ist eine immer mehr abnehmende laktazide Energiebereitstellung eine logische Konsequenz.

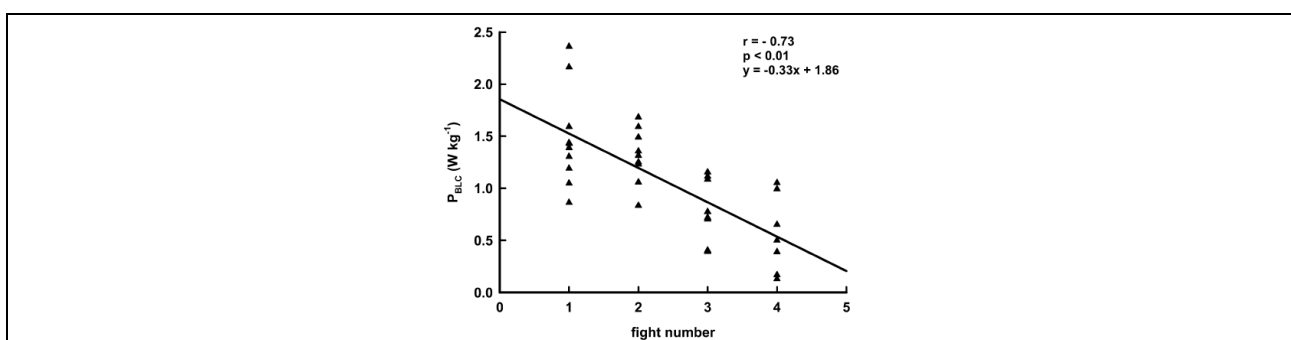


Abb. 4. Anaerobe-laktazide Leistung fällt mit steigender Kampfanzahl, Beneke et al., 2004, S. 522

Die schnellen Kampffaktionen werden zum Großteil alkalazid über die energiereichen Phosphate abgedeckt (Beneke et al., 2004, S. 518 ff.). Dem belegend wird im Übersichtsartikel dargestellt, dass eine Angriffs- bzw. Verteidigungsaktion nur 1-3 Sekunden dauert. Die Gesamt-Aktionszeit der intensiven Belastung beläuft sich auf 19,4 Sekunden binnen der 3 Minuten Kampfzeit (Chaabène et al., 2012, S. 836).

Auch Doria, Veicsteinas, Limonta, Maggioni, Aschieri, Eusebi, Fanò & Pietrangelo erhielten ähnliche Ergebnisse über die Energiebereitstellung in den Karatedisziplinen. Sie führten Katapäsentationen und simulierte Kumitekämpfe durch. Die Kumitekämpfe fanden hier jedoch ohne Unterbrechung und nur einmalig über die damals längste Kampfzeit bei Männern von 4 Minuten und bei Frauen von 3 Minuten statt. Es wurde die gleiche Methodik zur Bestimmung des energetischen Profils wie nach Beneke et al. 2004 durchgeführt. Beide Disziplinen wurden miteinander verglichen. Neben dem beschriebenen dominanten aeroben Metabolismus, welcher in beiden Disziplinen verdeutlicht wurde, fanden sie heraus, dass Kumite eine größere metabolische Gesamtarbeit als die Kata benötigt. Der Faktor ergibt sich jedoch aus der längeren Aktionszeit. Die maximale Belastungszeit der Katas betrug 160 Sekunden (2009, S. 603 ff.).

Ravier, Dugué, Grappe und Rouillon betrachteten das Sauerstoffdefizit nach Belastungsende u.a. in Form der Laktatkonzentration und verglichen nationale und internationale Topathleten über eine Laufbandmessung. Unter anderem waren ein Belastungsstufenlauf bis zur Erschöpfung und ein supramaximaler Lauf vertreten. Beim letztgenannten sollten die Probanden einen Lauf von 2-3 Minuten bei ihrer  $VO_2$  max von 140% durchführen. Bei den Messungen wurde die Spiroergometrie angewandt. Die Blutuntersuchung erfolgte über einen Katheter in der radialen Vene des Armes. Bei der Stufenbelastung konnten die internationalen Athleten signifikant niedrigere Laktatwerte erreichen. Die maximale Laktatmobilisation der nationalen Gruppe lag im Durchschnitt bei  $16,9 \pm 2,1$  mmol/l und bei der internationalen Gruppe bei  $13,2 \pm 2,2$  mmol/l. Bei dem supramaximalen Lauf wurde die Erholungszeit über 15 Minuten nach der Belastung betrachtet. Auch hier wiesen die internationalen Athleten geringere Laktatwerte und eine bessere Erholungsfähigkeit auf, auch wenn die Signifikanz nicht bestätigt werden konnte (2006, S. 810 ff.). Auch wenn die Laktatwerte in der Ausbelastung zum Teil genetisch bestimmt sind und auch von dem Faktor Ernährungszustand abhängen, ist es jeweils beachtenswert, dass die internationale Gruppe in den Versuchen niedrigere Werte aufweist. Ravier et al. argumentieren mit einem geringen Beitrag der anaeroben Energiebereitstellung und mit einer verbesserten Laktatverarbeitung während der Belastung (2006, S. 815). Diese Ergebnisse stützen die Aussagen von Doria et al. und Beneke et al. bezüglich dem dominierenden aeroben Stoffwechselweg. Was hingegen aber kritisch zu vermerken ist, dass es sich um keine spezifische Belastung handelte. Die Laktatkinetik kann hier gänzlich anders aussehen.

Die determinierende Krafftähigkeit im Karate-Kumite ist die Schnellkraft. Es wird beschrieben, dass die Kontraktionsgeschwindigkeit eher ausschlaggebend ist als die Maximalkraft. Dies ist auf das Regelwerk zurückzuführen, da ein Semi-Kontakt vorgeschrieben ist. Die Schlaghärte ist nicht entscheidend, sondern die Geschwindigkeit der Technik (Chaabène et al., 2012, S. 838 f.). Um die Geschwindigkeit zu forcieren, bewegt sich ein Kumite-Kämpfer in seiner Kampfauslage stetig in einer sehr leichten Sprungform. Auch Angriffe werden mit kräftigen flachen Abdrücken nach vorn in dieser Form gestaltet. Dieses Bewegungsmuster wird als „Steppen“ bezeichnet. Den

physiologischen Vorteil dieser Bewegung bildet der Dehnungsverkürzungszyklus (Eichert, 2014).

Die Forschungslage zur Beweglichkeit von Karatekas ist sehr gering. Unbestritten ist jedoch, dass ein höheres Maß an Beweglichkeit, speziell der unteren Extremitäten bzw. im Hüftbereich, einen Vorteil erbringt. Tritte können höher, mit einer größeren Spannweite und demnach gezielter ausgeführt werden. Weiter wird darauf verwiesen, dass die dynamische Beweglichkeit eher von Bedeutung ist als die statische (Chaabène et al., 2012, S. 839 f.). Das heißt, ein hoher Tritt zum Kopf ist möglich, ohne einen Spagat bewerkstelligen zu können.

Abschließend beschreiben Chaabène et al. die Reaktionszeit von Karatekas. Hierbei unterscheiden sie in einfache Reaktionszeiten und Handlungs-Reaktionszeiten. Im Erstgenannten sind die Ergebnisse kontrovers. Eine Aussage ist nicht abzuleiten. Die Zweitgenannte lässt vermuten, dass Topathleten schneller handeln als Novizen. Die Forschungslage ist jedoch nicht repräsentativ und weitere Untersuchungen sind notwendig (2012, S. 840).

Viele Untersuchungen verglichen Topathleten mit Novizen. Zusammengefasst ist festzuhalten, dass die Topathleten oft in den jeweiligen Bereichen die besseren Ergebnisse aufwiesen. Jedoch waren die Ergebnisse nicht immer signifikant und die Stichproben zum Großteil nicht repräsentativ. Es wird weitere Forschung benötigt, um das Bild des Kumite-Athleten weiter zu verdeutlichen.

Der Bundeslehrwart des Deutschen Karateverbandes Fritzsche geht näher auf die Leistungsstruktur eines Karate Kumite-Kämpfers ein. Er schildert, dass die Wettkampfform zu den technisch-taktischen Sportarten zählt. Die Athleten sind gefordert spezifische azyklische Techniken situationsgemäß anzuwenden. Im Punkt der Schnelligkeit ist eine hohe Handlungsschnelligkeit und eine hohe Verarbeitungsfähigkeit gefordert. Demnach sind die Reaktionsfähigkeit und die Antizipation von großer Bedeutung. Alle weiteren koordinativen Fähigkeiten werden als bedeutsam begründet. Die Differenzierungsfähigkeit wird jedoch im Punkt der Handlungsgenauigkeit separat erwähnt. Unter den Krafftfähigkeiten wird auch hier die Schnellkraft als leistungsentscheidend beschrieben. Weiter werden die Ausdauerleistungsfähigkeit und die Schnelligkeitsausdauer als wichtige Komponenten beschrieben. Die Disziplin wird aufgrund der Nettokampfzeiten von 2-3 Minuten in die untere Mittelzeitausdauer eingruppiert. Auf die Ausbildung einer fundierten Grundlagenausdauer wird ebenfalls verwiesen (Fritzsche, 2012, S. 2 ff.). Gemäß dem Kapitel 2.3 sind die benannten Fähigkeitsausprägungen kritisch zu bewerten, da sie auf der gleichen energetischen Grundlage beruhen. Wie beschrieben wird das Karate-Kumite hier einer Laufeinteilung zugeordnet. Des Weiteren ist zu hinterfragen, wie Grundlagenausdauer im Karate-Kumite definiert ist. Sogar in den typischen Ausdauerdisziplinen herrscht darüber Uneinigkeit. Diese Einteilungen werden für das bessere Verständnis genutzt. Ob dies jedoch hilfreich ist oder eher verkomplizierend, bleibt dem Betrachter überlassen.



Abschließend kann zusammengefasst werden, dass Karate-Kumite eine technisch-taktische Sportart ist. Ein Kumite-Kämpfer von internationalem Niveau sollte entsprechend seiner Gewichtsklasse groß, schlank und muskulös sein und einen geringen Körperfettanteil aufweisen. Die Größe impliziert lange Extremitäten, welche dem Kumite-Kämpfer Reichweitenvorteile erbringen. Die aerobe Energiebereitstellung in dieser Disziplin ist dominant. Da nicht die Schlag- oder Tritthärte entscheidend sind, sondern die Geschwindigkeit, ist die Schnellkraft die wichtigste Krafftähigkeit eines Karatekas. Hier wird vor allem die alaktazide Energiebereitstellung beansprucht. Durch den Semi-Kontakt wird die Differenzierungsfähigkeit besonders gefordert. Eine erhöhte Beweglichkeit, speziell der unteren Extremitäten, erweitert die Reichweite und den Bewegungsraum. Eine ausgeprägte Handlungsschnelligkeit ist von Vorteil. Dies impliziert schnelle Reaktionszeiten und eine gute Antizipation.

## 2.6 Schnellkraft im Karate-Kumite

„Unter der Schnellkraft wird [...] das Vermögen verstanden, möglichst hohe Kraftwerte pro Zeiteinheit zu realisieren“ (Bührle, 1985, S. 99). Aus den beiden Parametern kann über biomechanische Messverfahren eine Kraft-Zeit-Kurve erstellt werden. Ihr Verlauf beginnt exponentiell, gefolgt von einem linearen Anstieg und einer abschließenden Plateaubildung. Die Verlaufsformen sind individuell und von verschiedenen Faktoren bestimmt. Lediglich der lineare Anstieg ist individuell gleich und unabhängig von der bewältigten Intensität und der Kontraktionsform. Der Quotient der maximalen Kraft zum entsprechenden Zeitpunkt ergibt den Schnellkraftindex. Die entwickelte Kraft pro Zeiteinheit im linearen Anstieg wird als Explosivkraft bezeichnet. Der Kraftanstieg innerhalb der ersten 30 Millisekunden in der Bewegung wird als Startkraft definiert. Ihre Kennwerte werden zur Beurteilung der Schnellkraft herangezogen. Die beschriebenen Parameter sind in der Abbildung 5 grafisch dargestellt. Der Maximalkraft wird einem sehr großen Einfluss auf die Schnellkraft zugewiesen (Bührle, 1985, S. 99 ff.).

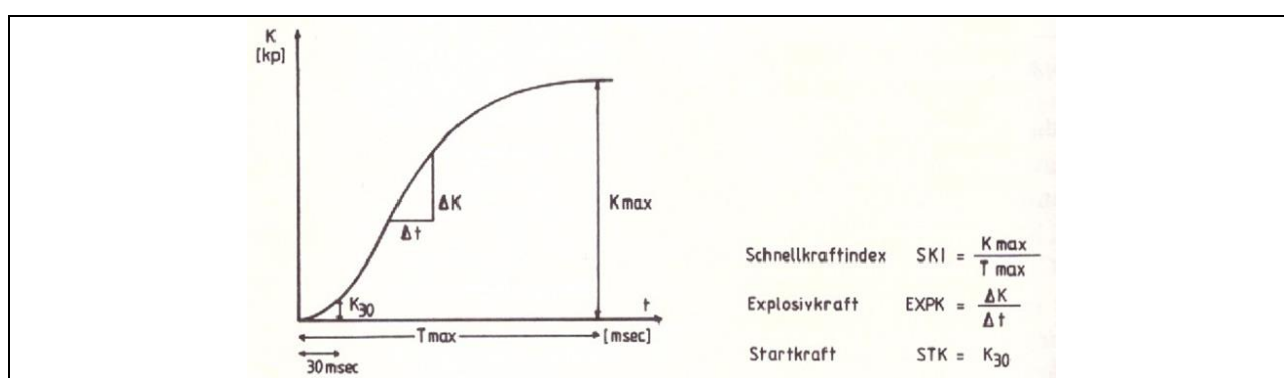


Abb. 5. Kraft-Zeit-Kurve und Schnellkraftparameter, Bührle, 1985, S. 104

„In der Sportpraxis wird von Schnellkraft immer dann gesprochen, wenn es gilt, dem eigenen Körper, einzelnen Extremitäten oder einem Sportgerät eine möglichst hohe Geschwindigkeit zu versetzen“ (Bührle, 1985, S. 102).

Zur gleichen Zeit wird diese Aussage kritisch betrachtet. Nur weil äußerlich keine schnelle Bewegung zu erkennen ist, muss dies nicht gleichzeitig bedeuten, dass die innere Tätigkeit des Körpers in Form von Innervation und Kontraktion langsam vorstättengeht (Bührle, 2003, S. 99). Die Endgeschwindigkeit einer Bewegung ist u.a. von der Explosivkraft abhängig, speziell bei geringeren Lasten bzw. lediglich die Last der Extremitäten (Bührle, 1985, S. 102 f.). Bührle verweist weiter darauf, dass der Einfluss der Maximalkraft auf die Explosivkraft, entsprechend der oben beschriebenen Abhängigkeit, einhergehend ist (1985, S. 104). Hieraus ergibt sich ein Widerspruch bezüglich der Aussagen zum Forschungsstand. Es wird stets darauf verwiesen, dass durch das „Touch-Feeling“ im Wettkampf mehr die Schnellkraft als die Maximalkraft von Bedeutung ist. Die dargestellte Definition der Schnellkraft in der Sportpraxis bestätigt diese These. Jedoch durch die dargestellte Abhängigkeit zur Maximalkraft ist dem kritisch gegenüber zu stehen. Bezüglich der Schlaghärte müssten die Fähigkeitsverteilungen im Vergleich zu anderen Kampfsportarten überprüft werden. Weiterhin wird auch der Starkraft bei Kampfsportarten eine wichtige Rolle zugeschrieben. Dies ist daran begründet, schnellstmöglich auf Signale zu reagieren bzw. schnellstmöglich eine Bewegung auszuführen. Dies hat die Grundlage, dass vor jeder Bewegung bzw. Beschleunigung einer Last oder eines Körperteils eine isometrische Kontraktionsphase vorgeschaltet ist, die überwunden werden muss. Je kleiner diese Phase im zeitlichen Verlauf ist, desto eher bewegt sich die Last bzw. die Extremität. Demnach entspricht ein steilerer Anstieg der Startkraft, einer früheren Bewegung der Extremität. Physiologisch ist die Startkraft mit der gleichzeitigen Aktivierung der motorischen Einheiten begründet (Bührle, 1985, S. 102 ff.). In Abbildung 6 ist der Kraftimpuls als schraffierte Fläche dargestellt. Mit zunehmender Flächengröße nimmt die Endgeschwindigkeit bei  $t_2$  zu. Die Zeit bis  $t_1$  beschreibt die isometrische Kontraktion. Die Last bzw. die Extremität wird ab  $t_1$  in Bewegung versetzt. Wird der Widerstand verringert, fällt die isometrische Phase kleiner aus (B). Demnach nimmt der Einfluss der Explosivkraft auf die Flächengröße und somit auf die Endgeschwindigkeit zu. Eine Verbesserung der Startkraft führt zu einem steileren Kraftanstieg, wodurch die isometrische Phase schneller überwunden wird. Demnach verschiebt sich  $t_1$  weiter Richtung Null und vergrößert die Fläche. Bei einem Karateschlag ist  $t_1$  noch früher als bei B zu vermuten, da nur die Armlast überwunden werden muss (Bührle, 1985, S. 102 ff.).

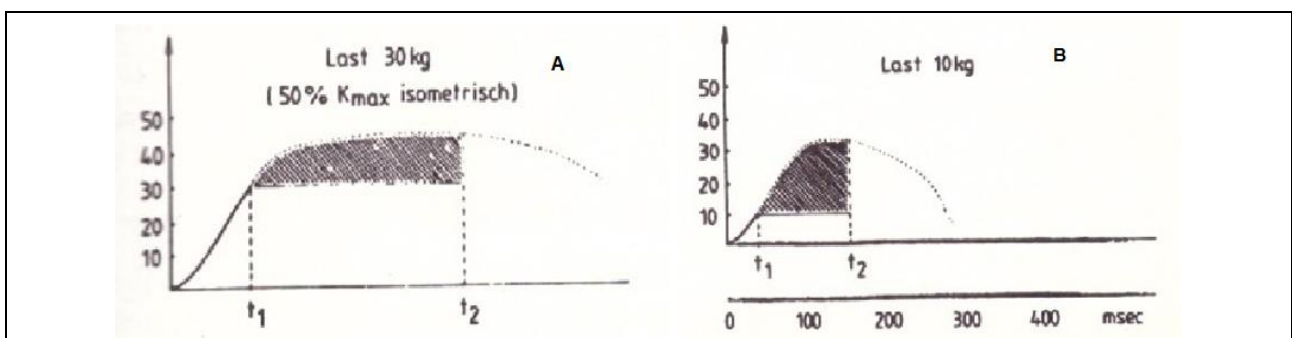


Abb. 6. Kraft-Zeit-Verlauf-Kurven mit unterschiedlich zu überwindenden Lasten – A 30 kg, B 10 kg, Bührle, 1985, S. 103

Aus den dargestellten Parametern ergibt sich die Frage, mit welchen Methoden die Schnellkraft, im speziellen die Explosivkraft und die Startkraft trainiert werden können. Schlussfolgernd verweist Bührle darauf, dass alle Übungen, die die Maximalkraft steigern, die Explosivkraft voran bringt (1985, S. 105). Da dies jedoch nicht sportartspezifisch ist, wird die Durchführung der Schnellkraftmethode dargestellt, welche vorrangig die Explosivkraft entwickeln soll. Hierbei kommt es zu einer spezifischen Übungsform mit leichten Gewichten. Die Intensität wird mit 35-50% des individuellen Maximums angegeben. Sieben Wiederholungen sollten je Satz durchgeführt werden. Die Pausenzeit beträgt 3-5 Minuten. Untersuchungen von Bührle zeigten bei einem Interventionsprogramm Verbesserungen mit der Schnellkraftmethode, jedoch werden die Ergebnisse der Explosivkraft eindeutig mit der Anwendung von kurzen maximalen Kräfteinsätzen übertroffen. Die Anpassungserscheinungen der Schnellkraftmethode werden großteils auf die intermuskuläre Koordination zurückgeführt. Es ist jedoch anzumerken, dass jegliche Ergebnisse auf Versuchen mit einer einfachen motorischen Bewegung unter Laborbedingungen, einarmiges Bankdrücken, beruhen (Bührle, 1985, S. 105 ff., 84 ff.). Es resultiert der Spagat zwischen der gewünschten physiologischen Anpassung und der sportartspezifischen Anpassung. Zur Verbesserung der Startkraft beschreibt Fritzsche ein Schlag- bzw. Trittraining gegen eine Pratte. Hierbei soll der Sportler aus der spezifischen Bewegung ohne Fremdeinwirkung und Ablenkung maximal schnell agieren. Diese Trainingsform kann als logische Konsequenz der physiologisch beschriebenen Anpassung bestätigt werden. Die Belastungsparameter werden mit 6-10 Wiederholungen bzw. einer Belastungszeit von 4-10 Sekunden, 6-10 Sätze und einer Pause von 5 Minuten zwischen den Sätzen angegeben. Sofern ein Widerstand eingebracht werden kann, soll dieser 30-60% des individuellen Maximums betragen (o.J., S. 131 ff.). Allgemein verweisen beide Autoren darauf, dass die Ausführungen mit größter Intensität und maximal explosiv erfolgen sollen (Bührle, 1985, S. 99 ; Fritzsche, o.J., S. 133 ).

Entsprechend der Trainingswissenschaft, können beide Vorgehensweisen der Wiederholungsmethode zugewiesen werden. Harre verweist darauf, dass diese Methodik zur Verbesserung Schnellkraftfähigkeit die gängigste Anwendung darstellt. Auch er beschreibt eine maximal willkürliche Bewegungsausführung bei Intensitäten von 30-60%. Die Pausen sollten zur vollständigen Erholung dienen. Es werden 5-10 Wiederholungen je Satz angegeben gepaart mit Pausenzeiten von 3-5 Minuten (2011, S. 329 f., 332).

Gemäß den dargestellten Methoden verbessert das Pratzentraining vorrangig die Komponente der Startkraft von der Schnellkraft. Die Schnellkraftmethode wird lediglich mit kleinen Zusatzgewichten an Händen und Füßen durchgeführt (Fritzsche, o.J., S. 130). Hierbei kann neben der kritischen Darstellung von Bührle weiter in Betracht gezogen werden, dass die angegebenen Intensitäten nicht eingehalten werden können, da a.) die Maximalkraft der Bewegung schwierig oder gar nicht zu bestimmen ist und b.) eine Last von 30-60% wahrscheinlich negative physiologische Folgeerscheinungen nach sich ziehen würde, weil der Körper die beschleunigte Masse nicht auffangen kann und somit die Gewebsstrukturen nachgeben.

In der Trainingspraxis des Karate-Kumite ist das Pratzentraining ein fester Bestandteil und stellt das typische spezifische Schnellkrafttraining dar.

## 2.7 Forschungsfrage und Hypothesen

In der vorliegenden Arbeit wird eine Versuchsanleitung beschrieben, um ein energetisches Profil während einer Trainingseinheit im Karate-Kumite aufzunehmen. Die ausgewählte Einheit besitzt das Ziel, die Schnellkraft zu trainieren. Entsprechend der Fakten der Trainingswissenschaft wird ein spezifisches Pratzentraining mit einem Partner durchgeführt. Auf der einen Seite soll der gesamte energetische Verlauf der Einheit beurteilt werden. Auf der anderen Seite soll überprüft werden, ob die energetische Sichtweise der Trainingsmethodik „Wiederholungsmethode“ dem entspricht, was sie vorgibt. Die Annahme ist, dass durch eine vollständige Erholung jeder Übungssatz zum Großteil anaerob-alaktazid durchgeführt wird. Für die Erholung werden zwei Konzepte verfolgt. Zum Einen wird sich an der Trainingswissenschaft orientiert, die eine Erholungszeit von 5 Minuten ausweist. Zum Anderen wird die physiologische Halbwertszeit von Kreatinphosphat als Parameter herangezogen. Marées gibt eine Halbwertszeit von 30-60 Sekunden an (2003, S. 363). Hollmann & Strüder verweisen auf ähnliche Zeiten, wobei kurzzeitig intensiven Sportarten eine geringfügig längere Resynthesezeit zuzuschreiben ist (2009, S. 81). Dies kann an einer stärkeren Ausschöpfung der Speicher bedingt sein (Heck, 1990, S. 58) oder an einem verbesserten aeroben System, welches eine schnellere Resynthese nach sich zieht (Hollmann & Strüder, 2009, S. 81). Ob eine größere Speicherkapazität für kurzzeitig intensive Sportarten einen Einfluss hat, ist bisher nicht nachgewiesen (Hartmann, 2015). Binnen vier Halbwertszeiten sind 95% wieder resynthetisiert. Geht man von dem Mittelwert der angegebenen Dauer einer Halbwertszeit aus, 45 Sekunden, entspricht dies einer Pausendauer von 3 Minuten. Diese Länge wird im Vergleich zur trainingswissenschaftlichen Pausenlänge mittels eines Crossover-Designs in zwei unabhängigen Gruppen gegenübergestellt. Es soll überprüft werden, ob es innerhalb der Trainingseinheit zu einem kumulativen Effekt einer unzureichenden Erholungsphase kommt und ob daher, womöglich mit zunehmender Dauer des Trainings, die Tätigkeiten vermehrt aerob abgedeckt werden.

- Hypothese 1: Der anaerob-alaktazide Anteil an der Energiebereitstellung während eines schnellkräftig durchgeführten Übungssatzes ist am größten.
- Hypothese 2: Eine Pausenzeit von 5 Minuten gewährleistet eine gleichbleibende anaerob-alaktazide Energiebereitstellung unabhängig von der Satzanzahl.
- Hypothese 3: Die kürzeren Pausenzeiten von 3 Minuten veranlassen im Trainingsprozess bei steigender Satzanzahl eine vermehrt aerobe Energieabdeckung.

## 3 Methodik

### 3.1 Forschungsdesign

Bei der hier vorgestellten Untersuchungsmöglichkeit handelt es sich um eine empirische Forschung, die sich auf quantitative Daten stützt. Bezüglich einer randomisierten Gruppeneinteilung, einer Crossover-Versuchsanordnung und die Überprüfung eines Effektes durch zwei unabhängige Versuchsgruppen ist der Forschung ein quasi-experimentelles Design zuzuordnen. Es erfolgt eine statistische Auswertung und die aufgestellten Hypothesen werden bewertet.

Vor dem Untersuchungsbeginn muss beim zuständigen Institut ein Ethikantrag über die bevorstehende Forschung eingereicht und genehmigt werden.

### 3.2 Probanden

Um einen Vergleich eines energetischen Trainingsprofils mit einem Wettkampfprofil durchführen zu können, sollte das Probandenkollektiv aus der gleichen Bezugsgruppe stammen. Demnach sind Sportler vom nationalen und internationalem Niveau heranzuziehen. Insgesamt sollte eine Probandenanzahl von acht Personen erreicht werden. Eine größere Probandenzahl ist aus organisatorischen Gründen vorerst nicht möglich, Kapitel 3.3 und 3.4. Aus vereinfachten rechtlichen Gründen und der Gruppierung der Sportler in die Leistungsklasse (der WKF), müssen die Teilnehmer zwischen 18 und 30 Jahre alt sein. Bei der Untersuchung sollte entweder nur das weibliche oder nur das männliche Geschlecht teilnehmen.

Die Probanden werden aufgefordert, den Tag vor der Belastung kein Training durchzuführen. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass ein normaler Ernährungszustand mit kohlenhydratreicher Kost vorliegt. Am Tag der Untersuchung ist 2 Stunden vor der Belastung keine Mahlzeit mehr zuzuführen. Die Kost im Vorfeld sollte leicht verdaulich ausfallen. Diese vorbereitende Phase könnte noch gründlicher durchgeführt werden, z.B. 3 Tage Ruhe durch vollständige Auffüllung der Glykogenspeicher (Marées, 2003, S. 363). Dies entspricht jedoch nicht der alltäglichen Praxis, weil die Sportler aus ihrem Trainingsrhythmus herausgeholt werden. Daher wird hier diese Kompromissvariante dargestellt.

Alle Probanden müssen vor den Untersuchungen über die Abläufe, Absichten und Risiken der Studie informiert werden. Ihre Teilnahme ist freiwillig und kann jeder Zeit ohne Angabe von Gründen beendet werden. Mit einer Unterschrift bestätigen Sie die Teilnahmebedingungen und können die Untersuchung absolvieren.

Da es sich bei der Laktatabnahme um einen invasiven Eingriff handelt, muss im Vorhinein ausgeschlossen sein, dass bei den Teilnehmern keine Hämophilie vorliegt. Zudem ist durch die offene Wunde die Infektanfälligkeit erhöht. Demnach muss ein Nachweis über eine aktuelle Tetanusimpfung vorliegen.

### 3.3 Untersuchungsaufbau

Entsprechend der Theorie im Kapitel 2.6 wird ein spezifisches Schnellkrafttraining der Sportart Karate in der Disziplin Kumite durchgeführt. Hierzu wird das Pratzentraining herangezogen.

Aus organisatorischen und personellen Gründen findet eine Untersuchungseinheit je Proband statt. Die personelle Ursache ist daran begründet, dass nicht acht ausgebildete Fachkräfte für Laktatabnahmen gleichzeitig zur Verfügung stehen können. Des Weiteren würde dies auch die Arbeit stark verkomplizieren. So liegt der Fokus auf dem einzelnen Probanden. Neben dem Proband, der medizinischen Fachkraft und dem Untersuchungsleiter, muss noch ein Sportler als Trainingspartner anwesend sein. Er kann Teil der Stichprobe sein, darf aber aufgrund der Vorbelastung nicht nach seiner Hilfe untersucht werden. Für die sportliche Tätigkeit ist eine Fläche von sechs Quadratmetern rechteckig angeordnet ausreichend. Demnach kann die Untersuchung flexibel auch in Laboren durchgeführt werden. Von Vorteil wäre jedoch eine spezifische Umgebung mit einer ausgelegten Mattenfläche. Insgesamt sind acht Untersuchungseinheiten anzusetzen. Dabei absolvieren die Teilnehmer ein Training von einer Gesamtlänge von ca. 65 Minuten. Dabei ist die Trainingszeit in 15 Minuten Erwärmung, 45 Minuten Schnellkrafttraining und 5 Minuten Abwärmen eingeteilt. Zur Standardisierung und Erhöhung der Objektivität sind alle Elemente des Trainings vorbestimmt. Ausnahme bildet das Abwärmen, da hier die Messung eingestellt wird. Die Erwärmung beginnt mit einem allgemeinen Teil, in dem sich die Personen einlaufen und eine vorgeführte Laufschiene absolvieren. Anschließend findet ebenfalls nach Vorgabe ein dynamischer Dehnungsteil statt. Dies soll die Beweglichkeit vergrößern, wobei gleichzeitig der Muskeltonus für die kommenden schnellkräftigen Bewegungen erhalten bleibt. Weiter erfolgt ein lockeres „Einschlagen“ mit dem Partner 1-1 im Wechsel. Hierbei ist die Technikwahl frei. Nun beginnt der spezifische Schnellkraft-Part. Hierbei wurde sich bei den Belastungsfaktoren an den Autoren im Theorieteil orientiert. Der Proband startet mit einer Pause. Insgesamt werden 8 Durchläufe, Sätze, à 6 Wiederholungen von Einzeltechniken oder Technikkombination durchgeführt. Dabei sind jeweils 3 Wiederholungen mit der linken und 3 mit der rechten Auslage auszuführen. Die Wahl der Techniken bezieht sich auf die gängigsten Trainings- und Wettkampftechniken. Hierbei wurde sich für die Einzelfausttechnik „Kizami-Zuki“, die Faust-Faust-Kombination „Kizami-Gyaku-Zuki mit Doppelstepp“, die Einzelfußtechnik „Mawashi-Geri Jodan mit dem hinteren Bein“ und die Faust-Fuß-Kombination „Kizami-Zuki und Ura-Mawashi-Geri mit dem vorderen Bein und mit Beisetzschritt“ entschieden. Die vier Technikaktionen werden jeweils zweimal mit entsprechender Pause durchgeführt, wodurch 8 Durchläufe resultieren, Tabelle 1. Die Ausführung erfolgt auf Prätzen, die der Partner entsprechend positioniert. Der Prätzenhalter bewegt sich nicht und bleibt auf der Stelle stehen. Der agierende Sportler soll aus einer leichten Steppbewegung agieren. Zudem ist er aufgefordert, sich immer wieder neu zu nahezu 100% auf die aktuell auszuführende Technik zu konzentrieren und die Aktion mit maximaler Willenskraft durchzuführen. Hat ein Sportler

seine 6 Wiederholungen absolviert, findet unmittelbar der Wechsel statt und der andere Partner ist an der Reihe. Auch wenn der Trainingspartner in der aktuellen Durchführung nicht untersucht wird, ist er trotzdem aufgefordert die gleichen Übungen durchzuführen. Hierbei geht es mehr um den Probanden. Dieser soll ebenfalls die Pratzen halten und dem Druck der Schläge und Tritte entgegenwirken, weil dies auch den Trainingsalltag widerspiegelt. Die Pausenzeit für den Probanden beginnt aber bereits nach seiner letzten Technik, d.h. in seiner Pausenzeit hält er die Pratze für den Trainingspartner. Nichtsdestotrotz soll die Pause zur vollständigen Regeneration dienen. Die genaue Einteilung erfolgt im nächsten Absatz. Es wird die Wiederholungsmethode angewandt (Harre, 2011, S. 329 f.).

Die 8 Teilnehmer gleichen Geschlechts werden jeweils randomisiert in 2 Gruppen eingeteilt. Die Gruppen unterscheiden sich in Bezug auf die Pausenlängen und auf die Reihenfolge der Technikausführungen. Hierbei wird das Crossover-Design angewandt. Somit werden die gleichen Techniken mit gleichen Pausenlängen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Training durchgeführt, Tabelle 1. Grundsätzlich unterscheiden sich die Pausen zwischen 3 und 5 Minuten. Entsprechend dem Theorieteil müssten nach 3 Minuten ca. 95% des Kreatinphosphates wieder hergestellt sein. Eine 5 minütige Pause sollte nahezu 100% des Speichers wieder gefüllt haben. Zudem gleicht diese Pausenlänge den trainingswissenschaftlichen Annahmen der Schnellkraftmethode, Kapitel 2.6. Daher soll mit dem Design bestimmt werden, ob eine Pause von 3 Minuten für die vollständige Wiederherstellung des Kreatinphosphatspeichers ausreichend ist, ohne eine Verschiebung auf die anderen energetischen Produzenten zu bewerkstelligen. Des Weiteren kann die energetische Entwicklung im zeitlichen Trainingsverlauf bei unterschiedlichen Pausenlängen beurteilt werden. Bezüglich einer Überprüfung der Auswirkung der Belastungszeit auf die energetische Beanspruchung wurde je Pausenabschnitt (3/5 Minuten) eine Einzeltechnik und einer Kombination zugewiesen.

Der Proband ist aufgefordert die vollständige Schutzausrüstung zu tragen. Somit wird versucht, der Wettkampfspezifik bzw. der Trainingsspezifik so nah wie möglich zu kommen. Die Ausnahme stellt der Zahnschutz dar. Bezüglich der Atemmaske ist die Atmung bereits erschwert. Daher wird hier zugunsten der Probanden entschieden. Eine kritische Anmerkung erfolgt in der Methodenkritik. Aus praktikablen Gründen werden auch die Gi-Jacke (Oberteil des Karateanzuges) und der Gürtel nicht getragen. Die Teilnehmer sind aufgefordert ein T-Shirt und die Schutzweste anzuziehen. Diese liegen beide eng am Körper an. Somit ist die Befestigung der Spirometrie begünstigt. Diese wird bereits vor dem Trainingsstart warmgelaufen, kalibriert und funktionstüchtig auf dem Rücken des Teilnehmers angebracht. Vor dem Trainingsstart findet eine 5 minütige Ruhephase zur Aufnahme der Ruheparameter statt. Ebenso wird hier das Ruhelaktat vom hyperämisierten Ohrläppchen, 20µl Kapillare, genommen und in ein enzymatisches Reaktionsgefäß überführt. Die Konzentrationsbestimmung erfolgt über die enzymatisch-amperometrische Methode (EKF-Diagnostics, 2014; EKF-Diagnostics, 2009, S. 11). Die Angaben gelten für alle weiteren Laktatproben. Da die Spirometrie kontinuierlich aufnimmt, sind weiter nur die Zeitpunkte

der Laktatabnahmen zu bestimmen. Unmittelbar nach dem Ende der Erwärmung findet eine Abnahme statt. Die nächste erfolgt direkt vor dem Beginn der ersten Technikaktion. Anschließend findet eine Abnahme unmittelbar nach der Tätigkeit und in den vollen Pausenminuten statt. Die Abnahme in der letzten Pausenminute entspricht dem Vorbelastungslaktat der neuen Aktion. Es ist zu vermuten, dass das Halten der Pratzten durch den Probanden zu zeitlichen Verzögerungen der folgenden Abnahmen führt. Dies ist aber organisatorisch lösbar und wird folgend beschrieben. Unmittelbar nach der letzten Technik wird das Laktat abgenommen. Währenddessen werden die Schützer mit den Pratzten getauscht. Hierfür ist eine Zeit von 30 Sekunden vorgesehen, welche schon zu der Pausenzeit des Probanden gehören. In den folgenden 30 Sekunden hält der Proband die Pratzten und der Trainingspartner kann agieren. Zum Einen sind für die 6 Wiederholungen 30 Sekunden ausreichend, zum Anderen hat eine verminderte Wiederholungsanzahl keinen größeren Einfluss, weil der Trainingspartner nicht untersucht wird. Der Untersuchungsleiter gibt das Signal zur vollen Messminute. Insgesamt werden im Mittel 45 Laktatproben je Proband abgenommen. Die Herzfrequenz wird als Basisparameter über einen Brustgurt simultan auf einem PC mit aufgenommen.

Abschließend ist der Trainingsablauf mit dem Crossover-Design zur Übersicht in Tabelle 1 dargestellt.



Tab. 1: Versuchsaufbau – Schnellkrafttrainingseinheit, 2 Gruppen Crossover-Design

Aufgabe	Beschreibung	Gruppe 1	Gruppe 2	Beschreibung
		Zeit [min]	Zeit [min]	
Erwärmung	Einlaufen und Laufschiule	5	5	Einlaufen und Laufschiule
Dehnung	Dynamisches Dehnen	5	5	Dynamisches Dehnen
Spezifische Erwärmung	Techniken schlagen am Partner 1-1 im Wechsel, freie Technikwahl	5	5	Techniken schlagen am Partner 1-1 im Wechsel, freie Technikwahl
	Pause	5	3	Pause
Aktion 1	Kizami-Zuki	1	1	Mawashi-Geri Jodan hinteres Bein
	Pause	5	3	Pause
Aktion 1	Kizami-Zuki	1	1	Mawashi-Geri Jodan hinteres Bein
	Pause	5	3	Pause
Aktion 2	Kizami-Gyaku-Zuki mit Doppelstep	1	1	Kizami-Zuki und Uramawashi Geri mit dem vorderen Bein, Beisetzschritt
	Pause	5	3	Pause
Aktion 2	Kizami-Gyaku-Zuki mit Doppelstep	1	1	Kizami-Zuki und Uramawashi Geri mit dem vorderen Bein, Beisetzschritt
	Pause	3	5	Pause
Aktion 3	Mawashi-Geri Jodan hinteres Bein	1	1	Kizami-Zuki
	Pause	3	5	Pause
Aktion 3	Mawashi-Geri Jodan hinteres Bein	1	1	Kizami-Zuki
	Pause	3	5	Pause
Aktion 4	Kizami-Zuki und Uramawashi Geri mit dem vorderen Bein, Beisetzschritt	1	1	Kizami-Gyaku-Zuki mit Doppelstep
	Pause	3	5	Pause
Aktion 4	Kizami-Zuki und Uramawashi Geri mit dem vorderen Bein, Beisetzschritt	1	1	Kizami-Gyaku-Zuki mit Doppelstep
	Pause	5	5	Pause
Abwärmen	Auslaufen und Dehnung	5	5	
	Gesamtzeit	65	65	Gesamtzeit

### 3.4 Auswertung

#### 3.4.1 Erstellung des energetischen Profils

Als Vorlage soll das Vorgehen aus der Studie von Beneke, Pollmann, Bleif, Leithäuser & Hütler 2002 und der Studie von Beneke et al. 2004 dienen. Hierbei wird eine Methodik durchgeführt, mit der zusammenfassend eine prozentuale Angabe des aeroben, des anaeroben-laktaziden und des anaerob-alaktaziden Stoffwechsels bezüglich einer Belastung möglich ist. Dies geschieht über die Bestimmung des Gesamtenergieumsatzes, welcher sich aus den drei beschriebenen energetischen Anteilen zusammensetzt. Die prozentuale Angabe basiert auf der aufgewendeten Energie des jeweiligen Stoffwechselweges in Bezug zum Gesamtumsatz. Somit kann ein

energetisches Anforderungsprofil einer Sportart oder einer sportlichen Bewegung erstellt werden. Zur Datenaufnahme ist, wie beschrieben, die Spirometrie und die Messung von Blutlaktat von Nöten. Wie aus den aufgenommenen Daten das energetische Profil erstellt werden kann, soll in den nächsten Absätzen verdeutlicht werden. Die Grundlage des Vorgehens bildet die indirekte Kalorimetrie. Die Wärmeproduktion aus der Verstoffwechslung von Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid unter Berücksichtigung der Stöchiometrie ermöglicht eine indirekte Aussage über den Energieverbrauch (Müller, Bosy-Westphal, Dilba, Bader & Korth, 2006, S. 100). Die Wärmeproduktion wird über das kalorische Äquivalent angegeben, während der erhöhte Sauerstoffbedarf bei Belastung die benötigte Menge angibt. Das Produkt beider Parameter ergibt den Arbeitsumsatz. Es muss beachtet werden, dass sich der Arbeitsumsatz aus der Differenz vom Gesamtumsatz und Ruheumsatz zusammensetzt. Hierbei kann die Differenz im Vorfeld über das Sauerstoffvolumen oder im Nachhinein über die Umsatzdifferenz bestimmt werden (Marées, 2003, S. 389 ; Stegemann, 1991, S. 64). Im weiteren Verlauf der Arbeit, wird immer von einer implizierten Sauerstoffdifferenz ausgegangen. Schlussfolgernd kann die Bestimmung des Umsatzes der indirekten Kalorimetrie mit der folgenden Grundformel beschrieben werden.

$$W [J] = VO_2 [l] * \text{kal. Äquivalent} [J/l O_2]$$

Form. 1. Grundformel zur Bestimmung des Arbeitsumsatzes

Je nach Stoffwechselweg wird durch Umformung oder durch bestimmte Kriterien das entsprechende Volumen an Sauerstoff berechnet. Genauere Vorgehensweisen folgen. Das kalorische Äquivalent ist aus dem respiratorischen Quotienten (RQ) und somit vom Ernährungszustand bestimmt. Es besagt, wie viel Energie bei gegebenem Ernährungszustand bei der Reaktion mit 1 Liter Sauerstoff zur Verfügung gestellt werden kann. Der RQ ist das Verhältnis des Volumens der Kohlenstoffdioxidabgabe zum Volumen der Sauerstoffaufnahme. Über ihn ist das kalorische Äquivalent über Tabellen ableitbar (Stegemann, 1991, S. 57 ff. ; Marées, 2003, S. 381 f.). Für die Berechnungen wird der individuelle RQ, welcher in Ruhe als Mittelwert bestimmt wird, herangezogen. Er spiegelt den aktuellen Ernährungszustand wieder. Weiter ist davon auszugehen, dass sich dieser Grundzustand während der Belastung nicht ändert, auch wenn der RQ Änderungen in der Belastung aufzeigt. Das entsprechende kalorische Äquivalent wird gewählt (Bischof, 2015).

Die Daten der Spirometrie werden genutzt, um die aerobe Leistung und die anaerobalaktazide Leistung zu bestimmen. Für den aeroben Anteil der Arbeitsleistung wird das Volumen an Sauerstoff während der Belastungszeit abzüglich dem Ruhewert der Sauerstoffaufnahme bestimmt. Der Energieanteil kann dann berechnet werden, Formel 2.

$$W_{\text{aerob}} [J] = VO_2 \text{ SK-Belastung} [l] * \text{kal. Äquivalent} [J/l O_2]$$

Form. 2. Aerober Arbeitsumsatz, Beyer, 1999, S. 12

Bei der Bestimmung des alaktaziden Anteils wird der zeitliche Verlauf der Sauerstoffkurve nach Belastungsende betrachtet. Es wird ein Anteil des Sauerstoffvolumens für die Berechnung verwendet. Um diesen Wert zu bestimmen, gibt es mehrere Verfahren, wobei folgend zwei genauer erläutert werden. Für das bessere Verständnis werden vorerst grundlegende Fakten abgehandelt.

Wie oben beschrieben, bildet die Sauerstoffkurve während der Belastung die Grundlage. Mit einer beginnenden körperlichen Belastung kommt es vorerst zu einem Sauerstoffdefizit, da die sauerstofftransportierenden Systeme -Herz, Atmung, Umverteilung des Blutes und Vasodilatation in der Peripherie- eine gewisse Anlaufzeit benötigen, um den erhöhten Sauerstoffbedarf zu decken. Die Kurve verläuft wie eine um 90° nach rechts gedrehte Exponentialfunktion. Ist die Belastung submaximal, stellt sich nach einer gewissen Zeit ein Plateau ein und die Leistung kann über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden. Bei maximaler Belastung kommt es zu keiner Plateaubildung (Ausnahme Leveling Off) und ein Belastungsabbruch ist die Folge. Die Fläche bzw. das Volumen zwischen der Sauerstoffkurve bis zur Plateaubildung und der vertikalen Projektion vom Belastungsbeginn stellt das Sauerstoffdefizit dar. Nach dem Belastungsende fällt die Kurve rapide ab und gleicht einer Exponentialfunktion. Hierbei ergibt die Fläche bzw. das Volumen unterhalb der Sauerstoffkurve bis zur horizontalen des Sauerstoffruhwertes die Sauerstoffmehraufnahme nach Arbeitsende (alt: Sauerstoffschuld bzw. O<sub>2</sub>-debt). Grundsätzlich werden nur die Flächen ohne den Ruhewert betrachtet. Abbildung 7 zeigt eine zusammenfassende Grafik (Hollmann & Strüder, 2009, S. 74 f. ; Marées, 2003, S. 376 f.).

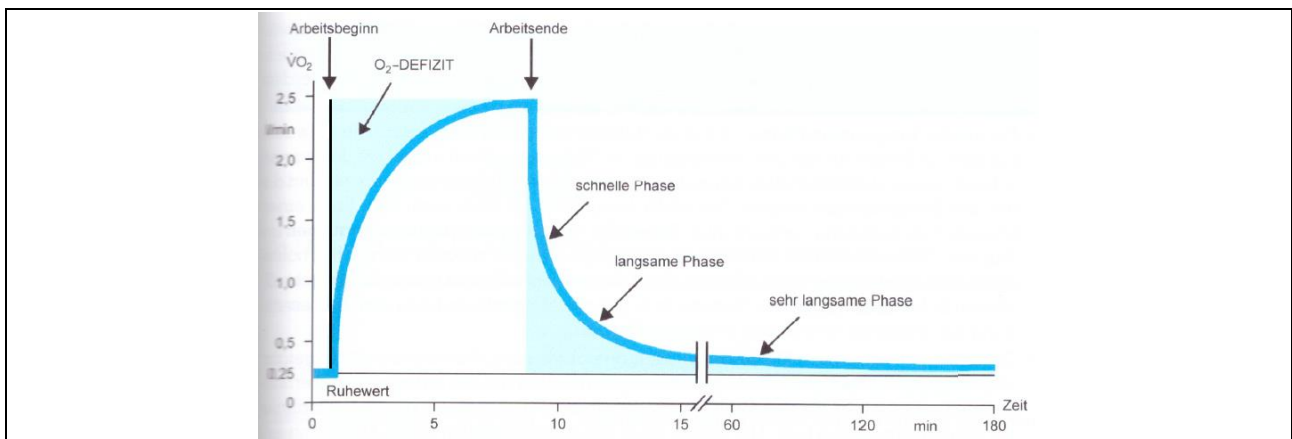


Abb. 7. Grafische Beispieldarstellung der Sauerstoffkurve mit Sauerstoffdefizit und Sauerstoffmehraufnahme nach Belastungsende, Marées, 2003, S. 377 ; Fläche O<sub>2</sub>-Defizit modifiziert

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass nach Belastungsende eine resynthetische Arbeit im Körper stattfindet, um die Sauerstoffschuld auszugleichen. Jedoch besitzen die Flächen keine identischen Größen. In der Regel weist die Nachatmung eine größere Fläche auf, die über das Belastungsdefizit hinausgeht (Marées, 2003, S. 377). Nach Hollmann & Strüder hat dies folgende Gründe: Erhöhte Arbeit der Herz- und Atemmuskulatur, erhöhter Sauerstoffbedarf des Gewebes bezüglich der

erhöhten Körpertemperatur und des erhöhten Katecholaminspiegels, Wiederauffüllung der Sauerstoffspeicher Hämoglobin und Myoglobin, Sauerstoffmehrbedarf zum Wiederaufbau der energiereichen Phosphate und zur Laktatumwandlung (2009, S. 75). Die abflachende Kurve nach Belastungsende kann nach Marées in drei Bereiche eingeteilt werden: Schnelle Phase, langsame Phase und sehr langsame Phase, Abbildung 7. In der ersten Phase kommt es zur Wiederauffüllung der ATP-, Kreatinphosphat-, Myoglobin- und Hämoglobinspeicher. Es wird eine Halbwertszeit von 0,5 Minuten für diese Phase angegeben. Die zweite Phase benötigt vermehrt Sauerstoff durch die erhöhte Körpertemperatur und der Katecholamine. Sie stimulieren den Stoffwechsel, was zu einer größeren Aufnahme führt. Gleiches gilt für die erhöhte Atem- und Herztätigkeit. Ein geringer Anteil an Sauerstoff wird für die Laktatverwertung genutzt. Die Halbwertszeit dieser Phase ist mit 15 Minuten angegeben. Die Kausalität der dritten Phase ist bisher nicht eindeutig geklärt. Man geht davon aus, dass intensive Belastungen über mehrere Stunden eine erhöhte Sauerstoffaufnahme zur Folge haben. Es werden Zeiten von 12-24 Stunden angesetzt (2003, S. 377 f.)

Die folgend dargestellten Studien arbeiten lediglich mit der schnellen und der langsamen Phase, weswegen im weiteren Verlauf nicht weiter auf die dritte Phase eingegangen wird. In der Literatur wird einvernehmlich immer die erste Phase der Sauerstoffnachatmung als Resynthese des Kreatinphosphates und der energiereichen Phosphate quantifiziert. Dies entspricht der anaerob-alaktaziden Energie, die während der Belastung umgesetzt wurde. Die Herleitung erfolgt demnach rückwirkend. In der Literatur wird die schnelle Phase auch als schnelle Komponente bezeichnet, die langsame Phase als langsame Komponente (Beneke et al., 2002 ; Beneke et al., 2004 ; Knuttgen, 1970 ; Piiper & Spiller, 1970).

Beneke et al. verweisen in ihren Arbeiten zur Bestimmung der schnellen Komponente auf eine interpolierte Bi-exponentielle Funktion, die in Formel 3 dargestellt ist (2002, S. 389).

$$VO_2(t) = a \cdot e^{-t/ta} + b \cdot e^{-t/tb} + c$$

Form. 3. Bi-exponentielle Funktion zur Bestimmung der schnellen und langsamen Komponente, Beneke et al., 2002, S. 389

Der erste exponentielle Term stellt die schnelle Komponente dar, der zweite exponentielle Term die langsame Komponente. Die resultierenden Graphen werden in die Grafik der Sauerstoffkurve eingefügt, Abbildung 8. Die markierte Fläche A entspricht dem anaerob-alaktaziden Energieanteil (Beneke et al., 2002, S. 389 ; Roberts & Morton, 1978, S. 282 f.).

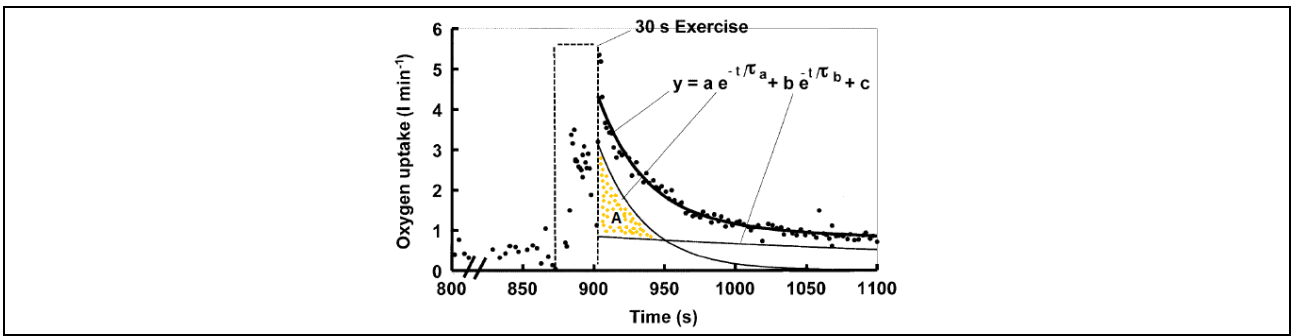


Abb. 8. Grafische Darstellung der Bi-exponentiellen Funktion, Beneke et al., 2002, S. 389 ; Fläche eigenmodifiziert, Fläche A entspricht dem Sauerstoffvolumen für die anaerob-alkalazide Energiebereitstellung

Auch wenn das theoretische Konstrukt verständlich ist, entstehen bei der praktischen Durchführung Komplikationen bezüglich der Erstellung der Funktionen. Es wird angegeben, dass die  $VO_2(t)$  für die Sauerstoffaufnahme zum Zeitpunkt X steht. Die Multiplikatoren a und b stellen die Amplituden der schnellen und langsamen Komponente dar. C ist die Sauerstoffaufnahme in Ruhe. Die Exponenten  $\tau_a$  und  $\tau_b$  werden als korrespondierende Zeitkonstanten deklariert (Beneke et al., 2002, S. 389). Auch wenn eine Zuordnung versucht wurde, ist der Einsatz von Werten in die Gleichung undurchsichtig. Die zitierte Basisliteratur von Knuttgen gibt ebenfalls keine genauere Auskunft, welche Werte eingesetzt oder bestimmt werden. Aus ihr ist lediglich zu entnehmen, dass die Flächenberechnungen ab einer horizontalen interpolierten Linie beginnen, wo der Kurvenverlauf der jeweiligen Komponenten und der Sauerstoffkurve asymptotisch werden (Knuttgen, 1970, S. 652). Die Basisliteratur von Roberts & Morton hingegen, weisen detailliertere Beschreibungen auf und versuchen die Gleichungserstellung anhand eines Beispiels zu erklären. Leider wird hier auch nicht eindeutig ersichtlich, welche Werte für die Berechnung herangezogen werden. Hingegen geht aber deutlich hervor, dass der erste exponentielle Anteil der Funktion der schnellen Komponente zugeordnet wird (1978, S. 282 f.).

Da dieses Vorgehen sehr uneinsichtig ist, würde auf eine ähnliche Methode von Beyer ausgewichen werden (1999, S. 10 f.). Diese wird in Anlehnung an Piiper & Spiller (1970) durchgeführt. Folgende Abbildung verdeutlicht das Vorgehen von Piiper & Spiller.

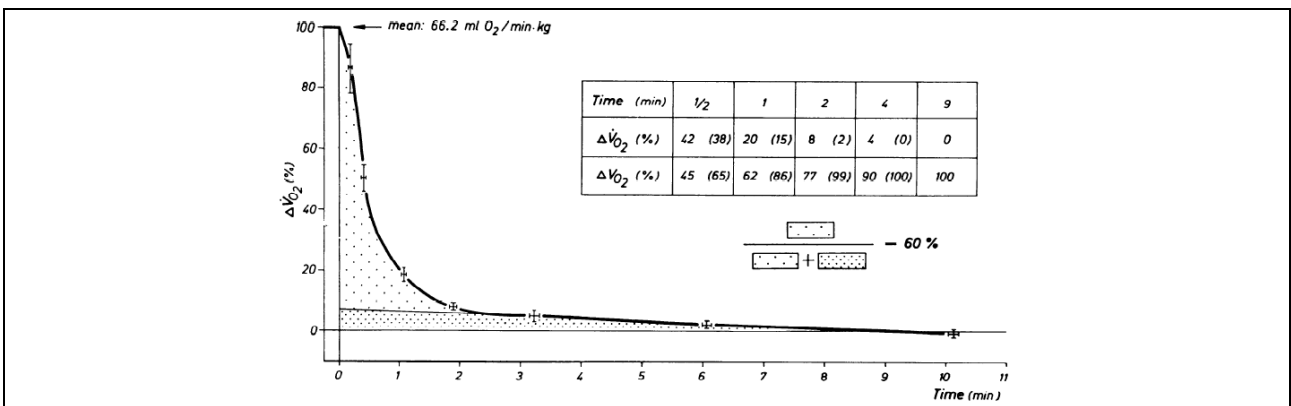


Abb. 9. Dargestellte Mittelwertkurve aus der Untersuchung Piiper & Spiller, 1970, S. 659 ; Whiskers geben die Standardabweichung an

Auf der Y-Achse ist die Nettosauerstoffaufnahme abgetragen, welche sich aus der Differenz der absoluten Sauerstoffaufnahme und der Ruhesauerstoffaufnahme ergibt. Somit sind die Ruhewerte außen vor gelassen und die Bestimmung bezieht sich ausschließlich auf die Arbeitsleistung. Die Werte sind gegen die Zeit aufgetragen. Es wird nun die Sauerstoffkurve betrachtet und optisch der Punkt bestimmt, an dem der stark fallende Anteil der Sauerstoffkurve abnimmt und beginnt asymptotisch zu verlaufen. Von diesem Punkt aus wird eine lineare Extrapolation in die Fläche der schnellen Komponente durchgeführt. Die eingeschlossene Fläche in Abbildung 9, gering gepunktet, ergibt den Anteil an Sauerstoff für den anaerob-alaktaziden Anteil der Belastung. Die darunter liegende Fläche, stark gepunktet, gibt den zusätzlichen Anteil der langsamen Komponente aus. Die obere Zeile der Tabelle gibt an, wie viel Prozent der Erholung relativ (netto) noch ausstehend ist, während die zweite Zeile die Absolutangabe (brutto) der erfolgreichen Regeneration angibt. Die Werte in den Klammern geben den Anteil der schnellen Komponente wieder (Piiper & Spiller, 1970, S. 658 f.).

Sofern es möglich ist, sollten den Graphen Funktionen zugeordnet werden, um anschließend über Integralberechnung die Fläche zu bestimmen. Ist dies nicht möglich, beschreibt Beyer das Vorgehen so, dass zum Zeitpunkt X die Differenz aus der Sauerstoffkurve und der extrapolierten Kurve gebildet werden soll. Die Summe aller Differenzen ergibt die Fläche bzw. das Volumen an Sauerstoff (1999, S. 11). Weiter wird darauf hingewiesen, dass nur die Zeit bis 2 Minuten betrachtet wird. Es wird davon ausgegangen, dass bis zu diesem Zeitpunkt das Kreatinphosphat nahezu vollständig resynthetisiert ist (Beyer, 1999, S. 11). Dies belegt Marées mit einer Halbwertszeit für die Resynthese von Kreatinphosphat von 30-60 Sekunden und gibt eine 95 %ige Auffüllung nach 4 Halbwertszeiten an. Geht man von 30 Sekunden aus, sind nach 2 Minuten die Speicher wieder nahezu vollkommen gefüllt (2003, S. 363). Piiper & Spiller bestimmten in ihrer Arbeit eine Halbwertszeit von 0,5 Minuten für die schnelle Komponente, welches der Kreatinphosphatresynthese entsprechen soll, und eine im Mittel 93%ige Resynthese der energiereichen Phosphate in 2 Minuten (1970, S. 659). Es ist zu vermuten, dass die Abflachung der Sauerstoffkurve und somit das Ende der schnellen Komponente bei ca. 2 Minuten angesiedelt ist. Nach Beyer wird aus den beschriebenen Punkten die Grenze für die schnelle Komponente bei 2 Minuten festgesetzt. Ausschlaggebend für die lineare Extrapolation in den schnellen Bereich ist aber nicht die Grenze der 2 Minuten, sondern der beginnende asymptotische Verlauf der Sauerstoffkurve. Demnach wird jedoch bei einem beginnenden asymptotischen Verlauf nach 2 Minuten die Fläche hinter der 2 Minuten-„Barriere“ nicht betrachtet. Gleiches gilt, wenn der flache Verlauf vor den 2 Minuten beginnt. Die Zeit bis zur 2 Minuten-Marke fällt dann weg (1999, S. 11). Abschließend wird dieser Fakt grafisch in Abbildung 10 dargestellt.

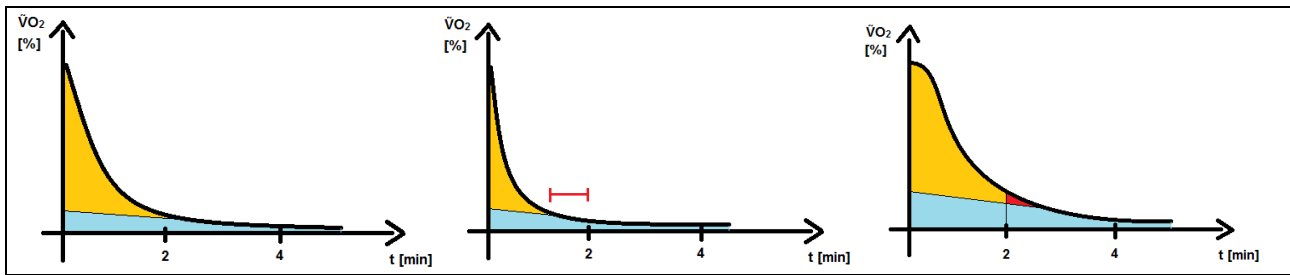


Abb. 10. Beispieldarstellung der Sauerstoffkurve nach Belastung ;  $\dot{V}O_2$  = Nettosauerstoffaufnahme in Prozent zur Zeit t in Minuten ; Bilder von links nach rechts nach der Theorie von Beyer (1999) in Anlehnung an Piiper & Spiller (1970), orange Fläche entspricht Volumen  $O_2$  der schnellen Komponente, repräsentativ für den anaerob-alkalischen Energieanteil, blau der zusätzliche Anteil der langsamen Komponente: Bild 1: beginnender abflachender Teil bei 2 Minuten ; Bild 2: beginnender abflachender Teil vor 2 Minuten, die Differenz (rote Strecke) wird nicht berücksichtigt ; Bild 3: beginnender abflachender Teil nach 2 Minuten, rote Fläche wird nicht berücksichtigt

Schlussendlich kann mit dem bestimmten Volumen der schnellen Komponente aus der Sauerstoffkurve in der Nachbelastungszeit der entsprechende Anteil der anaerob-alkalischen Energiebereitstellung berechnet werden, Formel 4.

$$W_{\text{anaerob-alkalisch}} [\text{J}] = \dot{V}O_2 \text{ alkalisch} [\text{l}] * \text{kal. Äquivalent} [\text{J/l } O_2]$$

Form. 4. Gleichung für den anaerob-alkalischen Arbeitsumsatz, Beyer, 1999, S. 13

Die Bestimmung des glykolytisch laktischen Anteils ergibt sich aus mehreren Komponenten. Zuerst muss die Nettolaktatbildung bestimmt werden. Diese ergibt sich jeweils aus der Differenz von dem Ruhewert bzw. dem Ausgangswert vor der Belastung und dem Maximalwert nach der Belastung. Daher erfolgen in den Pausenzeiten minütliche Abnahmen, da die Laktatkinetik einen zeitlichen Versatz aufweisen kann. Dieser Wert wird mit einem Sauerstoff-Laktat-Äquivalent multipliziert. Dieses besagt, wie viel Sauerstoff pro Kilogramm und pro mmol/l Laktat im aeroben Prozess verbraucht werden würde. Die Literatur gibt Bereiche von 2,6 – 3,3 ml pro mmol/l Laktatbildung pro Kilogramm Körpermasse an. In den Studien, wo dieses Vorgehen Anwendung fand, wurde in der Regel ein Mittelwert von 3,0 ml verwendet. (Beneke et al., 2004, S. 519 ; Beneke et al., 2002, S. 389 ; Prampero, 1981, S. 176). Abschließend werden die Werte mit der Körpermasse und mit dem kalorischen Äquivalent multipliziert. Zusammenfassend ergibt sich die abgebildete Formel 5.

$$W_{\text{anaerob-laktisch}} [\text{J}] = \text{BLK}_{\text{Net}} [\text{mmol/l}] * 3,0 [\text{ml/mmol/l} * \text{kg}] * m [\text{kg}] * \text{kal. Äquivalent} [\text{J/l } O_2]$$

Form. 5. Gleichung für den anaerob-laktischen Arbeitsumsatz, Beyer, 1999, S. 12

Der Gesamtarbeitsumsatz ergibt sich aus der Summe der drei Komponenten, Formel 6.

$$W_{\text{tot}} [\text{J}] = W_{\text{aerob}} [\text{J}] + W_{\text{anaerob-laktisch}} [\text{J}] + W_{\text{anaerob-alkalisch}} [\text{J}]$$

Form. 6. Gleichung für den Gesamtarbeitsumsatz (tot = Total), Beneke et al., 2004, S. 519

Mit der gewonnenen Gesamtarbeit können die prozentualen Anteile der einzelnen energetischen Komponenten bestimmt werden.

Ebenso können die ermittelten Umsätze gegen die Zeit aufgetragen werden, wodurch die erbrachte Leistung ersichtlich wird, Formel 7.

$$P_{\text{gesamt}} [W] = \frac{W_{\text{aerob}} [J] + W_{\text{anaerob-laktazid}} [J] + W_{\text{anaerob-alaktazid}} [J]}{\text{Belastungsdauer [s]}}$$

Form. 7. Gleichung für die Gesamtleistung der Arbeit, Beyer, 1999, S. 13

### 3.4.2 Statistische Auswertung

Bevor die statistische Auswertung begonnen wird, werden die Rohdaten auf Vollständigkeit, richtiger Zuordnung und Plausibilität überprüft. Anschließend erfolgt die deskriptive Statistik. Aus jedem Durchgang, 8 Sätze, wird das energetische Profil bestimmt. Aus diesen Werten werden je Gruppe Mittelwerte und ihre dazugehörige Standardabweichung gebildet. Jedem Durchgang wird ein Mittelwert der Probanden je Gruppe zugeschrieben. Weiter werden 3 Gesamtmittelwerte gebildet. Ein Mittelwert beschreibt das energetische Profil der Aktionen mit der 3 minütigen Pause, ein weiterer das Profil mit der 5 minütigen Pause und ein Mittelwert das Profil der gesamten Schnellkraftaktivitäten.

Bezüglich der dargestellten Forschungshypothesen können statistische Hypothesen aufgestellt werden. Als Beispiel ist für die zweite Forschungshypothese eine Möglichkeit der statistischen Hypothesen dargestellt.

Hypothese 2: Eine Pausenzeit von 5 Minuten gewährleistet eine gleichbleibende anaerob-alaktazide Energiebereitstellung unabhängig von der Satzanzahl.

H0: Während des Trainingsblocks mit der 5 minütigen Pause kommt es zu keinem signifikanten Unterschied des anaerob-alaktaziden Energieanteils zwischen den durchgeführten Sätzen.

H1: Während des Trainingsblocks mit der 5 minütigen Pause kommt es zu einem signifikanten Unterschied des anaerob-alaktaziden Energieanteils zwischen den durchgeführten Sätzen.

Da von einem Probanden mehrere Daten aufgenommen werden, wird die induktive Statistik mit einer Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Hinzu wird für die Alpha-Fehler-Kumulierung der Post-Hoc-Test Dunnett-T3 für kleine Stichprobengrößen herangezogen. Die Überprüfung der Mittelwerte findet innerhalb der Gruppen und zwischen ihnen statt. Dabei gelten die energetischen Profile bezüglich der Pausenlängen und des Gesamtprofils innerhalb der Gruppe als Innersubjektfaktor. Der Vergleich zur anderen Gruppe wird als Zwischensubjektfaktor deklariert. Bei beiden



Analysen ist die Kontrastwahl auf „Einfach“ zu setzen, da die Vergleiche keine zeitliche Abhängigkeit aufweisen. Des Weiteren muss vor der Einschätzung der Signifikanz die Sphärizität geprüft werden. Hierbei wird das Epsilon von Greenhouse-Geisser betrachtet. Ist dieses kleiner 0,75, wird zur Auswertung der Ausdruck von Greenhouse-Geisser herangezogen. Ist das Epsilon größer oder gleich 0,75, wird das Urteil aus den Werten von Huynh-Feldt geschlossen (Gelbrich, 2015, S. 3 ff.).

Da es sich um eine sehr geringe Probandenanzahl handelt, wird keine Normalverteilung angenommen und es werden zu der Varianzanalyse nichtparametrische Tests durchgeführt. Für die Vergleiche innerhalb der Gruppe wird der Wilcoxon Test für abhängige Stichproben gewählt. Die Vergleiche zwischen den Gruppen entsprechend der Pausenlängen erfolgen mit dem Mann-Whitney-U-Test.

Für alle Analysen wird das Signifikanzniveau auf 0,05 festgesetzt.

Die Auswertung erfolgt mit den Programmen Microsoft Excel und IBM SPSS.

### *3.5 Methodenkritik*

Eine kritische Anregung stellt die Nutzung bzw. Nichtnutzung des Zahnschutzes dar. Neben dem grundsätzlichen Eigenschutz sollte er in Bezug zur Wettkampfspezifik in jedem Training getragen werden. Die Sportler müssen sich an ihn gewöhnen und auch das Atmen in der Belastung mit einem Störkörper im Mund lernen. Demnach wäre es in Bezug zur Spezifik sinnvoll gewesen, den Mundschutz zu implementieren. Da jedoch vermutet wird, dass er in der kurzen Spitzenbelastung keinen adäquaten Einfluss besitzt, weil die energiereiche Arbeit voraussichtlich zum Großteil anaerob erfüllt wird, wurde hier zugunsten der Probanden entschieden, um ihnen das Atmen durch die Spirometriemaske nicht noch zusätzlich zu erschweren.

Weiter könnte kritisch angefragt werden, dass die Pratzenhaltung mit in die Erholungszeit einbezogen wird. Dies wird in zweierlei Hinsicht begründet. Zum Ersten wird der energetische Effekt der Arbeit als gering vermutet, wodurch die Erholung überwiegt. Zum Zweiten entspricht dies dem typischen Trainingsschema aus der Praxis.

Des Weiteren könnte vermutet werden, dass die Wiederholungsanzahl bzw. die Belastungszeit für die Aufnahme des Profils zu kurz gerät. Es wird eine Belastungszeit auf ca. 30 Sekunden geschätzt. Dies entspricht der Dauer des Wingate-Tests, den Beneke et al. in seiner Untersuchung herangezogen hat (2002). Diesbezüglich sind keine Probleme zu erwarten.

Technische Probleme können bei der Spirometrie auftreten. Die Spirometrie muss ca. 1 Stunde kontinuierlich durchlaufen. Hierbei ist es möglich, dass eine Drift der Konzentration der Atemgase geschieht. Sperlich verweist darauf, dass mit zunehmender Dauer der Untersuchung sich mögliche Fehlerquellen potenzieren. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass bisher keine Untersuchungen vorliegen, die konstante Messbedingungen im zeitlichen Verlauf überprüfen (2007, S. 43).

Bezüglich der Laktatabnahmen kann die quantitative Menge von 45 Proben je Proband als kritisch betrachtet werden. Dies bedeutet großer methodischer und auch

finanzieller Aufwand. Des Weiteren begrenzt u.a. diese hohe Anzahl die Probandenanzahl. Nichtsdestotrotz scheint diese Untersuchung mit einer Gesamtanzahl von 352 Laktatproben als realistisch, da auch andere veröffentlichte Untersuchungen diese Anzahl überschreiten. Als Beispiel ist die benannte Studie von Beneke et al. 2004 zu nennen. Hier wurden ca. 432 Blutproben herangezogen. Des Weiteren kann man die Anzahl etwas relativieren. Die Proben verdeutlichen den Verlauf einer vollständigen Trainingseinheit. Hinzu ist der Erkenntnisgewinn der Gesamtuntersuchung möglicherweise von größerer Bedeutung, weil die Forschungslage ein ähnliches Beispiel bisher nicht zu Tage gebracht hat.

Mit der oben beschriebenen Problematik ist eine zu geringe Probandenanzahl anzumerken. Für eine statistische Analyse ohne Rangverfahren sollten mindestens 20 Teilnehmer an der Studie beteiligt sein (Mende, 2015). Speziell wenn ein Unterschied innerhalb der Stichprobe beurteilt werden möchte, sollte die Stichprobe noch größer sein.

Einhergehend ist nur die Untersuchung eines Geschlechtes zu kritisieren. Hierzu müssten mehr Probanden oder eine weitere Untersuchung durchgeführt werden. Frauen besitzen einen geringeren Gesamtumsatz als Männer. Dies ist begründet u.a. an einem relativen Mehr an Fettgewebe und einem relativen Weniger an Muskelmasse (Marées, 2003, S. 387 f.). Ob sich diese Tatsache in Bezug auf das Körpergewicht auch für die Arbeitsleistung widerspiegelt, würde im Vergleich geprüft werden können.

## **4 Diskussion**

Die Diskussion soll sich hauptsächlich auf den Punkt der anaerob-alkalotischen Energieberechnung beziehen. Da die Bestimmung nicht aus einem eigenständigen Parameter resultiert, sondern aus einer Rückrechnung der Sauerstoffkurve, wird im folgenden Abschnitt die Validität überprüft.

Mahler überprüfte den Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffverbrauch und den physiologischen Parametern in der Zelle, während einer kurzzeitigen Belastung und der anschließenden Erholungsphase. Hierzu stimulierte er *in vitro* den M. sartorius von Fröschen mit einem tetanisierenden Reiz unterschiedlicher Länge. Mit chemischen Methoden wurden die Proben aufbereitet und mit einem eigen entwickelten Modell ausgewertet (1985, S. 135 ff.). Die Ergebnisse zeigten eindeutig, dass mit steigendem Sauerstoffverbrauch der Kreatinphosphat-Spiegel sinkt und mit fallendem Sauerstoffverbrauch der Kreatinphosphat-Spiegel wieder steigt. Auch statistisch konnten keine Abweichungen festgestellt werden. Zusammenfassend wird den Parametern ein monoexponentieller Zusammenhang zugeschrieben (Mahler, 1985, S. 135, 143).

Prampero, Peeters und Margaria betrachteten die Sauerstoffmehraufnahme nach Ausbelastung bei Männern. Hierzu wurden Laufbanduntersuchungen mit kurzen Intensitäten durchgeführt. Nach Aufarbeitung der Daten konnten sie für die alkalotische „Sauerstoffschuld“ einen monoexponentiellen Verlauf aufweisen, welcher sich mit

dem Verlauf der Sauerstoffkurve glich (1973, S. 630). Somit wurde ein Übertrag auf den menschlichen Organismus realisiert.

McCully, Vandenborne, DeMeirleir, Posner & Leigh absolvierten eine Magnetresonanztomografie-Untersuchung (MRT), wobei eine Plantarflexion während der Messung durchgeführt wurde. Neben dem nichtinvasiven Eingriff bietet das MRT weiter den Vorteil, in den Abständen seiner Messraten die angesprochenen Parameter „online“ zu messen. Zur Auswertung dient ein Chromatogramm, worüber man die jeweiligen Stoffe identifizieren und über Integralrechnung die Menge quantifizieren kann, Abbildung 11. Des Weiteren wird keine maximale Belastung benötigt. Die Daten werden gegen festgelegte Referenzen, die ebenfalls im MRT gemessen werden, ausgewertet (1992, S. 1353 ff.).

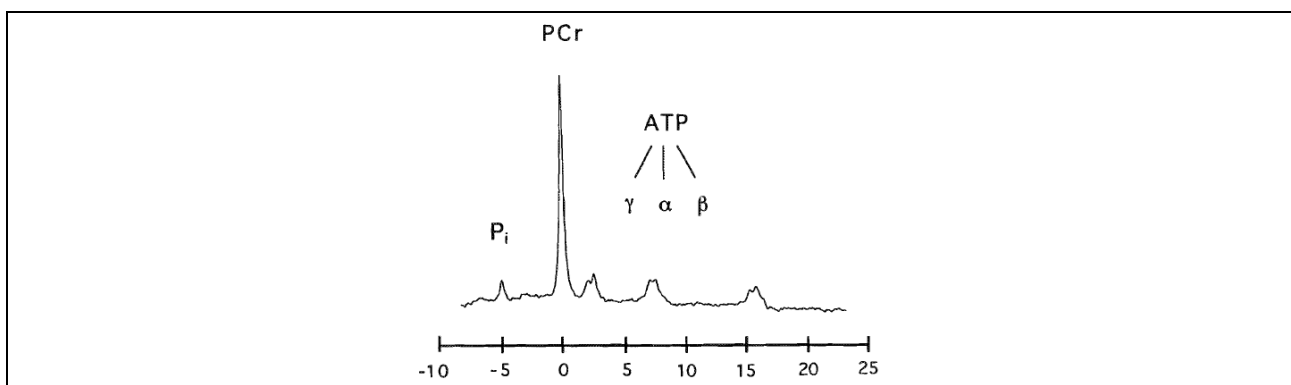


Abb. 11. Auswertungs-Chromatogramm der MRT, Darstellung der jeweiligen Moleküle zu ihren korrespondierenden Frequenzen, McCully et al., 1992, S. 1355

Zu der Untersuchungsgruppe zählten Sprinter, Mittel- und Langdistanzläufer und eine Kontrollgruppe. Die Plantarflexion wurde alle 4 Sekunden 5 Minuten lang mit einem leicht steigenden Widerstand zum Ende hin durchgeführt. Die anschließende Pausenzeit betrug 7 Minuten. Mit Belastungsbeginn war ein Abfall des Kreatinphosphates zu quantifizieren mit gleichzeitiger Steigerung des freien Phosphates. Bei dem Belastungsanstieg verdeutlichte sich dieses Bild weiter. In der Erholungsphase wurden die Flächen des Kreatinphosphat-Peaks bestimmt und es konnte ebenfalls eine monoexponentielle Funktion hergestellt werden (McCully et al., 1992, S. 1353 ff.).

Die Ergebnisse belegen das spiegelbildliche Verhalten, wie es Mahler beschrieben hatte, und verweisen auf einen identischen Funktionsverlauf mit einer anderen Messmethodik. Dies würde bei einer Gegenüberstellung für eine gegebene Konstruktvalidität sprechen.

Weiterhin werden Zeitkonstanten, Halbwertzeiten, von Kreatinphosphat für die jeweiligen Gruppen ausgewiesen. Sie nehmen von den langen zu den kurzen Strecken ab (nur Mittelwerte in Sekunden: 36,8; 26,5; 17,5; KG: 31,4). Dies entspricht einer schnelleren Auffüllung der Speicher für Ausdauersportler. Die Ergebnisse in Bezug zu den Langstreckenläufern waren zu allen Gruppen signifikant. Die geringere Zeitkonstante wird über den besseren aeroben Stoffwechsel erklärt. In der Diskussion verweisen die Autoren auf ähnliche Zeitkonstanten anderer Untersuchungen, welche

sich mit der schnellen und langsamen Komponente des Sauerstoffverlaufes nach der Belastung auseinander setzten (McCully, 1992, S. 1356).

Anzumerken ist ein Verweis auf den pH-Wert. Dieser änderte sich während der Untersuchung in keiner Gruppe signifikant. Die Autoren geben jedoch selber an, dass die Konstante der Kreatinphosphatbildungsrate abhängig vom pH-Wert ist (McCully, 1992, S. 1355 f.). Eine pH-Wert Änderung tritt hingegen bei spezifischen Belastungen auf, speziell bei kürzeren intensiven Belastungen. Prampero widerspricht hingegen dieser Aussage. Aus seiner Arbeit geht hervor, dass die schnelle Komponente unabhängig von einer Laktatakkumulation sei (1981, S. 191). Demnach würde eine Untersuchung mit höherer Intensität einen Aufschluss bringen.

Es ist zusammenfassend festzuhalten, dass ein exponentieller Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffverbrauch und dem Kreatinphosphatspeicher vorliegt. Entsprechend der Zeitkonstanten ist eine nahezu vollständige Resynthese binnen 2 Minuten zu vermuten. Schlussfolgernd kann das Bi-exponentielle Modell mit dem definierten ersten monoexponentiellen Term für die schnelle Komponente und die Bestimmung in Anlehnung an Piiper und Spiller zur Bestimmung der schnellen Komponente als inhaltlich valide angesehen werden. Eine genaue Überprüfung wie über eine ange deutete Konstruktvalidität kann die Aussagen weiter untermauern.

Schließend soll ein Kommentar aus der Trainingspraxis getätigt werden. Ein strukturiertes Training bezüglich der Pausenzeiten, wie es in dem Untersuchungsaufbau dargestellt ist, kommt im Trainingsalltag äußerst selten vor. Gemäß dem Motto „Viel hilft viel“ sind die Technikumfänge wesentlich größer und entsprechend die Pausenzeiten wesentlich kürzer. Die Intensität bezüglich den Technikausführungen ist immer hoch! Eine langsame Bewegung wird nur im Technikerwerb durchgeführt. Oftmals finden im Pratzentraining auch Interaktionen statt, so dass es zu keiner ruhenden Pause kommt, sondern eher zu einer aktiven Pause. Wenn ohne Prätzen trainiert wird, kommt es auch oft zu abwechselnden Interaktionen. Zusammenfassend kann ein „normales“ Training bei Fortgeschrittenen als intensives Intervalltraining mit vereinzelt längeren Pausen betrachtet werden. Die energetische Absicherung muss entsprechend der Theorie zum Großteil aerob erfolgen. Um möglicherweise ein energetisches Pendant zu diesem Training zu haben, wäre eine energetische Sichtweise des Untersuchungsdesigns aufschlussreich. Hinzu könnte eine subjektive Auswertung der Sportler über diese Trainingsform mittels Fragebogen erfolgen.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einem Entwurf zur Bestimmung eines energetischen Anforderungsprofils von einer Schnellkraft-Trainingseinheit in der Sportart Karate-Kumite. Dabei verfolgt die Untersuchungs idee zwei Ansätze. Die Trainingszeit überwiegt bezüglich der Wettkampfzeit. Weiter wird nicht jedes Training wettkampfspezifisch durchgeführt. Somit kommt es zu verschiedenen Trainingsinhalten und zur Anwendung unterschiedlicher Methoden. Entsprechend der Wett-

kampfsimulation liegen viele energetische Profile vor, hingegen nicht zum Trainingsverlauf. Ein Vergleich mit Bezug zur Wettkampfspezifik wäre möglicherweise gewinnbringend. Der zweite Aspekt bezieht sich auf die Methodik der Trainingswissenschaft. Bei intensiven Belastungen ist die Wiederholungsmethode das gängige Trainingsmittel. Sie hat das Ziel, eine vollständige Erholung zu ermöglichen. Energetisch gesehen, geht es vor allem um die vollständige Resynthese von Kreatinphosphat. Entsprechend der theoretischen Vorstellung soll mit Hilfe des energetischen Profils das tradierte Vorgehen überprüft werden. Hierbei wird in einem 2 Gruppen Crossover-Design mit unterschiedlichen Pausenlängen gearbeitet. Es soll überprüft werden, ob sich ein kumulativer Ermüdungseffekt innerhalb der Trainingseinheit ausbildet und dieser zum Ende vermehrt aerob abgedeckt wird.

Neben einen einführenden Theorieteil über Fakten zur Energiebereitstellung, Trainingswissenschaft und Disziplin wurde ein größeres Augenmerk auf den Methodikteil gelegt. Dieser hat die Intention, die Durchführung des gesamten Forschungsprozesses detailgetreu wiederzugeben. Entlang der Vorstellung vom praktischen Vorgehen wurde explizit auf die Auswertung bei der Ermittlung des energetischen Profils eingegangen. Mögliche Problemfälle und kritische Sichtweisen wurden abschließend dargestellt.

Mit der Untersuchung würde der Forschungsstand im Karate-Kumite erweitert werden. Vielversprechender wäre hingegen die Erweiterung des physiologischen Verständnisses von sportlicher Beanspruchung.

## Literaturverzeichnis

- Beneke, R., Beyer, T., Jachner, C., Erasmus, J. & Hütler, M. (2004). Energetics of karate kumite. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 518-523.
- Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leitha user RM, Hu tler M (2002). How anaerobic is the Wingate anaerobic test for humans? *Eur J Appl Physiol* 87, 388–392.
- Beyer, T. (1999). *Energieverbrauch beim Karate - Metabolische Untersuchung am Beispiel einer Kumite-Simulation*. Berlin: Freie Universität Berlin
- Bischof, C. (2015). *Diagnostische Bestimmung des Energieverbrauchs*. In Sportmedizin im Leistungssport (Seminar). Vortrag. Universität Leipzig.
- Bührlé, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre Spezifischen Trainingsmethoden. In M. Bührlé (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 82-111). Schorn-dorf: Karl Hofmann.
- Chaabène, H., Hachana, Y., Franchini, E., Mkaouer, B. & Chamari, K. (2012). Physical and Physiological Profile of Elite Karate Athletes. *Sports Medicine*, 42 (10), 829-843.
- Doria, C., Veicsteinas, A., Limonta, E., Maggioni, M., Aschieri, P., Eusebi, F., Fanò, G. & Pietrangelo, T. (2009). Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 107, 603-610.
- Eichert, R. (2014). *Methodik Kumite. Teil2 – Steppen/Kizami-Zuki*. In Deutscher Karate Verband e.V. (Hrsg.). Zugriff am 27. September 2015 unter <http://www.karate.de/downloads/finish/56-trainingstipps/278-methodik-kumite-teil-2-steppen-kizami-tsuki>
- EKF-diagnostics (Hrsg.). (2009, März). *Laktat. Bedeutung, Anwendung und Messung*. Zugriff am 27. September 2015 unter [http://www.senslab.de/download/pdf/Laktat\\_compendium\\_DACH.pdf](http://www.senslab.de/download/pdf/Laktat_compendium_DACH.pdf)
- EKF-diagnostics (Hrsg.). (2014). *Biosen S-Line*. Zugriff am 27. September 2015 unter [http://www.ekfdiagnostics.de/Biosen\\_SLine\\_827.aspx](http://www.ekfdiagnostics.de/Biosen_SLine_827.aspx)
- Fritzsche, J. (2011). *Training for Experts*. Leitfaden für die Karate Trainerausbildung. Usingen: Experts-Training.
- Fritzsche, J. (o. A.). *Schnelligkeitstraining für Kampfsportler*. Usingen: Experts-Training.
- Fritzsche, J. (2012). *Rahmentrainingsplan 2012 für den DKV Senioren-Kader Kumite*. In Deutscher Karate Verband e.V. (Hrsg.). Zugriff am 20. August 2014 unter <http://www.karate.de/downloads/finish/55-kader-trainingspaene/157-rahmentrainingsplan-kumite-senioren-2012>
- Gelbrich, G. (2015). Varianzanalyse mit Messwiederholung. In Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie (Hrsg.), *MSc Sportwissenschaft, Vorlesung Biostatistik 2015* (1-31). Leipzig
- Grupp, J. (2012). *Shotokan Karate. Technik, Training, Prüfung* (7. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Grupp, J. (2009). *Shotokan Karate – Kumite* (2. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Grupp, J. (2007). *Shotokan Karate Kata 1* (3. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Harre, D. (2011). Methodik des Schnellkrafttrainings. In G. Schnabel, H.-D. Harre & J. Krug (Hrsg.), *Trainingslehre – Trainingswissenschaft* (S. 329-332) (2. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Harre, D. (2011). Kondition. Begriff – allgemeine Charakteristik. In G. Schnabel, H.-D. Harre & J. Krug (Hrsg.), *Trainingslehre – Trainingswissenschaft* (S. 155-158) (2. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Hartmann, U. (2015). *Komplexe Diagnostik planen, durchführen und auswerten*. Seminar. Universität Leipzig.
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Schonrdorf: Karl Hofmann.
- Hollmann W. & Strüder K. S. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin* (5. Auflage). Stuttgart: Schattauer.
- Knuttgen H.G. (1970). Oxygen debt after submaximal exercise. *J Appl Physiol* 29 (5), 651–657.
- Koropanovski, N., Berjan, B., Bozic, P. R., Pazin, N., Sanader, A., Jovanovic, S. & Jaric, S. (2011). Anthropometric and Physical Performance Profiles of Elite Karate Kumite and Kata Competitors. *Journal of Human Kinetics*, 30, 107-114.

- Lehmann G. (2000). *Ausdauertraining in Kampfsportarten*. In Deutscher Sport Bund (Hrsg.), *Train-erbibliothek*. Band 35. Münster: Philippka-Sportverlag.
- Lind, W. (1997). *Okinawa-Karate. Geschichte und Tradition der Stile*. Berlin: Sportverlag Berlin.
- Mahler, M. (1985). First-order kinetics of muscle oxygen consumption, and an equivalent proportionality between  $\dot{V}O_2$  and phosphorylcreatine level. *The Journal of General Physiology*, 86, 135-165.
- Marées, H. de (2003). *Sportphysiologie* (9. Auflage). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Mende M. (2015). *Statistik*. Seminar. Universität Leipzig.
- McCully K., Vandenborne K., DeMeirleir K., Posner J. & Leigh J. S. (1992). Muscle metabolism in track athletes, using  $^31\text{P}$  magnetic resonance spectroscopy. *Can. J. Physiol. Pharmacol*, 78, 1353- 1359.
- Müller, M.J., Bosy-Westphal, A., Dilba, B., Bader, N. & Korth, O. (2006). Energieverbrauch und Energiebedarf gesunder Menschen. *Aktuel Ernaehr Med*, 31, 98-109.
- Piiper, J. & Spiller, P (1970). Repayment of  $\text{O}_2$  debt and resynthesis of high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. *J. Appl. Physiol*. 28 (5), 657-662.
- Prampero, P.E. Di. (1981). Energetics of muscular exercise. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol*, 89, 143–222.
- Prampero, P. E. Di, Peeters L. & Margaria, R. (1973). Alactic  $\text{O}_2$  debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *J. Appl. Physiol*, 34(5), 628-632.
- Ravier, G., Dugué, B., Grappe F. & Rouillon, J.-D. (2006). Maximal Accumulated Oxygen Deficit and Blood Responses of Ammonia, Lactate and pH after Anaerobic Test: a Comparison between International and National Elite Karate Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 810-817.
- Roberts A.D. & Morton A.R. (1978). Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *Eur J Appl Physiol*, 38, 281-289.
- Sperlich, B. (2007). *Das spirografische Arbeits- $\text{O}_2$ -Defizit*. Köln: Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Motorik und Bewegungstechnik.
- Spitz, E. (1985). Das Krafttraining des Gewichthebers. In M. Bührle (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 82-111). Schorndorf: Karl Hofmann.
- Stegemann, J. (1991) *Leistungsphysiologie. Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports* (4. Auflage). Stuttgart: Thieme Verlag.
- Voß, G. (2015). *Diagnostische Bestimmung der Schnelligkeit*. In Sportmotorische Tests und Feedback-Strategien entwickeln und selbstständig durchführen (Seminar). Vortrag. Universität Leipzig.
- Wahl, P., Bloch, W. & Mester, J. (2009). Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. *Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 57 (3), S. 100-107.
- World Karate Federation (Hrsg). (2015,01. Januar). *Kata und Kumite Competition Rules. Revision 9.0*. Zugriff am 18. September 2015 unter <http://www.wkf.net/pdf/wkf-competition-rules-version9-2015-en.pdf>

## Anhang



# Anhang A – Turnierliste, Brasilianisches K.O.-System

<b>Deutscher Karate Verband e.V.</b>	<b>Kumite</b>	Pool
Veranstaltung	Ort	Datum
Disziplin	<b>A+B</b>	

KF	Uhrzeit

1	r	b	Freilos	Freilos	Verein	Vorname	Name	1
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Poolsteiger Pool A
Poolsteiger Pool B

---

**Pool A**
**Pool B**

1	2	3

**Trostrunde Pool A**

3. Platz

---

1	2	3

**Trostrunde Pool B**

3. Platz

## **Selbstständigkeitserklärung**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt (als Zitate) oder indirekt (dem Sinn nach) übernommenen Textstellen und Gedanken sind in der Arbeit als solche kenntlich gemacht worden.

---

Martin Neumann