



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Unterschiede der Energiebereitstellung in der Sportart
Kitesurfen bei Overpowered- und Underpowered-
Bedingungen auf einem Binnensee“

verfasst von / submitted by

Matthias Schweighardt, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2023 / Vienna 2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 199 500 525 02

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Lehrverbund
UF Bewegung und Sport
UF Psychologie und Philosophie Lehrverbund

Betreut von / Supervisor:

Dr. Christoph Triska, BSc MSc

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit untersucht den Energieumsatz der Sportart Kitesurfen bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen auf einem Binnensee. Diese Studie stützt sich auf Daten von neun Proband*innen zwischen 25 und 36 Jahren mit mittlerer bis langjähriger Kitesurferfahrung an 3 Erhebungszeitpunkten. Alle Teilnehmer*innen unterzogen sich einem stufenförmigen Laufbandtest, bei dem Atemgase und die Herzfrequenz gemessen wurden. Aus den Herzfrequenzdaten, die im Zuge zweier Feldtests in Podersdorf am Neusiedlersee (Österreich) unter Starkwind- und Schwachwindbedingungen von durchschnittlich 14,2 Knoten bis 20,7 Knoten gemessen wurden, wurde auf den Energieverbrauch der Sportart Kitesurfen bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen geschlossen, indem die Labor- und Feldwerte zueinander in Verhältnis gesetzt wurden. Der Feldtest bestand aus einer elfminütigen Frequenz der Sportausübung bei der alle Proband*innen eine vorgefertigten Manöverabfolge absolvieren mussten. Die Charakteristik des angegebenen Manöverabfolgen kann der Kategorie Freeride-Kitesurfen zugeordnet werden.

Im Zuge der Datenauswertung konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Energieverbrauch von Overpowered- und Underpowered-Kitesurfen festgestellt werden ($t = -0,480$; $p = 0,644$, $d = 0,160$). Die Forschung gibt zudem Aufschluss über relevante Limitationen bei der Bestimmung des Energieumsatzes in der Sportart Kitesurfen und kann somit als Grundlage für weitere Forschungsprojekte in diesem Bereich dienen.

Abstract

This master's thesis investigates the energy expenditure of kitesurfing in overpowered and underpowered conditions on an inland lake. This study is based on data obtained from nine subjects aged between 25 and 36 years with medium to long-term kitesurfing experience at three data collection points. All participants first underwent an incremental treadmill test, during which respiratory gases and heart rate were measured. The heart rate data of two field tests in Podersdorf, Lake Neusiedl (Austria) under strong wind and low wind conditions from an average of 14.2 knots to 20.7 knots, was used to calculate the energy consumption of the sport of kitesurfing in overpowered and underpowered conditions by the ratio of the laboratory and field test results. The field test was an eleven-minute Kitesurf-trial in which all subjects had to complete predefined manoeuvres. The characteristics of the trial can be assigned to the category of freeride kitesurfing.

No significant difference was found regarding the energy consumption between overpowered and underpowered kitesurfing ($t = -0.480$; $p = 0.644$, $d = 0.160$). The research also provides information about relevant limitations in the determination of energy expenditure in the sport of kitesurfing and can serve as a basis for further research projects in this field.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	3
2	GRUNDLAGEN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG	5
2.1	ENERGIEBEDARF	5
2.2	ATP – DER UNIVERSELLE ENERGIELIEFERANT	5
2.3	FORMEN DER ENERGIEPRODUKTION	5
2.3.1	<i>Kreatinphosphat</i>	6
2.3.2	<i>Energiefreisetzung durch biologische Oxidation</i>	6
3	ENERGIEUMSATZ BEI KÖRPERLICHER BELASTUNG	9
3.1	METHODEN ZU MESSUNG DES ENERGIEUMSATZES	9
3.1.1	<i>Direkte Kalorimetrie</i>	9
3.1.2	<i>Indirekte Kalometrie</i>	11
3.1.3	<i>Offensystemische vs geschlossensystemische Spirometer</i>	11
3.1.4	<i>Messgrößen der Spirometrie</i>	12
3.1.5	<i>Spirometrische Schwellen</i>	14
3.1.6	<i>Bestimmung des Energieumsatzes (Energy Expenditure)</i>	17
4	EINFÜHRUNG IN DIE SPORTART KITESURFEN	20
4.1	GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER SPORTART	22
4.2	PHYSIKALISCHE FAKTOREN BEIM KITESURFEN	23
4.2.1	<i>Kraftentwicklung des Kites</i>	23
4.2.2	<i>Kräfte beim Kitesurfen</i>	26
4.3	KITESURF-MANÖVER	26
4.3.1	<i>Höhe halten und Höhe laufen</i>	27
4.3.2	<i>Wende versus Halse</i>	27
4.3.3	<i>Springen</i>	28
4.4	OVER- UND UNDERPOWERED	28
5	FORSCHUNGSINTERESSE	30
6	FRAGESTELLUNG + HYPOTHESEN	31
7	FORSCHUNGSSTAND	32
8	METHODIK	34
8.1	STUDIENDESIGN	34
8.2	FELDTTEST	35
8.3	DEFINITION UND EINHEITEN DER MESSGRÖßEN	37
8.3.1	<i>Windgeschwindigkeit (kn)</i>	37

8.3.2	<i>Subjektives Over- Underpowered-Gefühl (1-10)</i>	37
8.3.3	<i>Grad der empfundenen Anstrengung (RPE)</i>	38
8.3.4	<i>Kitegröße (m2)</i>	38
8.4	RAHMENBEDINGUNGEN DER DURCHFÜHRUNG	38
8.4.1	<i>Material</i>	38
8.4.2	<i>Topographische Begebenheiten und Windgeschwindigkeit</i>	39
8.5	DATENERHEBUNG	40
8.6	LABORTEST	41
8.7	STICHPROBE	42
9	AUSWERTUNG	44
9.1	DATENAUFBEREITUNG	44
9.1.1	<i>Berechnung des Energieumsatzes</i>	44
9.1.2	<i>Bestimmung der EE der Overpowered und Underpowered Kitesurf-Durchgänge</i>	44
9.2	STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	45
10	DESKRIPTIVE STATISTIK	47
11	ERGEBNISSE	49
11.1	VERGLEICH VOM ENERGIEUMSATZ BEI OVERPOWERED- UND UNDERPOWERED-BEDINGUNGEN.....	49
11.1.1	<i>Test auf Normalverteilung</i>	49
11.1.2	<i>T-Test verbundener Stichproben</i>	49
11.2	ZUSAMMENHANG VON RPE UND SUBJEKTIVEM UNDERPOWERED- BEZIEHUNGSWEISE OVERPOWERED-GEFÜHL.....	50
11.3	VERGLEICH DER TATSÄCHLICHEN WINDSTÄRKEN BEI SUBJEKTIVEM OVERPOWERED- UND UNDERPOWERED-GEFÜHL.....	51
11.4	VERGLEICH DES EE VON OVERPOWERED- UND UNDERPOWERED-KITESURFEN MIT DEM EE VON LAUFGESCHWINDIGKEITEN	52
12	DISKUSSION	54
13	LIMITATIONEN	57
14	FAZIT	60
15	LITERATURVERZEICHNIS	61
16	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	67
17	TABELLENVERZEICHNIS	68
18	ANHANG	69

1 Einleitung

Anfang des 20. Jahrhunderts erreicht ein britischer Lehrer mit seiner von zwei Drachen gezogenen Kutsche eine Geschwindigkeit von über 30 km/h (White, 1998). In den 1980er Jahren landen die ersten Tubekites, wie sie heute verwendet werden, auf dem Wasser und ziehen ein französisches Brüderpaar auf Wasserski hinter sich her (Stephenson, 2013). Mit dem Anfang des 21. Jahrhunderts wird Kitesurfen als Wassersportart kommerziell – die Verkäufe steigen sprunghaft auf hunderttausende Schirme pro Jahr an. Heute üben etwa 1,5 Millionen Menschen diesen Sport regelmäßig aus, im Jahr 2024 wird Kitesurfen erstmals Teil der Olympischen Spiele werden (Syré et al., 2020). Aus einem Randsport hat sich eine ernstzunehmende Wassersportart entwickelt – spätestens jetzt ist es an der Zeit, strukturierte Trainingsmodelle zu entwickeln, deren Grundlage kitesurfspezifische physiologische Grundlagenforschung sein muss. Zu dieser Grundlagenforschung beizutragen, ist Ziel der vorliegenden Masterarbeit.

Bisher wurden zwei Studien zur physiologischen Beanspruchung beim Kitesurfen durchgeführt (Vercruyssen et al., 2008; Camps et al., 2011), seither hat sich sowohl Material als auch Technik wesentlich verändert. Während in verwandten Sportarten bereits umfangreiche Fachliteratur publiziert worden ist, besteht beim Kitesurfen nach wie vor eine Forschungslücke. Es ist daher von großem Interesse, die physiologischen Anforderungen beim Kitesurfen mit aktuellem Equipment zu untersuchen. Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich dementsprechend mit dem Energieumsatz beim Kitesurfen auf Binnenseen. Die konkrete Forschungsfrage lautet: „Gibt es einen signifikanten Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen beim Kitesurfen auf einem Binnensee?“. Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde eine Studie mit 9 Probandinnen an einem österreichischen Binnensee durchgeführt, wobei bei jede:r Proband*in Overpowered- und Underpowered-Bedingungen vorherrschten.

Diese Masterarbeit ist in einen theoretischen und in einen empirischen Teil gegliedert. Der erste Teil beschäftigt sich mit den Grundlagen der Energiebereitstellung und untersucht die Methoden zur Messung des menschlichen Energieumsatzes. Anschließend folgt eine Einführung in die Sportart Kitesurfen, wobei besonders jene Aspekte beleuchtet werden, die für die Studie relevant sein werden.

Im empirischen Teil wird zunächst das Forschungsinteresse begründet und die Forschungsfrage erläutert. Der aktuelle Forschungsstand wird eingehend beleuchtet und auf die bestehenden Forschungslücken hingewiesen. Im Anschluss wird das Studiendesign und

die Rahmenbedingungen für den Feldtest vorgestellt. Das Kapitel „Auswertung“ beschäftigt sich mit den erhobenen Daten und der Berechnung des Energieumsatzes der teilnehmenden Proband*innen. Dies ermöglicht, im Anschluss eine statistische Analyse zu generieren und die Ergebnisse im aktuellen Forschungsumfeld einzuordnen. Das Kapitel „Limitationen“ zeigt auf, welchen Faktoren bei zukünftigen Forschungen in der Sportart Kitesurfen besondere Beachtung geschenkt werden und wie die technische Ausstattung für folgende Studien gewählt werden sollte.

2 Grundlagen der Energiebereitstellung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Grundlagen der Energiebereitstellung bei körperlicher Aktivität und soll somit als Basis für die durchgeführte Forschung dienen. Neben den physiologischen Prozessen der Energiebereitstellung in der Skelettmuskulatur werden Methoden zur Bestimmung des Energieumsatzes vorgestellt.

2.1 Energiebedarf

Der Energieumsatz (Energiebedarf pro Zeiteinheit; Einheit in Joule pro Sekunde) steigt bei körperlicher Belastung aufgrund der Muskelkontraktion an und kann je nach Belastungsintensität ein Vielfaches des Ruhebedarfs betragen. Die maximale Zunahme des Energiebedarfs pro Zeiteinheit bei einem / einer Athlet*in in maximaler Laufgeschwindigkeit beträgt den 100-fachen Wert des Grundumsatzes (de Marées, 2017).

2.2 ATP – der universelle Energielieferant

Damit ein Muskel kontrahieren kann, muss ausreichend ATP in den kontrahierenden Elementen vorhanden sein, weil ATP das einzige Substrat ist, das Muskelkontraktionen direkt herbeiführen kann (Wonisch et al., 2017). ATP ist die Bezeichnung für Adenosintriphosphat. Es besteht aus der Verknüpfung zwischen Adenosin und 3 Phosphatgruppen. Adenosin besteht aus der Base Adenin und dem Zucker Ribose (de Marées, 2017). Das ATP ist die sofort verfügbare Energiequelle für nahezu alle Körperfunktionen inklusive Muskelkontraktionen (Kenney et al., 2022). Der ATP-Vorrat im Muskel ist mit etwa 5 mmol ATP/kg Muskelfeuchtmasse gering. Mit der vorhandenen Menge kann ein Muskel maximal 3 bis 4 Kontraktionen durchführen, was bei schwerer körperlicher Belastung eine Arbeitsdauer von 1 bis 2 s entspricht (de Marées, 2017). Während der Energiefluss aus dem ATP unter Belastung der Skelettmuskulatur um ein Vielfaches gesteigert wird (bis zu 200%), ist der Abfall des intramuskulären ATP-Spiegels im Vergleich gering (Mayer, nach Wonisch et al., 2017). Um den annähernd konstanten ATP-Spiegel aufrecht zu halten, ist der Skelettmuskel in ein sehr sensibles und komplexes metabolisches Regelsystem eingebunden, wodurch das ATP fortlaufend resynthetisiert wird. (Wonisch et al., 2017).

2.3 Formen der Energieproduktion

Der Wiederaufbau von ATP aus ADP erfolgt auf 3 Wegen:

- *aus Kreatinphosphat = anaerob alaktazide Resynthese*

- *über die anaerobe Oxidation = anaerob laktazide Resynthese*
- *über die aerobe Oxidation = aerobe Resynthese*

(de Marées, 2017)

Dadurch, dass die ersten beiden Resynthesewege ohne O₂ ablaufen, werden diese als anaerobe Wege bezeichnet. Der dritte Resyntheseweg wird aerobe Resynthese genannt, weil O₂ benötigt wird, der über den Blutkreislauf die Muskulatur versorgt. Aufgrund der Entstehung von Milchsäure (Laktat) wird die anaerobe Oxidation anaerob laktazide Resynthese genannt. Beim ersten Resyntheseweg geschieht der Wiederaufbau des ATP über Kreatinphosphat ohne Laktatbildung und ohne Sauerstoffzufuhr, weshalb man sie anaerobe alaktazide Resynthese nennt (de Marées, 2017).

2.3.1 Kreatinphosphat

Kreatinphosphat (KP) ist mit einer Menge von 15 bis 20 mmol/kg Muskelfeuchtgewicht im Skelettmuskel um das 3- bis 4-fache stärker konzentriert als ATP. Das entspricht in etwa eine maximale Muskelkontraktion von 5 bis 6 s. Aus den beiden sofort verfügbaren Energiespeichern ATP und KP ergibt sich eine maximale Arbeitsdauer der Muskulatur von sechs bis 8 s, das entspricht in etwa 20 maximale Muskelkontraktionen. Schon während der Muskelkontraktion wird ATP durch KP und Adenosindiphosphat (ADP) resynthetisiert. Dies geschieht so schnell, dass die ATP-Konzentration im Muskel bei dynamischer Arbeit praktisch konstant bleibt. Mit anhaltender hoher Belastung fällt die KP-Konzentration stark ab. In der nächsten Ruhephase kann das angehäuften Kreatin mit ATP zu Kreatinphosphat resynthetisiert werden. Somit ist die beschriebene Kreatinkinase-Reaktion reversibel (de Marées, 2017).

2.3.2 Energielieferung durch biologische Oxidation

Da körperliche Bewegung meistens mehr als 20 maximale Muskelkontraktionen beinhaltet, ist das anaerob alaktazide System limitiert. Durch biologische Oxidation wird die Energie für die andauernde Resynthese der Energiespeicher ATP und KP bereitgestellt. Die für die Oxidation bereitstehenden Stoffe sind Glukose (Traubenzucker) beziehungsweise Glykogen und Fettsäuren beziehungsweise Triglyzeride. Durch die Oxidation entstehen energieärmere Produkte wie zum Beispiel Laktat oder Harnstoff oder energiefreie Verbindungen wie zum Beispiel H₂O oder CO₂. Die freie Energie wird dann in Form von ATP und KP gespeichert. Die energiereichen Phosphate (ATP und KP) stehen danach wieder den energiebedürftigen Reaktionen in den Muskelzellen zur Verfügung. Der größere Teil der freien Energie geht in Wärme verloren, während nur ein kleiner Teil in Form von mechanischer Arbeit, wie zum Beispiel Muskelkontraktionen, genutzt werden kann.

Die biologische Oxidation der Nährstoffe kann entweder in Form aerober Oxidation der Nährstoffe unter Sauerstoffverbrauch oder anaerobe Oxidation der Kohlenhydrate (Großteils Glukose) ohne Sauerstoffverbrauch stattfinden (de Marées, 2017).

Aerobe Oxidation

Der Großteil des Energiebedarfs bei körperlicher Aktivität wird durch aerobe Oxidation zur Verfügung gestellt. Bei einem 10 000 m-Lauf beträgt der Energiebereitstellungsanteil der aeroben Oxidation ungefähr 95 % (de Marées, 2017). Muskeln benötigen eine ständige Energiezufuhr, um bei langfristiger Aktivität die erforderliche Kraft zu erzeugen. Anders als bei der anaeroben ATP-Resynthese braucht die aerobe Oxidation viel Zeit und verfügt gleichzeitig über eine viel größere Energieproduktionskapazität, wodurch der aerobe Stoffwechsel bei Ausdaueraktivitäten die primäre Energiegewinnung übernimmt. Dies stellt erhebliche Anforderungen an das Herz-Kreislauf- und Atmungssystem, um die aktiven Muskeln mit O₂ zu versorgen (Kenney et al., 2022).

Auf die chemischen Reaktionen der aeroben Energiebereitstellung wird in dieser Arbeit nicht eingegangen, weil die Erklärung des komplexen Prozesses ihren Umfang sprengen würde. Die aerob oxidative Energiegewinnung kann mit Glukose oder Fettsäuren erfolgen (Kenney et al., 2022). Bei der Fettsäuren-Verbrennung wird 10 % mehr O₂ benötigt als bei der Glukose-Verbrennung, wodurch aus den verfügbaren Sauerstoffmengen mehr Energie beim Glukoseabbau als beim Fettsäurenabbau geliefert werden kann. Dies geschieht, obwohl Kohlenhydrate pro Gramm nur halb so energiehaltig wie Fett pro Gramm sind. Die Kohlenhydratverbrennung ist somit bei limitierter Sauerstoffmenge ökonomischer. Bei einer vollständigen Oxidation der Nährstoffe entsteht neben der im ATP chemisch gebundenen Energie die energielose Verbindung CO₂ und H₂O. Bei diesem Prozess wird fast die gesamte Menge der im Glukosemolekül enthaltenen Energie freigesetzt, während ungefähr 32 % im energiereichen ATP gespeichert wird. Der größere Anteil der freien Energie geht als Wärmeenergie verloren (de Marées, 2017).

Anaerobe Oxidation

Die anaerobe Oxidation gewinnt verstärkt an Bedeutung, wenn der anhaltende Energiebedarf nicht durch aerobe Oxidation gedeckt werden kann. Limitierende Faktoren aeroben Energiebereitstellung sind die Sauerstoffmenge, die der Muskelzelle pro Zeiteinheit zugeführt wird, die Menge der Enzyme, die für die Reaktionen der Oxidation notwendig ist und die Größe der Nährstoffdepots in den Muskelzellen sowie deren Wiederauffüllung (de Marées, 2017). Unter Sauerstoffmangel können nicht mehr alle Reaktionen der aeroben Oxidation durchgeführt werden. Sowohl die Atmungskette als auch der Zitratzyklus können nur bei

ausreichend O₂ aufrecht erhalten bleiben. Bei fehlendem O₂ kann die chemische Reaktion nicht beendet werden und es entsteht unter einem weiteren Reaktionsschritt Milchsäure (Laktat) (Wonisch et al., 2017). Die Steigerung der Laktatkonzentration in der Muskelzelle führt aufgrund der Abnahme des pH-Wertes zu einer „Übersäuerung“ und dadurch zu schnell einsetzender Ermüdung (de Marées, 2017).

Gegenüberstellung aerober und anaerober Oxidation

Aus 1 Mol Glukose entsteht bei aerober Oxidation 31 Mol ATP Gesamtgewinn. Bei anaerober Oxidation entstehen aus derselben Menge Glukose nur 3 Mol ATP, rund 10 %. Gleichzeitig ist die maximale Umsatzrate bei der anaeroben Energiegewinnung ungefähr 25-mal höher als die von Zitratzyklus und Atmungskette (aerobe Oxidation). Bei der anaeroben laktaziden Energiegewinnung wird im Vergleich zur aeroben Oxidation dadurch zirka doppelt so viel ATP pro Zeiteinheit resynthetisiert (de Marées, 2017).

Folgende Grafik von de Marées (2017) fasst die vor und Nachteile der aeroben und anaeroben Oxidation übersichtlich zusammen.

aerobe Oxidation	anaerobe Oxidation
– Energiebereitstellung erfolgt relativ langsam.	+ Energiebereitstellung erfolgt relativ schnell.
– Die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ klein.	+ Die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ groß.
+ Die bereitgestellte Gesamtenergiemenge ist relativ groß.	– Die Gesamtenergiemenge ist relativ klein.
↓	↓
z.B. 10000-m-Lauf (relativ geringe Laufgeschwindigkeit kann relativ lange Zeit durchgehalten werden)	z.B. 400-m-Lauf (relativ hohe Laufgeschwindigkeit kann nur kurzzeitig erbracht werden)

Abbildung 1: Vor und Nachteile aerober und anaerober Oxidation. Quelle: de Marées (2017, S.357)

3 Energieumsatz bei Körperlicher Belastung

Wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, verbraucht der Organismus bei Muskelarbeit mehr Energie als im Ruhezustand. Der Begriff Arbeitsumsatz bezeichnet die Differenz zwischen dem Gesamtenergieumsatz bei Arbeit (Bewegung) und dem Ruhezustand. Demnach bildet der Arbeitsumsatz den Energieumsatz für die zu erbringende Leistung ab.

Der Arbeitsumsatz ist 4- bis 5-mal größer als die bei der Tätigkeit erbrachte physikalische Leistung. Ein Großteil der freiwerdenden Energie geht als Wärmeenergie verloren. Der Begriff Nettowirkungsgrad bildet das Verhältnis zwischen der erbrachten physikalischen Leistung und dem Arbeitsumsatz ab. Beim Bruttowirkungsgrad wird der Gesamtumsatz anstatt des Arbeitsumsatzes berücksichtigt. Der isolierte Wirkungsgrad der Energieübertragung von ATP in die Muskelarbeit beträgt zirka 50 bis 60 %. Radfahren bedient sich im Vergleich zu anderen Sportarten mit 20 bis 25 % sehr hohen Wirkungsgraden, während Schwimmen mit 3 bis 6 % niedrige Wirkungsgrade erreicht (de Marées, 2017).

3.1 Methoden zu Messung des Energieumsatzes

Die für die Muskelkontraktion aufgebrauchte Energie kann nicht direkt gemessen werden. Es gibt einige Labormethoden, um den gesamten Energieumsatz des menschlichen Organismus im Ruhezustand und unter Bewegung zu messen. Einige dieser Methoden werden seit dem frühen 20. Jahrhundert angewandt, während andere erst seit kurzem in der Sportphysiologie in Verwendung sind (Kenney et al., 2022).

3.1.1 Direkte Kalorimetrie

Eine Möglichkeit, die Menge der Energieproduktion zu messen, ist die Messung der Wärmeabgabe des Körpers. Diese Technik wird als direkte Kalorimetrie („measuring heat“) bezeichnet, da die Grundeinheit der Wärme die Kalorie (cal) ist (Kenney et al., 2022). Bereits im 18. Jahrhundert hat Lavoisier das erste Tier-Kalorimeter gebaut, das unter anderem die Gültigkeit des Energierhaltungssatzes für Lebewesen und die Richtigkeit der Messmethode der indirekten Kalorimetrie bestätigte (de Marées, 2017).

Zuntz et al. untersuchten bereits in den 1800er Jahren den Stoffwechsel von Pferden und entwickelten dafür entsprechende Geräte. Mit diesen konnte unter anderem die Wirksamkeit verschiedene Futterkombinationen bei Arbeitspferden überprüft werden (Zuntz et al., 1889). Kenney (2022) beschreibt, wie in weiterer Folge die direkte Kalorimetrie und dafür ein Kalorimeter erarbeitet wurde, das aus einer isolierten, luftdichten Kammer besteht (Abb. 2). Die Wände der Kammer enthalten Rohre, durch die Wasser zirkuliert. In der Kammer strahlt die vom Körper erzeugte Wärme an die Wände ab und erwärmt das Wasser. Die Wasser- und

Lufttemperatur variiert mit der vom Körper erzeugten Wärme. Aus den daraus resultierenden Werten lässt sich der Stoffwechsel einer Person berechnen. Direkte Kalorimeter sind teuer und liefern nur langsam Ergebnisse. Ihr einziger Vorteil ist, dass sie die Wärme direkt messen. Ein Kalorimeter kann zwar eine genaue Messung des Gesamtenergieumsatzes des Körpers über einen bestimmten Zeitraum liefern, es können damit aber keine schnellen Änderungen des Energieumsatzes erfasst werden. Daher ist die direkte Kalorimetrie zwar nützlich für die Messung des Ruhestoffwechsels und des Energieumsatzes bei längerer, gleichmäßiger aerober Belastung, doch kann der Energieumsatz in typisch sportlichen Belastungssituationen mit einem direkten Kalorimeter nicht untersucht werden. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass Trainingsgeräte wie zum Beispiel Laufbänder Eigenwärme durch ihren Betrieb abgeben. Drittens wird nicht die gesamte entstehende Wärme vom Körper abgegeben. Ein Teil wird im Körper gespeichert, was zu einem Anstieg der Körpertemperatur führt. Und schließlich beeinflusst das Schwitzen die Messungen, die bei den Berechnungen von der erzeugten Wärme verwendet werden. Insgesamt ist es einfacher und kostengünstiger, den Energieumsatz zu errechnen, indem man den Austausch von O₂ und Kohlendioxid misst, der während der Oxidation der Nährstoffe stattfindet (Kenney et al., 2022).

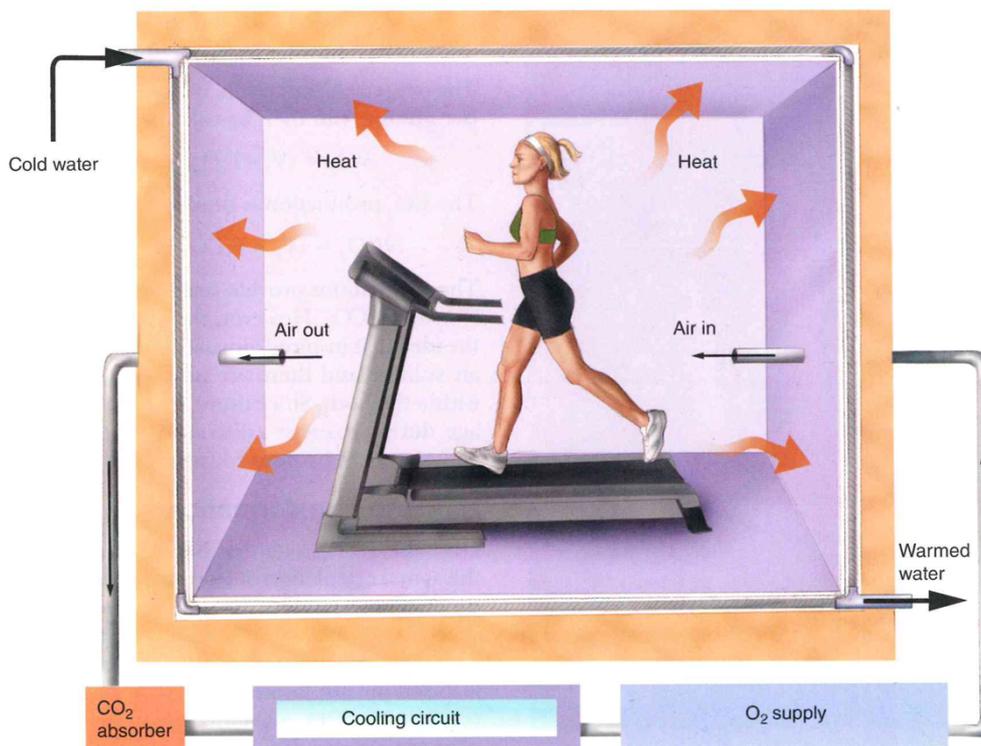


FIGURE 5.1 A direct calorimeter for the measurement of energy expenditure by an exercising human subject. The heat generated by the subject's body is transferred to the air and walls of the chamber (through conduction, convection, and evaporation). This heat produced by the subject—a measure of metabolic rate—is measured by recording the temperature change in the air entering and leaving the calorimeter as well as in the water flowing through its walls.

Abbildung 2: Direkte Kalorimetrie. Quelle: Kenney et al. (2022, S.125)

3.1.2 Indirekte Kalometrie

Wie bereits in Kapitel 2.3.2 erörtert, wird bei der Oxidation von Glukose und Fettsäure O_2 verbraucht und CO_2 und Wasser produziert. Die Geschwindigkeit, mit der O_2 und CO_2 in der Lunge ausgetauscht werden, entspricht normalerweise der Geschwindigkeit, mit der sie verbraucht und abgegeben werden. Anhand dieser Grundlage kann der Energieumsatz (Energy Expenditure – EE) durch die Messung des Austauschs von O_2 und CO_2 in der Lunge bestimmt werden. Da die Wärmeproduktion nicht direkt gemessen wird, wird diese Methode zur Schätzung des Gesamtenergieumsatzes indirekte Kalorimetrie bezeichnet. Damit der Sauerstoffverbrauch den Energiestoffwechsel genau widerspiegelt, muss die Energieproduktion fast vollständig aerob erfolgen. Wenn ein großer Teil der Energie anaerob produziert wird, spiegeln die Atemgasmessungen nicht alle Stoffwechselprozesse wider und der Gesamtenergieumsatz wird zu niedrig berechnet. Aus diesem Grund ist indirekte Kalorimetrie auf aerobe Aktivitäten (im Steady-State-Zustand) beschränkt, die einige Minuten oder länger andauern, was auf die meisten täglichen Aktivitäten und Sportarten zutrifft (Kenney et al., 2022).

Die Unterschiede in den Konzentrationen von O_2 und CO_2 zwischen der eingeatmeten und der ausgeatmeten Luft geben Aufschluss darüber, wie viel O_2 aufgenommen und wie viel CO_2 , vom Körper produziert wird. Da der Körper nur über eine begrenzte O_2 -Speicherung verfügt, spiegelt die in der Lunge aufgenommene Menge genau die O_2 -Nutzung durch den Körper wider. Obwohl es eine Reihe hochentwickelter und teurer Methoden zur Messung des Atemgasaustauschs von O_2 , und CO_2 gibt, sind die einfachsten und ältesten Methoden wahrscheinlich die genauesten (Kenney et al., 2022). In der Vergangenheit wurde die Ausatemluft der Athlet*innen in einem Plastiksack (DOUGLAS-Sack) gesammelt, woraus mithilfe einer Gasuhr und des Volumens der Ausatemluft im Sack das Atemzeitvolumen bestimmt wurde (de Marées, 2017). Die langen Bearbeitungszeiten und die geringe Anzahl von Messungen pro Untersuchung wurden durch moderne Computersysteme abgelöst, die zeiteffizient viele wiederkehrende Messungen pro Testung machen können (Kenney et al., 2022).

3.1.3 Offensystemische vs geschlossensystemische Spirometer

Beim offensystemischen Spirometer wird die Außenluft durch ein Ventil eingeatmet, das das Volumen der ausgeatmeten Luft misst und als Atemzeitvolumen berechnet. Die O_2 - und CO_2 -Konzentration im Ausatemgas kann durch eine chemische Gasanalyse gemessen werden. Durch die Multiplikation der Gaskonzentration und des Atemzeitvolumen ergibt sich das vom Organismus aufgenommen O_2 -Volumen pro Zeiteinheit. Aus diesen Werten lassen sich weitere Messgrößen ermitteln (Kapitel 3.1.4). Im Gegensatz zum offensystemischen

Spirometer, bei dem die Umgebungsluft eingeatmet wird, ist das geschlossensystemische Spirometer, wie der Name bereits erahnen lässt, ein geschlossenes Messsystem. Die Versuchsperson ist durch ein Mundstück direkt mit einem Spirometer verbunden, das das Atemabgas aufnimmt und aus dem die Einatemluft entnommen wird (de Marées, 2017). Da im Forschungsteil der vorliegenden Masterarbeit ein modernes offensystemisches System verwendet wurde, wird hier nicht weiter auf das Funktionsprinzip des geschlossensystemischen Spirometers eingegangen.

Aufgrund niedrigerer Anschaffungskosten, handlicher Geräte und einer verbesserten Analytik sind immer weniger geschlossene Spirometer im Einsatz. Das offensystemische Spirometer hat den Vorteil, dass ortsunabhängig Umsatzbestimmungen durchgeführt werden können. Weiterentwicklungen des offenen Systems sind bereits so handlich, dass diese in Rucksackvorrichtungen transportiert werden können, teilweise drahtlos funktionieren (Telemetrie) und unter einen Kilogramm Gewicht aufweisen. Durch die neuen Geräte ist die Beeinträchtigung der Proband*innen nur noch minimal (de Marées, 2017).

3.1.4 Messgrößen der Spirometrie

Maximale Sauerstoffaufnahme ($V'O_{2max}$)

Die maximale Sauerstoffaufnahme ($V'O_{2max}$) beschreibt die Menge an O_2 , die maximal vom Organismus aufgenommen werden kann. Die Messgröße der $V'O_2$ ist Liter/min. Um die Werte besser vergleichen zu können, werden diese auf das Körpergewicht normiert: (ml/min/kg). Die $V'O_{2max}$ wird nach dem Fick'schen Prinzip berechnet, bei dem das Produkt aus dem Herzminutenvolumens und der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz gebildet wird (Wonisch et al., 2017).

$$V'O_{2max} = HMV_{max} \times a-v-DO_{2max}$$

Sowohl interne als auch externe Faktoren sind leistungsbegrenzend für die $V'O_{2max}$. Während zu den internen Faktoren die Ventilation, die Distribution und Diffusion in der Lunge, das Herzzeitvolumen, die Blutverteilung, die periphere Utilisation, das Blutvolumen, das Total-Hämoglobin, der Ernährungszustand und die dynamische Leistungsfähigkeit der beanspruchten Muskulatur zählen, sind nachfolgende Faktoren den externen Faktoren zuzuordnen: Die Größe und Art der eingesetzten Muskulatur, die Körperposition, der O_2 -Partialdruck der Einatemluft, das Klima (Luftfeuchtigkeit und Temperatur) und der Belastungsmodus (Wonisch et al., 2017). Laut Friedmann-Bette (2011) können Spitzenathlet*innen gegenüber untrainierten Personen eine mehr als doppelt so große $V'O_{2max}$ aufweisen. Spitzenausdauersportlerinnen haben aufgrund eines höheren Körperfettanteils eine um zirka 10% niedrigere $V'O_{2max}$ als männliche Spitzenausdauersportler.

Der $\dot{V}O_{2\max}$ Wert liegt im Ruhezustand bei ungefähr 3000 ml/min, das entspricht im Durchschnitt 4 bis 5 ml/min/kg. Unter Maximalbelastung erzielen untrainierten Personen einen Normalwert bis 3000 ml/min oder 34 bis 45 ml/min/kg, während ausdauertrainierte bis zu 6000 ml beziehungsweise 70 bis 90 ml/min/kg aufweisen (Wonisch et al., 2017).

Kohlendioxid-Abgabe ($\dot{V}CO_2$)

Die pro Zeiteinheit abgeatmete Menge an Kohlendioxid (CO_2) wird als Kohlendioxid-Abgabe bezeichnet. Während CO_2 beim oxidativen Metabolismus entsteht, wird zusätzlich CO_2 bei der Pufferung von Milchsäure bei höheren Belastungsintensitäten gebildet. Als Normalwerte gelten 200 bis 400 ml/min in Ruhe, während der Wert bei Maximalbelastung bei Untrainierten auf 3000 ml/min und 6000 ml/min bei Ausdauertrainierten steigt (Wonisch et al., 2017).

Respiratory Exchange Ratio (RER)

$$RER = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$$

Im steady-state (stabilen Bedingungen) beeinflusst das metabolische Substrat der Energiegewinnung den RER. Bei absoluter Kohlenhydratverstoffwechslung beträgt der RER ungefähr 1, wohingegen der RER bei absoluter Fettverbrennung zirka 0,7 beträgt. Bei sehr intensiven Belastungen und non-steady-state (instabilen Bedingungen) kann der RER-Wert 1 übersteigen indem mehr CO_2 produziert wird als der Organismus O_2 aufnehmen kann (Wonisch et al., 2017).

Atemminutvolumen (AMV)

Das Atemminutvolumen ist das Luftvolumen, das pro Zeiteinheit ein- beziehungsweise ausgeatmet wird und wird auch als Atemventilation (V_E) bezeichnet. Die Einheit für das Atemminutvolumen ist Liter/min. Berechnet wird die Atemventilation aus dem Produkt des Atemzugvolumens (Tidalvolumen V_T) und der Atemfrequenz (AF) (Wonisch et al., 2017). Auf niedrigen Belastungsstufen wird die V_E primär durch ein erhöhtes Atemzugvolumen gesteigert. Bei schweren Belastungen führt eine erhöhte Atemfrequenz zu einer erhöhten Atemventilation (Jones, nach Wonisch et al., 2017).

Das Atemminutvolumen kann zur groben Berechnung des $\dot{V}O_2$ dienen, indem es mit der Differenz der inspiratorischen und expiratorischen Sauerstoffkonzentration ($FIO_2 - FEO_2$) multipliziert wird.

$$\dot{V}'O_2 = V_E \times (FIO_2 - FEO_2)$$

Im Gegensatz zur nahezu identen maximalen $FIO_2 - FEO_2$ bei gesunden Personen ist das Atemminutvolumen bei hoher Belastung wichtig für die Sauerstoffaufnahme. Als Normalwerte gelten 6 bis 8 l/min in Ruhe, während der Wert bei Maximalbelastung bei Untrainierten auf ungefähr 120 l/min und >200 l/min bei Ausdauertrainierten steigt (Wonisch et al., 2017).

Sauerstoffpuls

Der Sauerstoffpuls ist wichtig, um die myokardiale Funktion¹ unter Belastung abzuschätzen, wird aus $\dot{V}'O_2$ und Herzfrequenz (HF) bestimmt ($\dot{V}'O_2/HF$) und dient als Korrelat des Schlagvolumens. Als Normalwerte gelten 4 bis 6 ml in Ruhe, während der Wert bei Maximalbelastung bei Untrainierten auf 10 bis 20 ml und 25 bis 30 ml bei Ausdauertrainierten steigt (Wassermann, nach Wonisch et al., 2017).

Atemäquivalente für O₂ und Kohlendioxid

Durch die Division von Ventilation (V_E) durch den Sauerstoffverbrauch beziehungsweise die Kohlendioxidproduktion wird das Atemäquivalent für O₂ ($= V_E/\dot{V}'O_2$) beziehungsweise das Atemäquivalent für Kohlendioxid ($= V_E/\dot{V}'CO_2$) berechnet. Um ein korrektes Ergebnis zu bekommen, wird die gerätebedingte Totraumventilation (zum Beispiel durch die Atemmaske) abgezogen (Wonisch et al., 2017). Unter Totraumventilation werden die Ventilation (Belüftung) aller Teile des Respirationstraktes (Atmungsapparat), die nicht in den Gasaustausch eingebunden sind, verstanden (Prinz, o. D.). $V_E/\dot{V}'O_2$ ergibt Aufschluss über die ventilatorische Effizienz, indem sie jene Menge an geatmeter Luft reflektiert, die notwendig ist, um einen Liter O₂ aufzunehmen. Bei gesunden Personen ist ein Rückgang der Atemäquivalenz bei gleichbleibender submaximaler Belastung nach einigen Wochen Training zu beobachten, was als Ausdruck einer Ökonomisierung der Atmung einzuordnen ist (Wonisch et al., 2017).

3.1.5 Spirometrische Schwellen

Neben dem bekanntesten spirometrischen Kennwert, der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}'O_{2max}$) (Kapitel 3.1.4), sind der Respiratorische Kompensationspunkt (RCP) und die ventilatorische Schwelle (VT) weitere Parameter für die Bestimmung der Ausdauerfähigkeit. RCP und VT geben Aufschluss über die Energiebereitstellung. Während die VT entsprechend des Zwei-Schwellen-Konzepts den Übergang vom aeroben zum gemischt aerob-anaeroben Energiestoffwechsel markiert, kennzeichnet der RCP den Anfang der rein anaeroben Energiebereitstellung (Scharhag-Rosenberger, 2010).

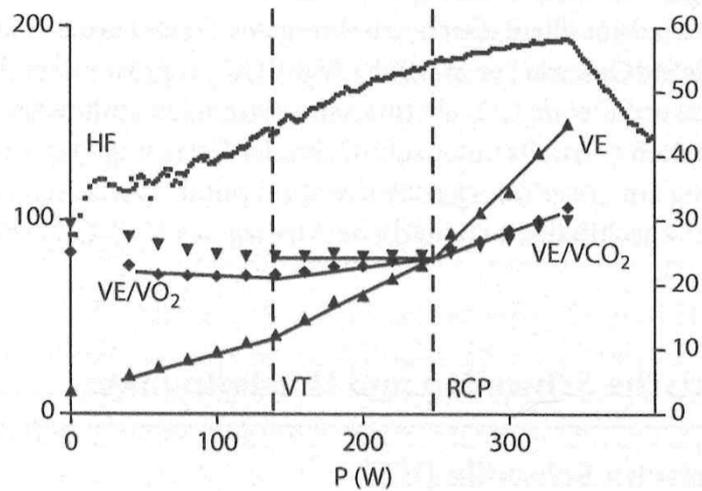
Ventilatorische Schwelle (VT)

Die bei steigender Belastung plötzlich steigende Laktatproduktion im Muskel wird mit einer unzureichenden Kapazität der Mitochondrien in Verbindung gebracht, woraus sich die Bezeichnung „anaerobic threshold“ (anaerobe Schwelle) oder kurz AT ergibt (Wasserman, nach Wonisch et al., 2017). Durch die zunehmende Laktatanhäufung im Blut müssen überzählige H^+ -Ionen gepuffert werden, damit der physiologische PH-Wert konstant bleibt. Das durch diesen Prozess entstehende CO_2 muss abgeatmet werden, wodurch es zu einer zusätzlichen Stimulation der Ventilation kommt (Wonisch et al., 2017).

Wonisch et al. (2017) beschreibt 3 Möglichkeiten, um die ventilatorische Schwelle zu ermitteln.

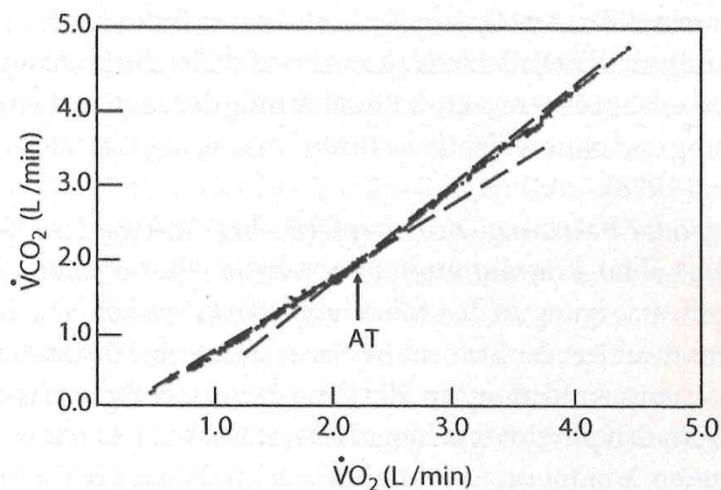
1. Der erste nichtlineare Anstieg der Ventilation (VE) (Abb. 3).
2. Die Festlegung des Punktes, an dem die $VE/V'O_2$ ohne der $VE/V'CO_2$ systematisch ansteigt (Abb. 3).
3. Die V-Slope-Methode nach Beaver (nach Wonisch et al., 2017) bei der die $V'CO_2$ und die $V'O_2$ in einem Koordinatensystem abgebildet werden. Die VT definiert eine Abweichung der Anstiegssteilheit der $V'CO_2$ gegenüber der $V'O_2$ (Wonisch et al., 2017) (Abb. 4).

Nach Scharhag-Rosenberger (2010) sollte die VT primär mittels V-Slope-Methode nach Beaver identifiziert werden, weil das durch die Pufferung der H^+ -Ionen entstehende CO_2 zusätzlich zum metabolischen CO_2 abgeatmet wird und dadurch ein überproportionaler Anstieg der $V'CO_2$ im V-Slope-Graphen erkennbar ist. Kriterien zur Bestimmung der VT, die sich auf den verstärkten Atemtrieb stützen, können ungenauer sein, weil die Atmung von mehreren Faktoren abhängt.



■ **Abb. 12.1** Schematische Darstellung der Bestimmung von der ventilatorischen Schwelle (VT) und des „respiratory compensation point“ (RCP) durch Analyse der Ventilation (V_E) und der Atemäquivalente für Sauerstoff (V_E/VO_2) und Kohlendioxid (V_E/VCO_2)

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Bestimmung der ventilatorischen Schwelle. Quelle: Wonisch et al. (2017, S.178)



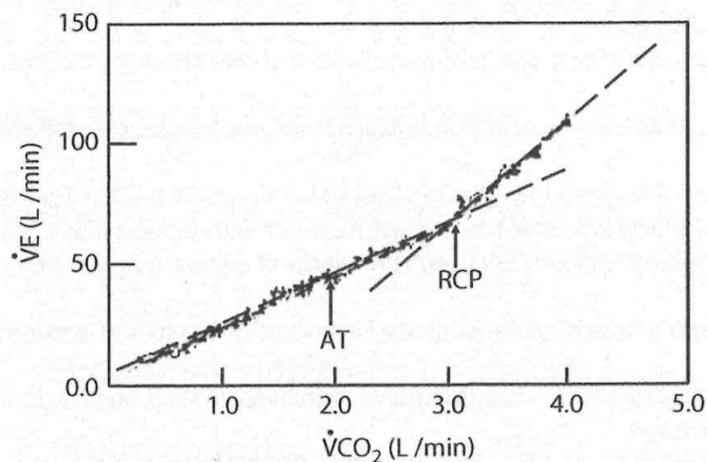
■ **Abb. 12.2** Darstellung der „V-slope“-Methode (Beaver et al. 1986): Kohlendioxid-Produktion (VCO_2) vs Sauerstoffaufnahme (VO_2), der Schnittpunkt der beiden Regressionslinien kennzeichnet die VT

Abbildung 4: Darstellung der „V-Slope“-Methode nach Beaver. Quelle: Wonisch et al. (2017, S.178)

Respiratorischer Kompensationspunkt (RCP)

Beim respiratorische Kompensationspunkt (RCP) kommt es zu einer Hyperventilation durch einen verstärkten H^+ -Ionen Konzentrationsanstieg bei erschöpfter Pufferkapazität (Scharhag-Rosenberger, 2010). Die erneute Steigerung der Ventilation ist durch eine weitere Zunahme

der Anstiegssteilheit zu erkennen (Abb. 5.). Neben der erneut gesteigerten Ventilation kann der RCP auch, ähnlich wie bei der V-Slope-Methode, aus einem Koordinatensystem herausgelesen werden (Wonisch et al., 2017). Der RCP definiert sich dabei aus einem überproportionalen Anstieg der VE gegenüber der $\dot{V}'\text{CO}_2$ (Scharhag-Rosenberger, 2010).



▣ **Abb. 12.3** Darstellung zur Bestimmung des RCP (Beaver et al. 1986): Ventilation (\dot{V}_E) vs Kohlendioxid-Produktion ($\dot{V}'\text{CO}_2$), der Schnittpunkt der beiden Regressionslinien kennzeichnen den RCP

Abbildung 5: Darstellung zur Bestimmung des RCP. Quelle: Wonisch et al. (2017, S.179)

Laut Scharhag-Rosenberger (2010) gilt bei methodisch sorgfältig durchgeführten spirometrischen Testungen die VT als valide. Für die Validität der RCP liegen wenige Daten vor. Die Schwellen sind oft nicht eindeutig zu erkennen und die Interpretation sollte mit Vorsicht geschehen. $\dot{V}'\text{O}_{2\text{max}}$ und VT können bei methodisch richtigem Vorgehen als Indikator für die Ausdauerleistungsfähigkeit gesehen werden, wohingegen der PCR weniger etabliert ist. Die Schwellen (VT und RCP) erfassen geringere Leistungsunterschiede sensibler als die $\dot{V}'\text{O}_{2\text{max}}$. Dies ermöglicht eine präzisere Ableitung der Trainingsempfehlung.

3.1.6 Bestimmung des Energieumsatzes (Energy Expenditure)

Durch indirekte Kalorimetrie kann der Energieumsatz in Ruhe und unter Belastung bestimmt werden (Friedmann-Bette, 2011). Unter der Annahme, dass $\dot{V}'\text{O}_2$ und $\dot{V}'\text{CO}_2$, das beim Ausatmen durch den Mund gemessen wird, den Metabolismus in den Geweben genau widerspiegelt, kann der Energieumsatz bei körperlicher Betätigung durch die Messung der $\dot{V}'\text{O}_2$ und der Kohlendioxidproduktion ($\dot{V}'\text{CO}_2$) berechnet werden (Kipp et al., 2018). Unter Anwendung stöchiometrischer Gleichungen für die Glukose- beziehungsweise β -Oxidation der freien Fettsäuren kann auf den Energieumsatz rückgeschlossen werden. Es macht einen

Unterschied, ob bei Berechnung des Energieumsatzes von einer Glukoseoxidation oder von einer Glykogenoxidation bei der Energiebereitstellung aus dem Kohlenhydratstoffwechsel ausgegangen wird (Friedmann-Bette, 2011).

Friedmann-Bette (2011) beschreibt, dass bei gleichem RQ (1.0) und dem gleichen Energieäquivalent (5.02 kcal/l O₂) der Abbau von einem Gramm Glukose 3.74 kcal (bei 0,75 l O₂-Verbrauch) liefert, wohingegen der Abbau von einem Gramm Glykogen auf 4,15 kcal (bei 0,83 l O₂-Verbrauch) kommt. Aufgrund der Diskrepanz haben Wissenschaftler*innen unterschiedliche Berechnungsverfahren entwickelt. Je nach Algorithmus kann es zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen (Friedmann-Bette, 2011).

Einen Überblick über zehn bekannte Gleichungen bietet Kipp et al. (2018) in Abb. 6.

Table 1. Published equations for calculating the energetic expenditure, where $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ is in L·s⁻¹, and N is in g.

	Equation
Lusk 1924 ^a	$16.00 \dot{V}O_2 + 5.15 \dot{V}CO_2 - 7.80N$
Weir 1949	$16.50 \dot{V}O_2 + 4.62 \dot{V}CO_2 - 9.06N$
Weir ^b (corrected)	$16.62 \dot{V}O_2 + 4.51 \dot{V}CO_2 - 9.22N$
Garby and Astrup 1987	$16.04 \dot{V}O_2 + 4.94 \dot{V}CO_2$
Ferrannini 1988 (glucose)	$16.15 \dot{V}O_2 + 4.82 \dot{V}CO_2 - 4.79N$
Ferrannini 1988 (glycogen)	$16.38 \dot{V}O_2 + 4.64 \dot{V}CO_2 - 4.51N$
Brockway 1987	$16.58 \dot{V}O_2 + 4.51 \dot{V}CO_2 - 5.90N$
Péronnet and Massicotte 1991	$16.89 \dot{V}O_2 + 4.84 \dot{V}CO_2$
Jeukendrup and Wallis 2005	$18.56 \dot{V}O_2 + 2.40 \dot{V}CO_2 - 4.14N$
(intensities between 40%–50% $\dot{V}O_{2max}$)	
Jeukendrup and Wallis 2005	$18.71 \dot{V}O_2 + 2.30 \dot{V}CO_2 - 4.14N$
(intensities between 50%–75% $\dot{V}O_{2max}$)	

Note: N, nitrogen; $\dot{V}CO_2$, carbon dioxide production; $\dot{V}O_2$, oxygen uptake; $\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen uptake.

^aAs calculated by Abramson (1943).

^bWeir's equation as corrected in Brockway (1987).

Abbildung 6: Gleichungen zur Bestimmung der Energy Expenditure. Quelle: Kipp et al. (2018, S.640)

Kipp et al. (2018) hat 10 veröffentlichte Gleichungen (Abb. 6.) zur Berechnung des Energieumsatzes aus $\dot{V}O_2$ und $\dot{V}CO_2$ an 10 männlichen Langstreckenläufern verglichen und konnte eine Diskrepanz von bis zu 5,2 % zwischen 2 verbreiteten Gleichungen zur Errechnung des Energieumsatzes feststellen. Auch Bossi et al. (2020) untersuchten, ob die Verwendung verschiedener EE-Gleichungen die Schätzungen des Brutto-Wirkungsgrads (GE) und deren Zuverlässigkeit beeinflussen. Der mittlere Variationskoeffizient für GE bei verschiedenen

Belastungsintensitäten und Berechnungsmethoden betrug bei ihrer Studie 4,2 % und sie kamen damit zu einem ähnlichen Ergebnis wie Kipp et al. (2018).

4 Einführung in die Sportart Kitesurfen

Landell-Mills (2021) beschrieb in einem ersten Erklärungsversuch Kitesurfen als eine Art Wakeboarden mit einem Paraglider oder Windsurfen mit einem kurzen Brett und einem losgelösten Segel. Kitesurfen ist eine Gleitsportart, bei der sich die ausübende Person durch die Kraft des Windes mit Hilfe eines Lenkdrachens, auf einem Board über die Wasseroberfläche bewegt (Palmer, 2019). Scheibe et al. (2009) beschrieben, dass die Windkräfte vom Lenkdrachen über Leinen in der Länge zwischen 15 und 25 m und die daran montierte Bar über einen Hüftgurt (Trapez) über den oder die Sportler*in weiter zum Board geleitet wird.

Kitesurfen verlangt ähnliche Windbedingungen wie andere Segelsportarten und es werden in den Renndisziplinen auch ähnliche Wettkampfregeln angewandt. Im Gegensatz zu anderen Wassersportarten kann eine sehr hohe Sprunghöhe ohne starke Winde oder Wellen erreicht werden (Gratwick, 2015). Der aktuell höchste gemessene Kitesurf-Sprung bei Starkwindbedingungen beträgt 34,8 m (Stand 9. Dezember 2022) (*Official WOO Kite - Big Air Leaderboards*, o. D.). Neben den Disziplinen Big-Air und Racing sind die Disziplinen Wavekites und Freestyle fester Bestandteil der Sportart.

Kites

Die verwendeten Lenkdrachen (Kites) haben je nach Windverhältnis und Körpergewicht eine Fläche zwischen 5 und 20 m² (Bourgois et al., 2013), wobei die Kitegröße mit zunehmendem Gewicht der fahrenden Person oder schwächeren Windbedingungen zunimmt. Geeignete Kites können in zwei Hauptgruppen unterschieden werden: Tubekites und Softkites.

Tubekites sind das am weitesten verbreitete Kitesystem. Sie besitzen ein durch eine Pumpe aufblasbares Gerüst bestehend aus einer Fronttube und Quertubes (Struts), die dem Kite durch den starken Innendruck die Profilform verleihen. Durch die aufblasbaren Tubes kann der Kite am Wasser schwimmen und auch nach langer Zeit gut aus dem Wasser gestartet werden (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020). Tubekites können weiter in die zwei Haupttypen C-Kite und Bow-Kite unterteilt werden. Während der C-Kite durch seine halbkreisförmige Vorderkante auffällt (Bertin, nach Palmer, 2019) hat der Bowkite ein flacheres Profil, das durch eine unterstützende Leinenkonstruktion im Form gehalten wird. Der Bow Kite hat im Gegensatz zum C-Kite bessere Depower-Eigenschaften, kann leichter aus dem Wasser gestartet werden und hat einen größeren Einsatzbereich. Während Bow-Kites quer durch alle Disziplinen verwendet werden, wird der C-Kite hauptsächlich in der Kategorie Wakestyle von erfahrenen Kiter*innen verwendet (Palmer, 2019).

Soft-Kites erhalten ihr Profil durch einströmende Luft, die die Kammern zwischen zwei Tuchsichten füllt und erinnern vom Aufbau an Paraglider (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020). Sie sind in der Regel weniger gekrümmt als Tubekites, wodurch sie bei gleicher Windstärke mehr Kraft erzeugen (Palmers, 2019). Durch die größere Kraftentwicklung, eine sehr effiziente Form und wenig Gewicht werden Soft-Kites zu einem großen Teil für Leichtwindbedingungen und für Racing verwendet.

Boards

Bei Kiteboards wird zwischen direktionalen und bidirektionalen Boards unterschieden. Direktionale Boards haben ein Heck und einen Bug und die Form erinnert an ein Wellenreitbrett. Während bei direktionalen Boards eine Fahrtrichtung vorgegeben ist, sind bidirektionale Boards symmetrisch. Bidirektionale Boards werden auch Twin-Tips genannt und können in beide Richtungen gefahren werden, wodurch beim Umdrehen kein Fußwechsel erfolgen muss. Twin-Tips sind die am weitesten verbreiteten Boards und werden immer mit Fußschlaufen oder Boots gefahren (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020). Foilboards sind durch einen Unterwasserflügel, der durch einen Mast mit dem Brett verbunden ist, charakterisiert. Schon bei geringen Geschwindigkeiten bekommt der Flügel Auftrieb und hebt das Brett samt Kitesurfer*in aus dem Wasser. Durch geringe Reibung kann ein Foilboard schon bei wenig Wind (Palmers, 2019) und mit einem spitzeren Winkel zum Wind gefahren werden (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020).

Kitebar

Eine Kitebar oder Bar dient der Kontrolle des Kites in Bezug auf Flugrichtung und Kraftentwicklung (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020). Eine moderne Bar beinhaltet meistens vier Leinen. Während die Powerlines über den Quickrelease und den Chickenloop direkt mit dem Trapez verbunden sind, laufen die Steuerleinen vom Wingtip des Kites zu den äußeren Enden des Barholms. Durch Lenkimpulse kann der Kite gesteuert werden, während das Anziehen am Barholm den Angriffswinkel des Kites zum Wind verändert, wodurch mehr Kraft erzeugt wird. Fünfleiner-Kites müssen dem Namen entsprechend mit Bars mit fünf Leinen geflogen werden.

Trapez

Das Trapez überträgt die Kraft des Kites auf den Körper der fahrenden Person. Grundsätzlich kann zwischen Hüft- und Sitztrapezen unterschieden werden. Ein Hüfttrapez verfügt über Beingurte, wodurch das Trapez nicht Richtung Rippen rutschen kann. Sitztrapeze sind vor allem bei Einsteiger*innen beliebt, da sie die bequemere und kraftsparendere Variante sind. Hüfttrapeze bieten größtmögliche Bewegungsfreiheit und sind dadurch die bessere Wahl für

dynamische Fahrten mit Sprüngen und Kunststücken. Ein Nachteil vom Hüfttrapez ist, dass es leichter verrutschen kann. Durch die erst kürzlich entwickelten Hardshell-Trapeze, die eine festgelegte Profilierung vorweisen und dadurch für einen deutlich stabileren Halt am Körper sorgen, verringert sich dieser Nachteil der Hüfttrapeze deutlich (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020).

Neben den für die Sportart essenziellen Ausrüstungsgegenständen wie Kite, Board, Trapez und Bar wird häufig weiteres Equipment, das vor allem der Sicherheit dient, verwendet. Darunter gehören unter anderem Neoprenanzüge als Kälteschutz, Prallschutzwesten und Helme (Spreckels, 2007).

4.1 Geschichtliche Entwicklung der Sportart

Scheibe et al. (2009) beschreiben die Entstehung von Kitesurfen als eine Hybridentwicklung aus verschiedenen Boardsportarten wie Wellenreiten und Windsurfen und der Erfindung des Lenkdrachens als Fortbewegungsmittel. Die ersten mündlichen und bildlichen Überlieferungen, bei denen Drachen zur Fortbewegung verwendet wurden, gehen auf Bewohner*innen von Südseeinseln zurück, deren Kanus von Drachen gezogen wurden. Die ersten gut dokumentierten Ideen lassen sich auf den Anfang des 19. Jahrhunderts durch das von George Pocock 1827 veröffentlichte Buch "The Aeropleustic Art, of Navigation in the Air by the Use of Kites, or Buoyand Sails" datieren. Nachdem der aus England stammende Autor 1925 seine Tochter auf einem Sessel, der an einem Drachen montiert war, knapp 90 Meter über den Boden aufsteigen ließ, erreichte er 1826 mit seiner von zwei Drachen gezogenen Kutsche eine Geschwindigkeit von 20 mph (~32kmh) (White, 1998). Während Palmers (2019) die ersten Patentanmeldungen für Luftantriebssegel für die Schifffahrt Ende der 1970er Jahre als Ursprung des Kitesurfens beschreibt, nennt Gaal (2018) neben George Pecoock den Cody-Drachen, der für militärische Zwecke 1901 Personen in eine Höhe von 800 Meter befördern konnte, als den Ursprung der Sportart. Im Laufe der Zeit entwickelten sich die Drachen immer weiter, durch neue Materialien wurden die Schirme strapazierfähiger, wodurch sich ihr Einsatzgebiet deutlich vergrößerte. In den 1980er Jahren wurden Kites zur Fortbewegung auf Kanus, Ski oder Rollschuhen benutzt (Gaal, 2018). Eine oder einen Erfinder*in der Sportart Kitesurfen zu nennen, ist aufgrund vieler paralleler Entwicklungen nicht möglich.

Ein wesentlicher Teil zur Entwicklung der Sportart trugen die Brüder Dominique und Bruno Legaignoux bei, indem sie nach experimentellen Versuchen 1985 das Patent für den „*Propulsive Wing with Inflatable Armature*“, einen Zweileinerkite mit einer aufblasbaren, gebogenen Leading-Edge beantragten. Als Leading-Edge wird der Bereich des Kites beschrieben, der bei stabiler Flugphase als erstes vom Wind angeströmt wird. Bei Tubekites

besteht die Leading-Edge aus der aufblasbaren Fronttube. Mit ihm ließen sie sich mit Wasserski über das Wasser ziehen. Die Erfindung der Legaigoux-Brüder ist die Grundlage für Tubekites, wie sie heute verwendet werden (Stephenson, 2013).

Die weitere Entwicklung fand in den 1990er Jahren in Frankreich und Amerika statt. Während die amerikanischen Brüder Bill und Cory Roeseler das Kiteski-System auf den Markt brachten, bei dem ein Drache mit großer Lenkstange Personen auf Wasserski zog, gründeten die Brüder Legaigoux 1997 die Firma WIPIKA², um ihr Modell mit aufblasbaren Struts (Tubekites) zu vermarkten (Gaal, 2018).

Während der Entwicklungsphase kam es in den Jahren 2000 bis 2003 zu einigen tödlichen Unfällen, weshalb sich der Quickrelease als neue Sicherheitsnorm etablierte. Durch die Betätigung des Quickreleases wird der Kite flugunfähig und die Kraft des Kites geht verloren. Der Kite kann durch einen zweiten Mechanismus völlig von der sportausübenden Person getrennt werden. Zwischen 2003 und 2009 wurden Kites enorm weiterentwickelt. Der Bow-Kite bot im Jahr 2005 einen Durchbruch durch verbesserte Depower-Fähigkeit und die dadurch entstandene Sicherheit (Palmers, 2019).

4.2 Physikalische Faktoren beim Kitesurfen

4.2.1 Kraftentwicklung des Kites

Es liegt im Wesen der Sportart, dass der Drache durch den vorhandenen Wind so viel Kraft entwickelt, dass die sportausübende Person mit einem kleinen Brett über das Wasser gleiten kann. Es gibt unterschiedliche Ansätze, wie sich die entstehende Kraft physikalisch erklären lässt. Gratwick (2015) erklärt die Flugfähigkeit der Schirme über den Drag (Widerstand) und Lift (Auftrieb). Da die Begrifflichkeiten Drag und Lift in der Sportart verbreiteter sind als die deutsche Übersetzung, wird hier die englische Bezeichnung verwendet.

Drag: Am leichtesten kann man sich das Prinzip bei einem Kinderdrachen in Rautenform vorstellen. Der Wind trifft auf die luvseitige Fläche des Drachens. Durch die Flugleinen wird der Drache am Wegfliegen gehindert und es entsteht durch die gegensätzlichen Kräfte Spannung an der Leine. Größere Drachen erzeugen bei gleichem Wind mehr Widerstandskraft als kleinere Drachen (Gratwick, 2015).

Lift: Lift oder Auftrieb kann durch eine verfeinerte Form erreicht werden. Je besser die Form des Flugobjekts, desto mehr Lift wird erzeugt. Der Lift beim Kite beruht auf demselben Prinzip

wie der Auftrieb eines Flugzeugflügels und hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der die Luft über die Ober- beziehungsweise Unterseite eines Flügels – in diesem Fall des Kites – strömt. Durch die gewölbte Form und eine dicke Fronttuba legt der Luftstrom auf der Oberseite mehr Weg zurück als auf der Unterseite. Dadurch entsteht auf der Oberseite weniger Druck als auf der Unterseite und es wird Auftrieb nach oben erzeugt (Gratwick, 2015).

Landell-Mills (2021) sieht bei der Kraftentwicklung eines Kites keine Ähnlichkeiten zum Lift eines Flugzeugflügels und bezieht sich dabei auf die NASA, die erklärt, dass Drachen nach der Newtonschen Mechanik nach oben geschoben werden. Laut Landell-Mills ist demnach nur der Drag für die Flugfähigkeit des Kites verantwortlich. Landell-Mills (2021) beschreibt, dass durch das Auftreffen des Windes auf die Vorderseite des Drachens der Wind nach unten abgelenkt wird, wodurch eine Kraft in die entgegengesetzte Richtung wirkt, die den Drachen nach oben drückt. Dieser Vorgang stellt das dritte Newtonsche Bewegungsgesetz dar.

Die beiden Ansätze, Drag und Lift können durch die Theorie des Windfensters vereint werden.

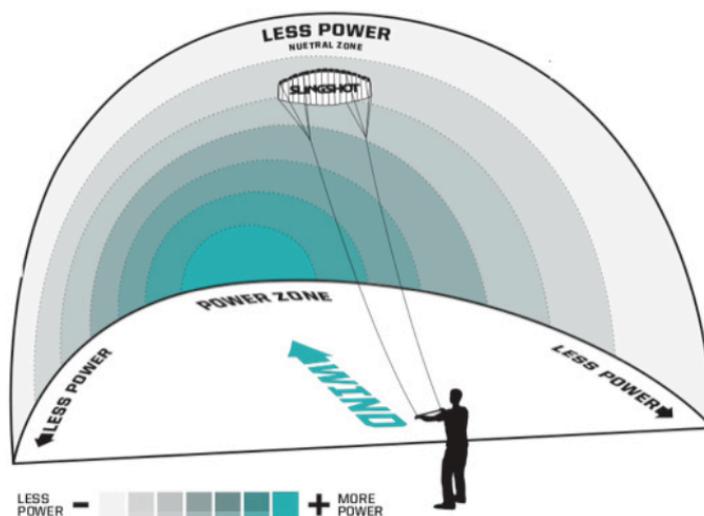


Abbildung 7: Statisches Windfenstermodell. Quelle: Landell-Mills (2021, S.6)

Das Windfenstermodell (Abb. 7) visualisiert den Bereich im Lee der drachenlenkenden Person, in dem ein Kite grundsätzlich fliegen kann. Je länger die Kiteleinen sind, desto größer ist dieser Bereich. Je weiter der Kite zum Rand des Windfensters fliegt, desto weniger Kraft entwickelt er, da sein Anstellwinkel weniger steil ist (Gratwick, 2015). Die Power-Zone wird als Bereich im Windfenster beschrieben, in dem die meiste Kraft generiert wird. Landell-Mills (2021) positioniert in seiner Darstellung die Power-Zone als Bereich am weitesten im Lee von der kitenden Person möglichst knapp über dem Boden (Abb. 7). Gratwick (2015) hingegen beschreibt das Zentrum der Power-Zone ungefähr auf halber Höhe zwischen Boden und der

maximalen Flughöhe des Windfensters direkt im Lee der steuernden Person. Gratwick positioniert die Power-Zone aus zwei Gründen nicht direkt auf Bodenhöhe: Auf halber Höhe profitiert der Kite von der besten Mischung aus Drag und Lift. Außerdem begründet Gratwick (2015) die größte Kraftentwicklung auf halber Höhe im Windfenster durch die größere Windgeschwindigkeit als direkt über dem Boden. Mit zunehmender Höhe nimmt der Wind aufgrund der reibungsträchtigen Oberfläche der Erde zu.

Drag und Lift hängen insofern mit dem Windfenster zusammen, als der Drache in verschiedenen Positionen des Windfensters ein unterschiedliches Verhältnis zwischen Drag und Lift generiert. Wenn sich der Kite im größtmöglichen Lee – am nächsten zum Boden befindet – ist der Drag am größten und der Lift am geringsten. Wenn der Anstellwinkel des Drachens zum Wind geringer wird, verringert sich die Komponente Drag und die Komponente Lift nimmt zu. Der Anstellwinkel wird automatisch geringer, wenn der Kite weiter zum Rand des Windfensters fliegt (Landell-Mills, 2021).

Unter Fahrt verändert sich das statische Windfenster und wird dynamisch, da neben dem atmosphärischen Wind auch der Fahrtwind wirkt. Durch die Zunahme des Fahrtwinds kommt der scheinbare Wind mehr aus Fahrtrichtung, sodass der Kite nicht mehr an den Rand des statischen Windfensters (des atmosphärischen Winds) fliegen kann. Ein Kite hat in ein- und derselben Position mehr Druck, während ein/e Kitesurfer*in fährt, als wenn die kitende Person steht (Spreckels, 2007).

Laut Landell-Mills (2021) und Gratwick (2015) kann die Zugkraft eines Kites durch folgende Faktoren verstärkt werden:

- Durch den Anstellwinkel des Kites zum Wind.
- Durch die Beschleunigung des Luftstroms (die Windgeschwindigkeit).
- Durch die Vergrößerung der Objektfläche (größere Kites entwickeln mehr Kraft als kleine)
- Durch die Beschleunigung der Eigengeschwindigkeit des Objekts durch die Luft. Das Fliegen von Sinuskurven ermöglicht Kitesurfer*innen bei wenig Wind genug Kraft zu entwickeln, um eine stabile Fahrt zu ermöglichen. Durch das ständige Bewegen des Kites in der Luft entsteht mehr scheinbarer Wind, wodurch der Kite mehr Kraft entwickelt.
- Durch eine Veränderung der Form des Objekts. In der Regel sind offene Kites mit einer effizienteren Form, wie zum Beispiel Mattenkites, leistungsfähiger als Kites mit stärkerer Wölbung zu den Wingtips, wie zum Beispiel C-Kites.

4.2.2 Kräfte beim Kitesurfen

Im Gegensatz zum Windsurfen, bei dem der Kraftschluss zumindest teilweise über das Mastfußgelenk geschieht, liegt der Kraftschluss beim Kitesurfen zwischen dem Schirm und dem Brett einzig bei der Sportausübenden Person. Die durch den Drachen entwickelte Kraft muss in der Regel über das Trapez, das mit der Bar verbunden ist, durch den Menschen auf das Brett übertragen werden (Scheibe et al., 2009).

Eine sportausübende Person muss der Kraft des Drachens entgegenwirken, indem sie sich vom Kite weg in den Wind lehnt und gleichzeitig das Kiteboard verwendet, um Wasser ins Lee zu drücken (Abb. 8). Dabei entsteht Leinenspannung, die den Drachen manövrierfähig macht und ihn in der Luft hält.

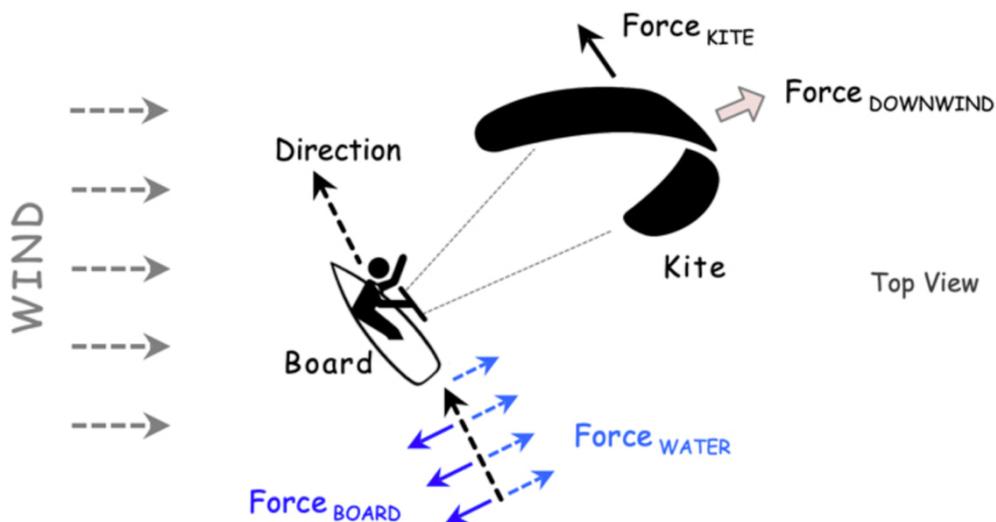


Abbildung 8: Kräfte die auf einen Kitesurfer wirken. Quelle: Landell-Mills (2021, S.7)

Wenn die durch den Kite entwickelte Kraft größer ist als die Kraft, die der oder die Sportler*in entgegenbringen kann, ist eine stabile Fahrt nicht mehr möglich. Der oder die Kitesurfer*in wird entweder über das Brett nach Lee gezogen oder ist nicht mehr im Stande, das Kiteboard richtig angeströmt im Wasser zu halten. Das Brett rutscht in weiterer Folge auf der Längskante über das Wasser. Umgangssprachlich wird die Fähigkeit, der Kraft des Kites in einer stabilen Fahrt entgegenzuwirken, ohne dass die Boardkante über die Wasseroberfläche rutscht, „Kante halten“ genannt.

4.3 Kitesurf-Manöver

Dieses Kapitel beschreibt jene Kitesurf-Manöver, die für das Verständnis des Studienaufbaus relevant sind. Komplexe Manöver, die bei der Studiendurchführung nicht verlangt wurden, werden ebenfalls nicht beschrieben.

4.3.1 Höhe halten und Höhe laufen

Bei den Ausdrücken „Höhe halten“ und „Höhe laufen“ ist mit dem Wort „Höhe“ die Höhe im Bezug zur Windrichtung gemeint. Der Begriff „Höhe halten“ bezeichnet, dass der oder die Kitesurfer*in am selben Ort zurückkommt, von dem er oder sie weggefahren ist. Während „Höhe laufen“ die Rückkehr im Luv der Ausgangsposition beschreibt, befördern sich Kitesurfer*innen ins Lee des Ausgangspunktes, wenn sie während der Sportausübung „Höhe verlieren.“

Um am effizientesten Distanz gegen die Windrichtung zurückzulegen, muss das Verhältnis zwischen Fahrgeschwindigkeit und dem Winkel am Wind stimmig sein. Bei schneller Fahrt wird starker Fahrtwind erzeugt, wodurch sich das Windfenster verschiebt und der Kurs nicht hart am Wind gefahren werden kann (Spreckels, 2007). Je stärker der oder die Kitesurfer*in gegen den Wind fährt, desto weniger Druck entsteht für die kitende Person. Daraus ergibt sich eine niedrigere Geschwindigkeit (Landell-Mills, 2021).

4.3.2 Wende versus Halse

Die Bezeichnung der wichtigsten Manöver und Vorfahrtsregeln im Kitesurfen wurde aus dem Segelsport übernommen. Im Segelstandardwerk Seemannschaft werden die Manöver Wende und Halse folgend beschrieben: Als Wende wird der Wechsel der Windseite gegen den Wind verstanden. Dabei dreht das Boot mit dem Bug durch den Wind, wodurch der Wind nach dem Manöver von der anderen Seite einfällt. Das Gegenstück zur Wende ist die Halse, bei der der Wechsel der Windseite vor dem Wind geschieht. Das Heck wird dabei durch den Wind gedreht (Gunkel, 2013).

Da Twin-Tip-Boards symmetrisch aufgebaut sind, kann nicht zwischen Bug und Heck unterschieden werden. Das Fahren ist bei bidirektionalen Brettern in beide Richtungen möglich, weshalb sich der oder die Kiter*in auch nicht zwingend drehen muss. Das Wort Wende und Halse wird beim Kitesurfen teilweise als Synonym für Richtungswechsel verwendet. So wird das gleiche Manöver im Buch Kiteboarding „Wende“ (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020) und im Buch Kitesurfen mit Kristin Boese „Trambahnhalse“ (Spreckels, 2007) bezeichnet. Um dennoch eine Definition zur Differenzierung beider Manöver mit einem Twin-Tip zu wagen, könnte die Halse durch ihre Charaktereigenschaft des deutlichen Höheverlusts und der aktiven Boardsteuerung von der Wende abgegrenzt werden. Bei direktionalen Boards und vor allem bei Foilboards kann im Gegensatz zu Twin-Tips deutlich zwischen Wendungen und Halsen unterschieden werden, da es beim Brett eine Nase (Bug) und ein Tail (Heck) gibt. Weil es eine definierte Fahrtrichtung gibt, muss das Brett beim Richtungswechsel zwingend mit dem Bug oder Heck durch den Wind gedreht werden.

Bei der „Carved Jibe“ – auch Gleithalse genannt – wird die Gleitfahrt beim Richtungswechsel nicht unterbrochen. Die Gleithalse kann in unterschiedlicher Ausführung durchgeführt werden. Es kann bereits vor dem Richtungswechsel in die Switch-Position gewechselt und im Anschluss die Halse ausgefahren werden (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020). Für die Switch-Position wird das Brett eine halbe Drehung zum Wind gedreht, ohne die Fahrtrichtung zu wechseln. Die Fußzehen kanten das Brett jetzt in das Wasser und die Oberkörpervorderseite ist zum Wind gedreht (Spreckels, 2007). Eine andere Durchführungsoption ist das vorzeitige Ausfahren der Halse in die Switch-Position von der aus dann, durch die Drehung des Bretts um 180 Grad, die normale Fahrposition eingenommen wird.

4.3.3 Springen

Grundsätzlich kann zwischen Sprüngen mit und Sprüngen ohne Kiteststeuerung unterscheiden werden, wobei bei Sprüngen mit Kiteststeuerung größere Höhen erreicht werden können. Für die durchgeführte Studie sind Sprünge mit Kiteststeuerung relevant. Bei einem Sprung mit aktiver Kiteststeuerung wird der Drache über oder sogar leicht in die gegengesetzte Fahrtrichtung der kitesurfenden Person gelenkt. Durch richtiges Timing und einem aktiven Absprung aus dem Wasser wird so viel vertikale Energie freigesetzt, dass eine Aufwärtsbewegung ausgelöst wird. Entscheidend für einen hohen Sprung ist die richtige Kitelenkung, die Qualität und das Timing des Kantendrucks (Spreckels, 2007). Je mehr Lift ein Kite beim Absprung nach oben generiert, desto höher wird der Sprung. Durch die hohen Geschwindigkeiten bei der Anfahrt entsteht mehr scheinbarer Wind, was zu einer stärkeren Kraftentwicklung des Kites führt (Kapitel 4.2.1). Je mehr Leinenspannung durch kräftiges Aufkanten entsteht, desto mehr Energie ist im Gesamtsystem und desto höhere Sprünge können durchgeführt werden.

4.4 Over- und Underpowered

Was die Begriffe Overpowered oder Underpowered in Bezug auf Kitesurfen genau bedeuten, ist schwer allgemein zu definieren. Der Online-Übersetzer Leo.org übersetzt den Begriff Overpowered auf das deutsche Wort „übermotorisiert“ (overpowered - LEO: Übersetzung im Englisch ⇔ Deutsch Wörterbuch, o. D.) und den Begriff underpowered auf „untermotorisiert“ (underpowered - LEO: Übersetzung im Englisch ⇔ Deutsch Wörterbuch, o. D.). In Bezug auf Kitesurfen könnte dies insofern übersetzt werden, dass der Drache und dessen Zugkraft unterbeziehungsweise überdimensioniert ist. In diversen Foren findet man Tipps, wie Kitesurfer*innen am besten undepowered oder overpowered fahren können, welche Risiken beim Overpowered-Kitesurfen bestehen und welche Tipps bei zu starken Windbedingungen

für eine sichere Sportausübung beachtet werden können. In diesen Foren findet man jedoch keine Informationen über die Definition der Begriffe Overpowered oder Underpowered.

In der Literatur wagt Gratwick (2015) eine Definition, die sich auf das Gleitverhalten des Kiteboards im Wasser bezieht. Gratwick unterscheidet wie in der Schifffahrt zwischen Verdrängungsfahrt und Gleitfahrt. Ein Frachtschiff oder eine große Fähre drückt das Wasser um ihre Rumpfform herum, wodurch eine gewisse Wassermenge verdrängt wird. Von einer Gleitfahrt spricht man, sobald die Geschwindigkeit des Bootes so hoch wird, dass dieses über das Wasser gleitet. Um die nötige Rumpfgeschwindigkeit für eine Gleitfahrt zu überschreiten, ist ein flacher Bootsrumpf erforderlich. Kiteboards sind sehr flach und haben wenig Auftrieb. Dementsprechend befinden sich Kitesurfer auf Twin-Tips nie in Verdrängungsfahrt. Theoretisch könnte argumentiert werden, dass leichte Personen auf großen Raceboards aufgrund des großen Volumens über längere Zeit einen Verdrängungsmodus beibehalten könnten. Diese Variante ist für die vorliegende Arbeit jedoch nicht relevant. Wenn Kitesurfer*innen aufgrund fehlender Kraft (zu wenig Wind oder zu kleiner Kite) nicht ins Gleiten kommen, bezeichnet Gratwick dies als underpowered. Overpowered wird also Zustand beschrieben, bei dem die Geschwindigkeit über Wasser durch zu starken Wind so groß wird, dass das Brett nicht mehr kontrollierbar ist (Gratwick, 2015).

Weitere Definitionen im Internet lassen sich auf folgende Parameter zusammenfassen:

Overpowered ist der Zustand, in dem der Kite zu viel Kraft entwickelt. Das kann von folgenden Faktoren abhängen: Zu starker Wind, zu großer Kite für die vorherrschenden Bedingungen oder ein zu großes Brett für die Wahl des Kites in Bezug auf Windgeschwindigkeit (Kiteboarding Terminology Dictionary / Glossary, o.D).

Underpowered ist der Zustand, in dem der Kite nicht genügend Leistung bringt. Das kann von folgenden Faktoren abhängen: Zu wenig Wind, zu kleiner Kite für den aktuellen Wind, zu kleines Kiteboard, eine Wasserströmung in der gleichen Richtung wie der Wind und viele mehr. Eine kitesurfende Person, die seinen oder ihren Kite kontinuierlich in Sinuskurven fliegt, hat in der Regel zu wenig Power und ist dadurch underpowered (Kiteboarding Terminology Dictionary / Glossary, o. D.).

5 Forschungsinteresse

Kitesurfen ist eine junge, schnellwachsende Sportart, die aktuell von ungefähr 1,5 Millionen Personen auf Binnenseen und in Küstenregionen betrieben wird. 2024 wird Kitesurfen erstmals in Form eines „Mixed-Kite“-Formats der Formula-Kite olympisch (Syré et al., 2020).

Syré (2020) berichtet von der Notwendigkeit, strukturierte und sichere Trainingsmodelle für diese Sportart zu entwickeln. Als Grundlage neuer Trainingsmodelle muss kitesurfspezifische physiologische Grundlagenforschung herangezogen werden. Über das physiologische Profil beim Kitesurfen ist derzeit noch wenig bekannt. Durch die durchgeführte Studie soll die Forschungslücke teilweise geschlossen werden, indem erstmals das physiologische Profil von Stark- und Schwachwindkiten verglichen wird. Neben dem Ziel der Schließung einer Forschungslücke, sollen die Ergebnisse der Studie als Grundlage für die Trainingsplanung von Stake-Holdern einfließen.

6 Fragestellung + Hypothesen

Aus dem beschriebenen Forschungsinteresse ergibt sich folgende Forschungsfrage:

„Gibt es einen signifikanten Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen beim Kitesurfen auf einem Binnensee?“.

Aus der Forschungsfrage ergeben sich folgende Hypothesen:

H0_1: Es gibt keinen signifikanten Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen.

H1_1: Es gibt einen signifikanten Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen.

7 Forschungsstand

Bis zum jetzigen Zeitpunkt gibt es wenig Forschung zum physiologischen Profil in der Sportart Kitesurfen. In Bezug zur Differenzierung von Stark- und Schwachwindbedingungen besteht eine Forschungslücke. In verwandten Sportarten gibt es wenige, teils schon veraltete, Forschungen über die körperlichen Belastungen in den Disziplinen Windsurfen und Segeln. Als Schönle & Riecket (1983) anhand eines Windsurfsimulators und am offenen Wasser während der Sportausübung die Herzfrequenz und den Laktatanteil im Blut maßen und bei 11 Amateuren bei einer Windstärke von 7 Beaufort eine maximale Herzfrequenz von 200 Schläge/min feststellten, wurde die Laktatkonzentration im Blut von 3.0 mmol/l nicht überschritten. Da Studien wie diese nicht den Energieverbrauch bei der Sportausübung untersuchen und aufgrund sportlicher Differenzen nicht auf die Sportart Kitesurfen geschlossen werden kann, sind diese als nicht relevant einzuordnen.

Vercruyssen et al. (2008) und Camps et al. (2011) publizierten die einzigen bekannten Studien zur physiologischen Beanspruchung beim Kitesurfen, weshalb diese auch als Grundlage für die durchgeführte Forschung zu verstehen sind. Um ein physiologisches Anforderungsprofil beim Kitesurfen in der Kategorie Racing zu erstellen, führten Vercruyssen et al. (2008) mit 10 Proband:innen einen 400 m Lauftest und eine 30-minütige Kitesurfausfahrt in Form eines „crossing-trials“ bei Leitwindbedingungen (12 – 15 kn) durch. Die Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) der Frequenz der Sportausübung wurde anhand der bei der Kitesurfausfahrt aufgezeichneten Herzfrequenz (HF) unter Verwendung der während des Lauftests ermittelten individuellen HF- $\dot{V}O_2$ -Beziehung geschätzt. Zusätzlich wurde die Laktatkonzentration im Blut in Ruhe und 3 min nach der Wassersportausübung gemessen. Die mittlere Herzfrequenz und die geschätzten $\dot{V}O_2$ -Werte entsprachen $80,6 \pm 7,5$ % der maximalen Herzfrequenz bzw. $69,8 \pm 11,7$ % der maximalen Sauerstoffaufnahme bei Geschwindigkeiten der sportausübenden Personen zwischen 15 und 17 kn. Am Ende der Kitesurf-Frequenz wurden niedrige Laktatwerte im Blut beobachtet ($2,1 \pm 1,2$ mmol/l). Die Studienergebnisse deuten darauf hin, dass der Energiebedarf bei Leichtwindbedingungen hauptsächlich durch den aeroben Stoffwechsel gedeckt wird (Vercruyssen et al., 2008).

Camps et al. (2011) untersuchten die physiologischen Anforderungen des Freestyle-Kitesurfens bei mittlerer Windgeschwindigkeit (15 – 22 kn). Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass der Energiebedarf sowohl durch den aeroben als auch den anaeroben Stoffwechsel aufrechterhalten wird. Um die physiologischen Anforderungen des Freestyle-Kitesurfens zu untersuchen, wählten Camps et al. (2011) einen ähnlichen Versuchsaufbau. Neben einem 7-minütigen Laufbandtest wurden für alle Proband:innen 3 7-minütige Freestyle-Abläufe unter Wettkampfbedingungen bei mittlerer Windstärke von 15 – 22 kn simuliert. Die

Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) der Freestyle-Kitesurfausfahrten wurde anhand der Herzfrequenz (HF) geschätzt, die während des Freestyle-Tests aufgezeichnet wurde, wofür das individuelle HF- $\dot{V}O_2$ -Verhältnis, das während des Lauftests ermittelt wurde, verwendet wurde. Die Laktatkonzentration im Blut wurde in Ruhe und 3 min nach Beendigung der Wassersportausübung gemessen. Um Wettkampfbedingungen zu simulieren, fungierten 3 erfahrene Kitesurfer als Kampfrichter. Neben einem linearen Zusammenhang zwischen der Punkteanzahl der bewerteten Tricks und der Herzfrequenz sowie der Sauerstoffaufnahme der Athlet:innen während ihrer simulierten Wettkampffrequenzen der Sportausübung, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Energiebedarf beim Freestyle-Kitesurfen unter Wettkampfbedingungen sowohl durch den aeroben als auch den anaeroben Stoffwechsel gedeckt wird. Die mittlere Herzfrequenz und geschätzten $\dot{V}O_2$ -Werte betragen jeweils $85,4 \pm 3$ % der maximalen Herzfrequenz und $80 \pm 4,5$ % der maximalen Sauerstoffaufnahme. Die mittleren Laktat Werte betragen $5,2 \pm 0,8$ mmol/l.

Da die Studien von Vercruyssen et al. (2008) und Camps et al. (2011) mit Kitesurfequipment aus den Jahren 2011, 2008 und früher stattgefunden haben und sich die Studien ausschließlich auf das Zurücklegen einer Strecke bei rennähnlichen Zuständen unter Leichtwindbedingungen (Vercruyssen et al., 2008) beziehungsweise auf die Disziplin Freestyle bei mittlerer Windgeschwindigkeit (Camps et al., 2011) beziehen, tragen die durch die vorliegende Masterarbeit entstandenen Erkenntnisse zur Schließung der Forschungslücke bei.

8 Methodik

8.1 Studiendesign

Von insgesamt 52 aufgezeichneten Feldtest Messungen von 18 Proband*innen sind insgesamt 18 Aufzeichnungen von neun Proband*innen in die Auswertung eingeflossen. An diesen 9 Proband*innen, von denen es plausible Datensätze von sowohl einer Overpowered- und einer Underpowered-Messung gab, wurden in weiterer Folge eine spirometrische Testung zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme durchgeführt.

Pro Proband*in wurden demnach in Summe 3 Erhebungszeitpunkte benötigt:

- 1. Test: Stufentest zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme im Labor.
- 2. und 3. Test: Feldtest auf einem Binnensee unter (1) Overpowered- und (2) Underpowered-Bedingungen.

Es hat eine Gruppe an dieser Studie teilgenommen. Eine Kontrollgruppe ist aufgrund des Studiendesigns nicht notwendig.

Anhand der Herzfrequenzdaten, die während des Kitesurfens unter Overpowered- und Underpowered-Bedingungen erhoben wurden, wurde auf den Energieumsatz und somit auf das physiologische Anforderungsprofil geschlossen. Ainslie et al. (2003) beschrieben, dass bei körperlicher Aktivität ein enger Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Energieumsatz besteht, wodurch von der gemessenen Herzfrequenz in etwa auf den Energieumsatz geschlossen werden kann. Um unterschiedliche körperliche Voraussetzungen zu berücksichtigen, muss für jedes Individuum eine Kalibrierungskurve, auf der Grundlage zeitgleicher Messungen der Herzfrequenz und $\dot{V}O_2$, unter Verwendung indirekter Kalorimetrie erstellt werden.

Für die vorliegende Studie wurde mit allen Teilnehmer*innen im Labor des Leistungssport Austria in Brunn am Gebirge ein stufenförmiger Lauftest (Laufband: saturn, h/p/cosmos, Traunstein, Bayern) bis zur Ausbelastung durchgeführt, bei dem die Atemgase mittels eines mobilen Spirometriegerätes gemessen wurden (MetaMax 3B-R2, Cortex Medical GmbH, Leipzig, Deutschland) und die Herzfrequenz mittels Herzfrequenz-Sensor (Polar H10, Polar, Finnland) und Sportuhr (Polar Pacer, Polar, Finnland) gemessen wurden. Durch das Verhältnis zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme wurde dann ein physiologisches Profil für die einzelnen Kitesurfer*innen ermittelt.

Da Kitesurfen eine Ganzkörperbelastung ist, wurde die Spirometrie als Lauffests anstelle eines Fahrradergometers durchgeführt, weil die sportspezifische Belastung wichtig für die Vergleichbarkeit der Daten ist (Friedmann-Bette, 2011).

Um die Daten des Feldtests mit den Labordaten vergleichen zu können, wurde auf eine zeitnahe Durchführung aller Erhebungen geachtet, damit sich die physiologischen Voraussetzungen der Proband*innen zwischen dem Feldtest und dem Lauffest nicht maßgeblich verändern. Für die Untersuchung von Overpowered- und Underpowered-Kitesurfen musste zuerst ein guter Windzeitraum abgewartet werden. Nach der Durchführung der Feldtests am 10. und 11.9.2022 wurden alle Spirometrien innerhalb kürzester Zeit nach dem Feldtest durchgeführt.

8.2 Feldtest

Der Feldtest fand in Podersdorf, Österreich, auf der Höhe des Segelclubs Podersdorf Nord (Süd-Süd-Strand) statt. Dabei wurden je nach Windbedingungen unterschiedlich große Kites verwendet. Die Größe der Kites wurde vom Versuchsleiter Matthias Schweighardt bestimmt. Dieser hat aufgrund langjähriger Erfahrung in der Sportart Kitesurfen die entsprechende Expertise, diese sicher und sinnvoll im Bezug zum Körpergewicht der Teilnehmer*innen auszuwählen. Die Feldtestungen fand unter unterschiedlichen Windbedingungen statt (Kapitel 8.3.1). Die vorherrschenden Windbedingungen konnten als optimale und Leichtwindbedingungen für Kitesurfen eingestuft werden. Nur in kurzen Zeitfenstern konnte die Wetterlage (in den Böen bis 28 kn) als Starkwind bezeichnet werden, wodurch für einen Großteil der Feldtests 12 m²-Kites verwendet wurden, die nicht typisch für Starkwindbedingungen sind. Stark- und Schwachwindbedingungen wurden unter anderem mit Unterschieden in der Schirmgröße simuliert (overpowern mit großen Schirmen beziehungsweise underpowern mit kleinen Schirmen). Beim Feldtest wurde eine vom Versuchsleiter entworfenes Manöverabfolge vorgegeben, das beim Re-Test unter den anderen Windbedingungen wiederholt wurde.

Die Frequenz der Sportausübung bestand aus intensiven Manövern der Freeride und Big-Air-Disziplin, die aufgrund ihrer Zusammensetzung einen Wettkampf simulieren. Um mehr Erkenntnisse aus den erhobenen Daten ableiten zu können, wurden die Manöver in 3 Gruppen zusammengefasst, die nacheinander getrennt absolviert werden mussten. Die vorgegebene Manöverabfolge dauerte 11 min. Ein regulärer Durchgang bei Big-Air-Wettbewerben dauert zwischen zehn und 15 min.

Etwa 200 m vom Strand entfernt wurde eine Boje ausgebracht, die den Wendepunkt für die erste Phase der Manöverabfolge markierte (Abb. 9). Die Frequenz der Sportausübung setzte sich aus folgenden Manövern zusammen:

1. Halsen. Alle Proband*innen mussten im Lee der Boje vorbeifahren und um diese in Form einer Carved Jibe (Kapitel 4.3.2) halsen. Die Halse sollte möglichst zeitnah auf der anderen Seite gespiegelt werden. Die Proband*innen mussten innerhalb von 4 min die maximale Anzahl an Carved Jibes (Kapitel 4.3.2) durchführen. Während der 4 min durften die Proband*innen keine Höhe im Vergleich zum Startpunkt, markiert durch eine Boje, verlieren (4 min).
2. Aufkreuzen. Die Proband*innen mussten innerhalb von 7 min möglichst viele Meter entgegen der Windrichtung zurücklegen (5 min).
3. Springen. Die Proband*innen mussten innerhalb von 2 min so viele Sprünge wie möglich durchführen. Die Sprünge mussten mit aktiver Kitelenkung durchgeführt werden, während das Erreichen der maximalen Höhe das primäre Ziel der Sprünge war. Auf technisch anspruchsvolle Tricks, bei denen der Verlust des Kiteboards wahrscheinlich ist (zum Beispiel Board-Offs), wurde verzichtet, um längere Unterbrechungen durch die Wiederbeschaffung des Boards zu vermeiden (2 min).



Abbildung 9: GPS-Aufzeichnung eines Probanden bei der Absolvierung der Frequenz der Sportausübung – Trial.

8.3 Definition und Einheiten der Messgrößen

Bei jeder Messung wurden folgende für die Studie wichtige Daten erhoben: Herzfrequenz (Schläge/min), Windgeschwindigkeit (kn), Subjektives Over- und Underpowered-Gefühl (1-10), Grad der empfundenen Anstrengung (RPE) (1-10), Kitegröße (m²).

8.3.1 Windgeschwindigkeit (kn)

Die Maßeinheit für Windgeschwindigkeit ist Knoten (kn). 1 kn = 1 Seemeile pro Stunde = 1,852 km/h = 0,514 m/s (Verband Deutscher Wassersport-Schulen, 2020). Die Windgeschwindigkeit wurde über die Wetterstation des Segelclubs Podersdorf Nord (SCPN) gemessen. Das Anemometer (Windgeschwindigkeitsmesser) befindet sich in einer Höhe von etwa 7 m, 15 m von der Wasserlinie entfernt, wodurch davon ausgegangen werden kann, dass die Messwerte der tatsächlichen Windgeschwindigkeit am Wasser entsprechen. Neben der Windgeschwindigkeit (kn) wurden in der Frequenz von 60 s auch weitere Faktoren gemessen: Uhrzeit, Windrichtung, Windböen (kn), Temperatur (°C) und Windchill (°C). Die Messwerte wurden über die Website des SCPN³ (<https://scpn.at/wetterstation/>) heruntergeladen.

8.3.2 Subjektives Over- Underpowered-Gefühl (1-10)

Wie bereits in Kapitel 4.4 dargestellt, können die Begriffe „Over- und Underpowered“ in Bezug auf Kitesurfen nicht klar definiert werden. In der Praxis sind diese Begriffe in einem Spektrum einzuordnen, das die gefühlte Zugkraft des Kites in Bezug auf die sportausübende Person definiert. Während Gratwick (2015) den Begriff „underpowered“ als Zustand definierte, bei dem ein Kitesurfer nicht ins Gleiten kommt, ist diese Einordnung in dieser Studie nicht sinnvoll. Da diese Studie den Energieumsatz beim Kitesurfen unter Stark- und Schwachwindbedingungen beziehungsweise Over- und Underpowered-Bedingungen untersucht, musste die Studie in einem Windbereich stattfinden, indem Kitesurfen (im Sinne einer Gleitfahrt) möglich ist. Das subjektive Over- beziehungsweise Underpowered-Gefühl wird auf eine Skala von 1 bis 10 übertragen. 1 bedeutet bei dieser Skala, dass Höhe halten gerade möglich ist, während 10 bedeutet, dass das Halten der Boardkante nicht mehr möglich ist. 5,5 spiegelt die perfekte Kraftentwicklung des Kites für eine Person zur Sportausübung wider. Die Skala erstreckt sich damit auf den Bereich, in dem Kitesurfen möglich ist. Abhängig von der Erfahrung, der Fähigkeit und dem Gewicht der Proband*innen ist der Bereich in Bezug auf die Windstärke unterschiedlich groß. Aus diesem Grund ist die Angabe des Over- beziehungsweise Underpowered-Gefühls bei jeder Person unterschiedlich und damit subjektiv. Werte von 1 bis

5 wurden bei der Studiauswertung der Kategorie „underpowered“ zugeordnet, während Werte von 6 bis 10 der Kategorie „overpowered“ zugeordnet wurden.

8.3.3 Grad der empfundenen Anstrengung (RPE)

Der Grad der empfundenen Anstrengung oder das subjektives Belastungsgefühl wurde ebenfalls auf eine Skala von 1-10 übertragen. 1 bedeutet in dieser Skala, dass kaum Anstrengung empfunden wird (hier könnte gehen in Schrittempo zugeordnet werden) während 10 völlige Erschöpfung bedeutet.

8.3.4 Kitegröße (m²)

Dadurch, dass für die Studie ausschließlich Kites der Marke Naish mit einem ähnlichen Profil verwendet wurden, kann aus der Kitegröße gut die resultierende Kraft abgeleitet werden. Für die Studie wurden Kites in den Größen 9, 10 und 12 Quadratmeter (m²) geflogen.

8.4 Rahmenbedingungen der Durchführung

8.4.1 Material

Für die Proband*innen standen Bow Kites der Marke Naish zwischen 7 und 12 m² zur Verfügung. Alle Proband*innen konnten vor jeder Messung die Zusammensetzung ihres Equipments aus dem von der Kiteschule Kitesurfing.at zur Verfügung gestellten Material wählen. Das Kitesurfmaterial wurde so gewählt, dass die Frequenz der Sportausübung unter Angesicht der vorherrschenden Windgeschwindigkeit pro Person einmal overpowered und einmal underpowered durchgeführt werden konnte.

Folgendes Material stand durch die Kitesurfschule Kitesurfing.at zur Verfügung:

Kites:

- 3x S25 Naish Pivot 12m²
- 1x S26 Naish Pivot 12m²
- 2x S26 Naish Triad 12m²
- 1x S26 Naish Pivot 10m²
- 1x S25 Naish Pivot 9m²
- 1x S25 Naish Triad 9m²
- 1x S25 Naish Pivot 8 m²
- 1x S26 Naish Pivot 8 m²
- 1x S25 Naish Pivot 7 m²

Bars:

- 4x S26 Naish Torque2 Bar
- 3x S25 Naish Torque Bar

Boards:

- 1x S26 Naish Drive 134cm
- 1x S25 Naish Drive 138cm
- 1x S25 Naish Traverse 144cm
- 1x S25 Naish Alana 132cm
- 1x S25 Naish Alana 136cm
- 1x S25 Naish Motion 138cm

8.4.2 Topographische Begebenheiten und Windgeschwindigkeit

Wassertiefe des Gewässers: Die mittlere Wassertiefe des Neusiedlersees beträgt 1,1 m und schwankt vor allem im Sommer aufgrund der hohen Verdunstungsrate (Neusiedler See – Seewinkel, o.D.). Aufgrund der topographischen Begebenheiten des Forschungsstandortes in Küstennähe und dem sinkenden Wasserspiegel des Neusiedlersees ist von einer niedrigeren Wassertiefe im Bereich der durchgeführten Testungen auszugehen.

Wellenbild des Gewässers: Aufgrund der seichten Wassertiefe sind die Wellen recht steil und der Abstand zwischen den Wellen ist gering. Das Wellenbild, in dem die Frequenz der Sportausübung durchgeführt wurde, kann als Kappelwasser bezeichnet werden.

Vorherrschender Wind

An beiden Forschungstagen herrschte Westwind, wobei eine Schwankung zwischen NW und WSW aufgezeichnet wurde. Die durchschnittliche Grundwindgeschwindigkeit am 10.9.2022 betrug im Zeitraum des Feldtests 14,5 kn und am 11.9.2022 15,8 kn. Die maximale Windgeschwindigkeit in Böen betrug im Zeitraum der Datenerhebung am 10.9.2022 24 kn und am 11.9.2022 28 kn. Bei der Absolvierung der Manöverabfolge mit der geringsten Windgeschwindigkeit wurden 13,2 kn Grundwind (14,2 kn Mittelwert mit Böen) und bei der Absolvierung mit der höchsten durchschnittlichen Windgeschwindigkeit 19 kn Grundwind (20,7 kn Mittelwert mit Böen) gemessen. Dadurch, dass sich bei Westwind keine Hindernisse (wie zum Beispiel Bäume) zwischen der Wasserlinie und der Messtation befinden (Abb. 9), kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Daten die aktuelle Windgeschwindigkeit widerspiegeln. Die Messwerte des Anemometers können vom tatsächlichen Wind bei der sportausübenden Person aufgrund der räumlichen Distanz zur Messtation abweichen.

8.5 Datenerhebung

Teilnehmende Proband*innen waren eigenständig für die Aufzeichnung der Herzfrequenz über die Uhr Polar Pacer mit einem externen Herzfrequenzsensor (Polar H10, Polar, Finnland) verantwortlich. Im Vorfeld wurde die Verbindung zwischen der Uhr und dem Herzfrequenzsensor vom Versuchsleiter hergestellt sowie der Brustgurt korrekt angelegt. Alle Proband*innen wurden ausreichend in die korrekte Bedienung der Polar Pacer Sportuhr eingeführt. Den Zeitpunkt des Wechsels der Phasen in der Manöverabfolge (Halsen: 4 min, Höhe laufen: 5 min; Springen 2 min) wurde von den Proband*innen selbst kontrolliert. Unmittelbar nach der Absolvierung sind die Teilnehmer*innen angelandet, haben die Messinstrumente dem Versuchsleiter übergeben und wurden von diesem zu relevanten Faktoren befragt.

Folgende Faktoren wurden vom Versuchsleiter abgefragt und in einer Excel-Tabelle festgehalten: Uhrzeit des Aufzeichnungsstarts, um die Aufzeichnung nachträglich zuordnen zu können; die benutzte Kitegröße in m²; das subjektive Belastungsgefühl (1 – 10) und das subjektive Over- beziehungsweise Underpowered-Gefühl (1 – 10). Die Windgeschwindigkeit wurde im Nachhinein über die Messtation des SCPN ausgelesen.

Insgesamt wurden 8 Pulsuhren verwendet. Diese wurden beschriftet, damit die Aufzeichnungen den Proband*innen zugeordnet werden konnten, auch wenn diese zeitgleich mit dem der Frequenz der Sportausübung begannen.

Austausch des Messinstruments: Zur Messung der Herzfrequenz wurde vom Herzfrequenzsensor (Polar H10, Polar, Finnland) auf die Polar Pacer interne optische Pulsmessung (Polar Precision Prime™ Sensor-Fusionstechnologie), welche den Puls am Handgelenk misst, gewechselt. Während am 10.9.2022 ausschließlich mit dem Herzfrequenzsensor Polar H10 über einen Brustgurt gemessen wurde, wurde die Messmethode nach einer kurzen Testphase auf die optische Pulsmessung am Handgelenk umgestellt. Diese Umstellung erfolgte, weil bei der ersten Datenauswertung vom 10.9.2022 nur 4 von 25 Aufzeichnungen keine Messartefakte beinhaltete. Somit waren 21 Aufzeichnungen vom 10.9.2022 von starken Messartefakten geprägt und wiesen teilweise unrealistisch niedrige Herzfrequenzen auf, wodurch sie nicht für die Studie verwendet werden konnten. Grund für die misslungenen Messungen dürfte der Pulsgurt in Verbindung mit der Verwendung eines Hüfttrapezes und eventuell auch eines Neoprenanzugs sein. Bei der Sportausübung bildet das Trapez bei leicht nach vorne gebeugten Oberkörper Hautfalten auf Rippenhöhe. Durch diese Hautfalten kann die Herzfrequenz nicht ordnungsgemäß vom Herzfrequenzsensor gemessen werden. Außerdem könnte es aufgrund des nassen

Neoprenanzugs zu Verbindungsfehlern zwischen der Polar Pacer und dem Herzfrequenzsensor (Polar H10, Polar, Finnland) gekommen sein.

In einer Testphase, in der ein Proband am Land und während dem Kitesurfen seine Herzfrequenz sowohl mit dem Herzfrequenzsensor (Polar H10, Polar, Finnland) per Brustgurt als auch mit einer zweiten Polar Pacer über das Handgelenk gemessen hatte, wurden kaum Unterschiede der durchschnittlichen Herzfrequenz festgestellt. Bei den Messungen über das Handgelenk wurden im Schnitt 1 bis 2 Schläge pro min mehr gemessen als über den Herzfrequenzsensor am Brustgurt. Zum Vergleich wurden nur Messungen ohne starke Artefakte herangezogen. Die restlichen Testungen am 11.9.2022 wurden mittels Messung am Handgelenk durchgeführt. Es sind ausschließlich Datensätze in die Auswertung eingeflossen, bei denen beide Aufzeichnungen der Feldtestung entweder nur mit dem Herzfrequenzsensor (Polar H10, Polar, Finnland) oder nur über das Handgelenk mit Hilfe der optischen Pulsmessung der Polar Pacer getätigt wurden, um die Daten vergleichen zu können.

8.6 Labortest

Der Labortest erfolgte als spirometrische Testung zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme. Beim stufenförmigen Lauftest wurde die Geschwindigkeit alle 3 min um 2 km/h erhöht. Die Belastungsphase startete mit 6 km/h Geschwindigkeit. Der Belastungsphase ging eine Erwärmungsphase von 2 min mit 5 km/h voraus.

Im Zuge der Spirometrie wurden folgende Daten erhoben: $V'E$ (L/min); $V'O_2$ (ml/min); $V'CO_2$ (ml/min); $V'O_2/kg$ (ml/min/kg); RER; $V'E/V'O_2$; $V'E/V'CO_2$; $PetCO_2$ (mmHg); $PetO_2$ (mmHg); HF (/min); AF (/min). Für die Auswertung waren $V'O_2/kg$ (ml/min), $V'CO_2/kg$ (ml/min) und HF von Bedeutung. Eine Erklärung der wichtigsten spirometrischen Messgrößen befindet sich in Kapitel 3.1.4. Der Output beinhaltet Daten der Messgrößen alle 30 s und wurde als Excel-Datei weiterverarbeitet.

Bei der Durchführung der spirometrischen Testungen wurden die methodischen Aspekte zur Erzielung guter Datenqualität von Scharhag-Rosenberger (2010) eingehalten. Zu den von Scharhag-Rosenberger (2010) definierten Aspekten gehören folgende:

- Je nach Modell sollte ein Spirometriegerät ungefähr 30 min warmlaufen.
- Der Raum sollte vor der Kalibration und Messung gelüftet werden. Dieser Punkt ist nur relevant, wenn Umgebungsluft für die Spirometrie verwendet wird.
- Die Maske muss dicht sitzen. Bei zugehaltener Öffnung darf beim Ein- oder Ausatmen keine Luft entweichen.

- Testpersonen sollten während der Testung nicht sprechen.
- Die Sauerstoffaufnahme ($V'O_2$), die Ventilation (VE) und der RER) sollten sowohl vor Belastungsbeginn und während der Belastung auf Plausibilität überprüft werden.

8.7 Stichprobe

Die Stichprobe wurde aus persönlichen Kontakten des Versuchsleiters zusammengestellt. Von ursprünglich 18 Proband*innen konnten aufgrund von Messfehlern nur 9 vollständige Datensätze in die Auswertung der Studie einfließen. Die Stichprobe setzt sich aus 8 männlichen und 1 weiblichen Person zusammen. Die Proband*innen waren zum Zeitpunkt aller Messungen zwischen 25 und 36 Jahre alt ($M = 29,1 \pm 3,3$). Die Kitesurferfahrung beträgt zum Zeitpunkt der Messung zwischen 3 und 15 Jahre ($M = 8,6 \pm 4,1$) bei einer durchschnittlichen Anzahl von 5 bis 45 Kitetagen pro Saison ($M = 14,8 \pm 6,2$). Die Tage der allgemeinen Sportausübung belaufen sich in der Stichprobe auf zwei bis 30 Tage im Monat ($M = 13,8 \pm 7,8$).

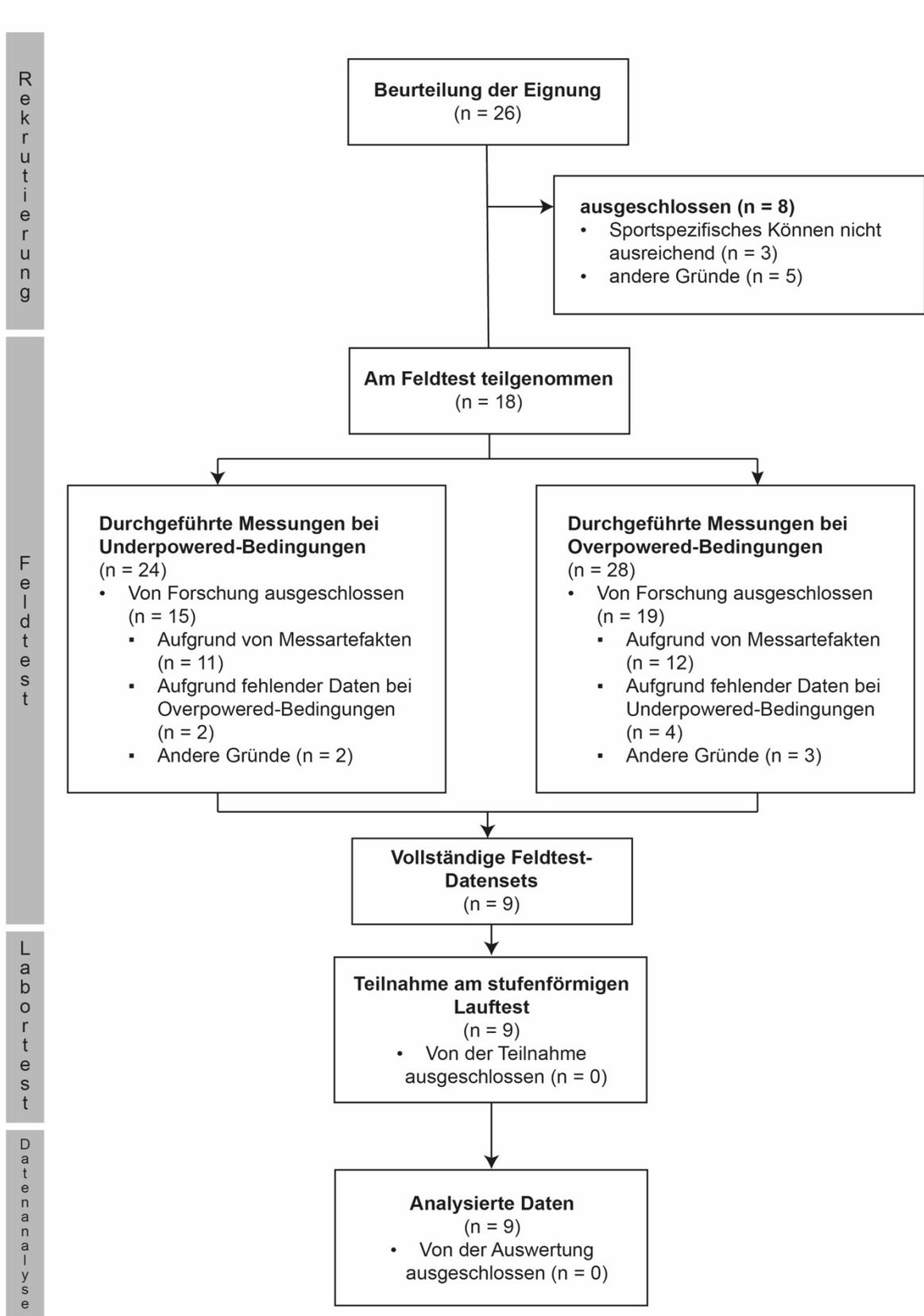


Abbildung 10: Consort-Flussdiagramm der Stichprobe.

9 Auswertung

Die Auswertung der erhobenen Daten fand mittels Excel und SPSS statt. Während die Werte der Spirometrie mit Hilfe von Excel zur Berechnung des Energieumsatzes beim Kitesurfen verarbeitet wurden, wurden die statistischen Analysen und Berechnungen zur Beantwortung der Forschungsfragen mittels SPSS durchgeführt.

9.1 Datenaufbereitung

Folgende Messwerte wurden in Excel zur Datenaufbereitung benutzt: Phase (Laufbandgeschwindigkeit während des Stufentests), $V'O_2$ (ml/min), $V'CO_2$ (ml/min), HF (/min). Aus den vorliegenden Messgrößen wurde für jeden Messzeitpunkt (30 s Mittelwerte) die EE (J/s), die mittlere HF pro Belastungsstufe und ein mittlerer EE-Wert aus der letzten min pro Belastungsstufe berechnet. Es wurde die mittlere Herzfrequenz pro Belastungsstufe berechnet, da beim stufenförmigen Belastungsanstieg die HF verzögert ansteigt. Der EE-Wert wurde als Mittelwert aus der letzten von insgesamt 3 min pro Belastungsstufe berechnet, da sich der Wert erst nach längerer Belastung einpendelt.

9.1.1 Berechnung des Energieumsatzes

Wie bereits in Kapitel 3.1.6 erwähnt, gibt es mehrere publizierte Gleichungen zur Berechnung der EE anhand des Gasaustauschs. Innerhalb einer Studie ist die Auswahl der verwendeten Gleichung irrelevant, während sie beim Vergleich zwischen verschiedenen Studien von großer Bedeutung ist (Kipp et al., 2018). Kipp et al. (2018) empfehlen Wissenschaftler*innen die Gleichung von Péronnet und Massicotte aus dem Jahr 1991 zu verwenden, weil sie die aus der Glukose- und Fettoxidation stammende Energie auf der Grundlage, der zu ihrer Zeit verfügbaren neuesten chemischen und physikalischen Daten, berücksichtigt.

Aus dem genannten Grund wurde für die Auswertung dieser Studie die EE anhand der Berechnungsmethode von Péronnet und Massicotte ermittelt.

$$EE \text{ (J/s)} = 281,67 V'O_2 + 80,65 V'CO_2$$

Nach der Berechnung der EE für jeden Wert wurde die EE pro Stufe aus dem Stufentest bestimmt. Dafür wurde der Mittelwert der jeweils letzten min pro Stufe verwendet.

9.1.2 Bestimmung der EE der Overpowered und Underpowered Kitesurf-Durchgänge

Zur Berechnung der EE der Overpowered und Underpowered Kitesurf-Testungen wurden die errechneten Laborwerte mithilfe der im Labor gemessenen Herzfrequenz auf die

durchschnittliche Herzfrequenz der gemessenen Kitesurf-Durchgänge übertragen. Dafür wurde eine einfache lineare Regression aus der Herzfrequenz (Schläge/min) pro Stufe und der EE (J/s) aus jeder Stufe errechnet. Die lineare Regression wurde aus den Stufen der Belastungsphase errechnet. Die Phase der Erwärmung ist nicht Teil der einfachen linearen Regression. Die lineare Beziehung zwischen dem errechneten Energieumsatz (J/s) und der Herzfrequenz, während des stufenförmigen Lauftests, wurde bei allen neun Proband*innen festgestellt.

Der Energieumsatz während des Feldtests wurde daraufhin aus der Herzfrequenz mithilfe der linearen Regression des Labortests von derselben Testperson berechnet.

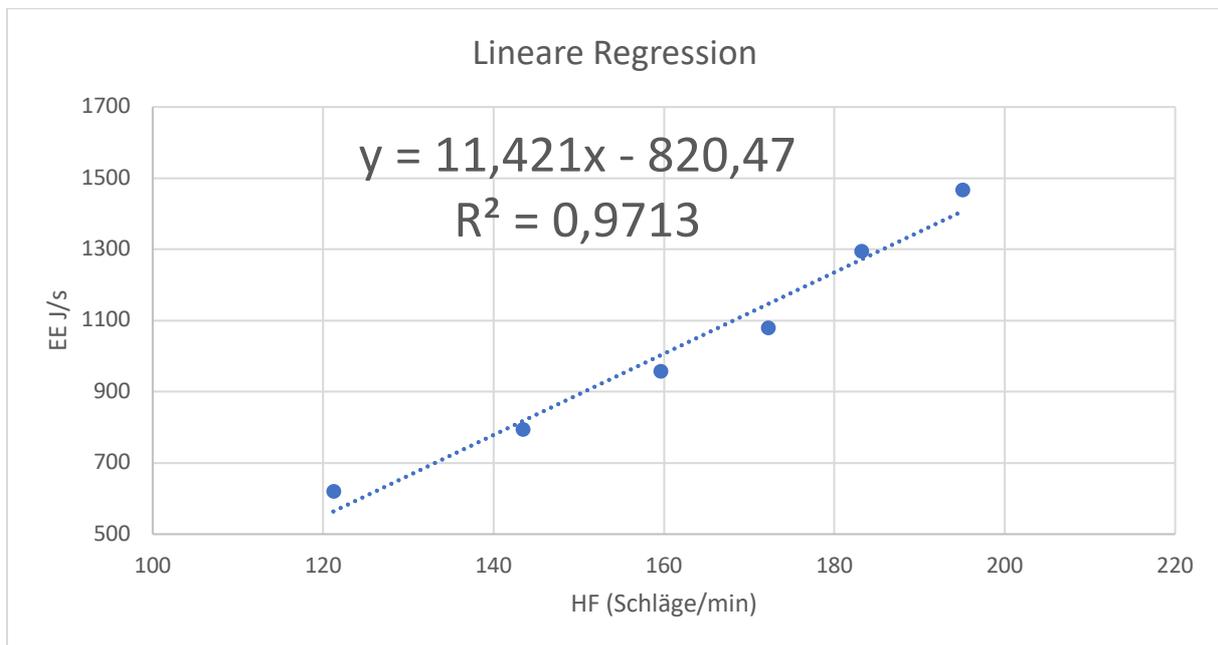


Abbildung 11: Abbildung einer linearen Regression aus Herzfrequenz (Schläge/min) und EE (J/s) eines Stufentests im Zuge der durchgeführten Forschung.

9.2 Statistische Auswertung

Zu Beginn der statistischen Auswertung wurden die Variablen auf Normalverteilung untersucht. Ein Test auf Normalverteilung ist erforderlich, um das statistische Verfahren für die Auswertung bestimmen zu können. Eine Normalverteilung ist Grundvoraussetzung für parametrische Tests. Es wurde der Shapiro-Wilk-Test durchgeführt, um die Normalverteilung zu bestimmen. Wenn beim Shapiro-Wilk-Test ein Ergebnis signifikant ist, wird die Annahme, dass die variable normalverteilt ist, verworfen. Ein Ergebnis wird als signifikant eingestuft, wenn der Wert unter 0,05 liegt. Aufgrund normalverteilter Daten zweier abhängiger Stichproben wurde ein T-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt, um Unterschiede in der EE (J/s) zwischen den Underpowered- und Overpowered-Kitesurftrials zu bestimmen. Die Effektgröße wurde mit Cohen's d berechnet. Die durch Cohen's d errechnete Effektgröße ist

folgender Maßen einzuschätzen: 0 - 0,2: Kein/sehr geringer Effekt; 0,2 - 0,5 = geringer Effekt; 0,5 - 0,8 = mittlerer Effekt; 0,8 und darüber = starker Effekt).

Alle statistischen Verfahren wurden mit dem Softwarepaket SPSS Statistics 28 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA) durchgeführt. Das Alpha-Niveau der Signifikanz wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt. Die weiteren Ergebnisse zum Zusammenhang von RPE und subjektives Overpowered- beziehungsweise Underpowered-Gefühl wurden als Pearson-Korrelation gerechnet, während der Vergleich der tatsächlichen Windstärken bei subjektiven Over- und Underpowered-Gefühl mit einem T-Test für gepaarte Stichproben berechnet wurden.

10 Deskriptive Statistik

Die Daten von 18 Proband*innen beim Feldtest wurden auf Messungenauigkeiten untersucht. Aufgrund zahlreicher Artefakte durch die Verwendung des Brustgurtes (Kapitel 8.68.5) wurde die Stichprobe auf 9 Proband:innen reduziert.

Die mittleren Herzfrequenzen der Sportausübung bei Underpowered- und Overpowered-Bedingungen liegt mit 128 ± 17 Schläge/min und 126 ± 19 Schläge/min nahe beieinander. Obwohl die maximale Herzfrequenz bei Overpowered-Bedingungen höher als bei Underpowered-Bedingungen ist, ist die mittlere Herzfrequenz beim Mittelwert aller Proband:innen bei Underpowered-Bedingungen höher.

Tabelle 1: Herzfrequenz bei Under- und Overpowered-Bedingungen

	N	Minimum HF (Schläge/min)	Maximum HF (Schläge/min)	Mittelwert HF (Schläge/min)	Std. -Abweichung HF (Schläge/min)
Underpowered	9	106	155	128,5	17,1
Overpowered	9	97	167	126,2	19,5

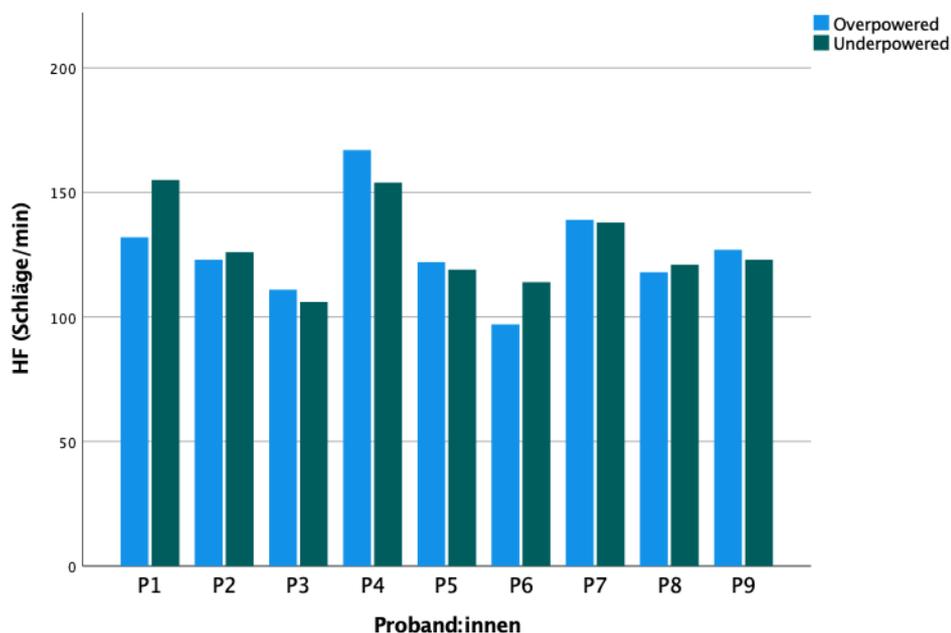


Abbildung 12: Darstellung der durchschnittlichen Herzfrequenzen der Overpowered- und Underpowered-Bewegungsfrequenzen der Proband:innen.

Pro Laufstufe kann ein kontinuierlicher Anstieg des mittleren Energieverbrauchs der Proband:innen abgelesen werden. Alle Proband:innen haben Stufe 4 (12 km/h) bewältigt. Während 6 Proband:innen Stufe 6 (16 km/h) erfolgreich abgeschlossen haben, hat ein Proband Stufe 7 (18 km/h) beendet.

Tabelle 2: EE pro Laufstufe während des Labortests

	N	Minimum (EE in J/s)	Maximum (EE in J/s)	Mittelwert (EE in J/s)	Std. - Abweichung (EE in J/s)
Stufe 1 (6km/h)	9	487,4	874,2	683,81	107,82
Stufe 2 (8km/h)	9	596,9	1140,4	874,46	150,78
Stufe 3 (10km/h)	9	742,6	1313,3	1037,04	183,06
Stufe 4 (12km/h)	9	919,9	1443,0	1199,90	159,51
Stufe 5 (14km/h)	6	1271,9	1522,0	1358,40	93,89
Stufe 6 (16km/h)	6	1417,0	1666,3	1525,72	100,72
Stufe 7 (18km/h)	1	1709,8	1709,8	1709,8	.

Der aus den Werten des Lauftests und der durchschnittlichen Herzfrequenz der Kitesurfausfahrten errechnete Energieumsatz (J/s) der Frequenz der Wassersportausübung liegt bei den teilnehmenden Proband*innen teilweise weit auseinander. In der Kategorie Overpowered betrug die EE minimal 135 J/s und maximal 1102 J/s mit einem Mittelwert von $561 \pm 369,58$ J/s. In der Kategorie Underpowered betrug die EE minimal 106 J/s und maximal 1344 J/s mit einem Mittelwert von $671,31 \pm 406,71$ J/s.

Tabelle 3: Errechnete EE aus Under- und Overpowered-Bedingungen.

	N	Minimum (EE in J/s)	Maximum (EE in J/s)	Mittelwert (EE in J/s)	Std. - Abweichung (EE in J/s)
Underpowered Bedingungen	9	106	1344	671,31	406,71
Overpowered Bedingungen	9	135	1102	651,54	369,59

11 Ergebnisse

11.1 Vergleich vom Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen

11.1.1 Test auf Normalverteilung

Tabelle 4 illustriert die Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung der Variablen. Durch die Ergebnisse des Shapiro Wilk-Tests ($p = 0,210$ und $p = 0,896$) kann von einer Normalverteilung beider Variablen ausgegangen werden.

Tabelle 4: Shpiro Wilk-Test auf Normalverteilung (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen)

	Statistik	df	Signifikanz
Overpowered (EE in J/s)	0,892	9	0,210
Underpowered (EE in J/s)	0,970	9	0,896

11.1.2 T-Test verbundener Stichproben

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse des T-Tests mit verbundenen Stichproben abgebildet. Es konnte kein signifikantes Ergebnis nachgewiesen werden ($t = -0,480$; $p = 0,644$, $d = 0,160$).

Tabelle 5: T-Test unabhängiger Stichproben (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen)

	Mittelwert	T	Sig. (2-Seitig)
Overpowered (EE in J/s) – Underpowered (EE in J/s)	-19,77 ± 123,63	-0,480	0,644

Tabelle 6: Effektgröße Cohen's D. (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen)

	Standardisierer ^a	Punktschätzung	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Overpowered (EE in J/s) – Underpowered (EE in J/s)	123,634	-0,160	-0,813	0,503

Aufgrund des vorliegenden Ergebnisses wird die H_0 beibehalten. Es besteht somit kein signifikanter Unterschied im Energieumsatz zwischen Stark- und Schwachwindbedingungen.

Die durch Cohen`s d errechnete Effektstärke von ($d = 0,16$) würde bei einem signifikanten Ergebnis von keinem beziehungsweise einem sehr geringen Effekt ausgehen.

11.2 Zusammenhang von RPE und subjektivem Underpowered- beziehungsweise Overpowered-Gefühl

Für die Bestimmung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk Test herangezogen. Durch die Ergebnisse des Testverfahrens ($p = 0,739$ und $p = 0,133$) kann von einer Normalverteilung der Variablen ausgegangen werden. Um den Zusammenhang zwischen dem subjektiven Under- und Overpowered-Gefühl und dem RPE zu ermitteln, wurde eine Pearson-Korrelation gerechnet.

Tabelle 7: Test auf Normalverteilung (RPE & subjektives Under- und Overpowered-Gefühl)

	Statistik	df	Signifikanz
Subjektives Under – Overpowered Gefühl (1-10)	0,967	18	0,739
RPE (1-10)	0,921	18	0,133

Das Ergebnis der Pearson-Korrelation ist signifikant positiv ($r = 0,642$; $p = 0.004$) in Bezug auf das subjektive Overpowered- und Underpowered-Gefühl und dem Grad der empfundenen Anstrengung. Das bedeutet, dass Teilnehmer*innen mehr Anstrengung empfunden haben, wenn der nach eigenem Empfinden Kite mehr Kraft entwickelt hat.

Tabelle 8: Pearson Korrelation (RPE & subjektives Under- und Overpowered-Gefühl)

		PRE (1-10)
Subjektives Under – Overpowered Gefühl	Pearson-Korrelation	0,642
	Sig. (2-Seitig)	0,004

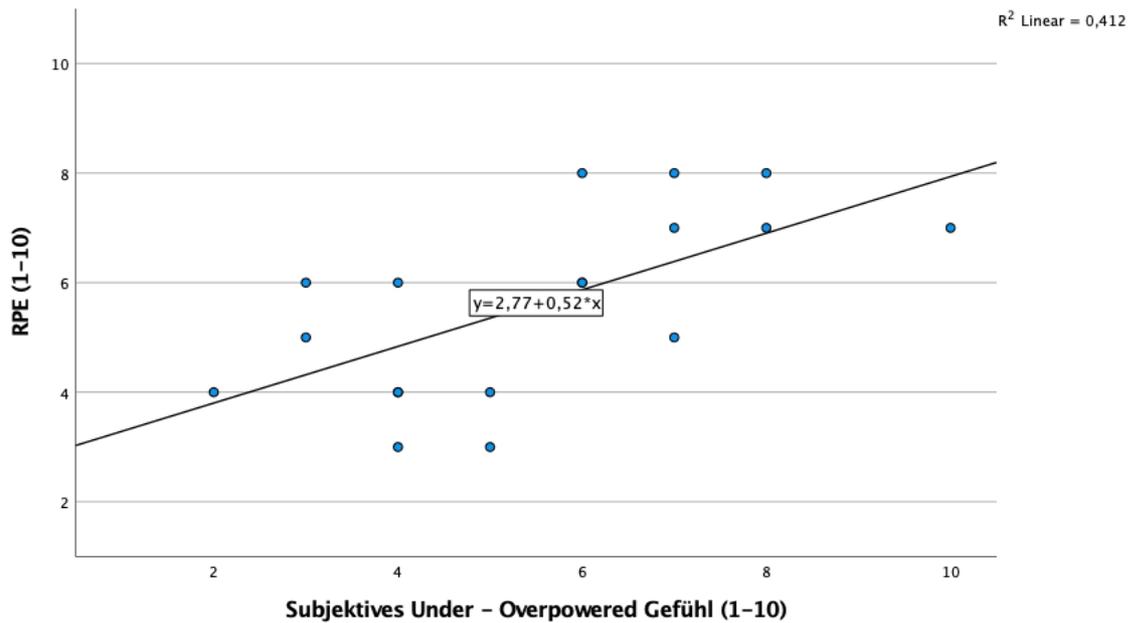


Abbildung 13: Streudiagramm von RPE und Under- und Overpowered-Gefühl

11.3 Vergleich der tatsächlichen Windstärken bei subjektivem Overpowered- und Underpowered-Gefühl

Für die Bestimmung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk Test herangezogen. Durch die Ergebnisse des Testverfahrens ($p = 0,839$ und $p = 0,0824$) kann von einer Normalverteilung der Variablen ausgegangen werden. Um die tatsächliche Windstärke mit dem subjektiven Overpowered- und Underpowered-Gefühl vergleichen zu können, wurde ein T-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt.

Tabelle 9: Test auf Normalverteilung (tatsächliche durchschnittliche Windstärken bei subjektivem Over- und Underpowered-Gefühl)

	Statistik	df	Signifikanz
Windstärke (kn) Overpowered	0,964	9	0,839
Windstärke (kn) Underpowered	0,962	9	0,824

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse des T-Tests mit verbundenen Stichproben abgebildet. Es konnte ein signifikantes Ergebnis nachgewiesen werden ($t = 3,185$; $p = 0,013$, $d = 1,062$). Es kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Windstärke mit dem individuellen Overpowered- und Underpowered-Gefühl dieser Testung in einem positiven Zusammenhang steht. Je stärker der durchschnittliche Wind während einer Testung war, desto höher war das subjektive Overpowered-Gefühl.

Tabelle 10: T-Test unabhängiger Stichproben (Tatsächliche durchschnittliche Windstärken bei subjektiven Over- und Underpowered-Gefühl)

	Mittelwert	T	Sig. (2-Seitig)
Windstärke (kn) bei Overpowered-Gefühl – Windstärke (kn) bei Underpowered-Gefühl	-2,23 ± 2,10	3,19	0,013

Die durch Cohen`s d errechnete positive Effektstärke von (d = 1,062) geht von einem sehr starken Effekt aus.

Tabelle 11: Effektgröße Cohen`s d. (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen)

	Standardisierer ^a	Punktschätzung	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Windstärke (kn) Overpowered – Windstärke (kn) Underpowered	2,09830	1,062	0,212	1,871

11.4 Vergleich des EE von Overpowered- und Underpowered-Kitesurfen mit dem EE von Laufgeschwindigkeiten

Um den mittleren Energieverbrauch der Proband:innen beim Underpowered- und Overpowered-Kitesurfen auf eine Laufstufe des stufenförmigen Labortests und damit eine Geschwindigkeit zu übertragen, wurde eine lineare Regression der Mittelwerte des Energieverbrauchs (J/s) bei den jeweiligen Laufstufen errechnet. Die Mittelwerte des Energieverbrauchs der Underpowered- und Overpowered-Kitesurfausfahrten von 671,31 J/s und 651,54 J/s wurden dann in die Formel eingesetzt. Die Ergebnisse von 0,86 vom mittleren EE der Underpowered- und 0,74 vom mittleren EE der Overpowered-Ausfahrt können nicht auf eine Geschwindigkeit umgelegt werden, da sie sich unter der ersten Laufbandstufe befinden. Somit wurde bei beiden Kitesurfbedingungen im Schnitt weniger Energie als beim Laufen mit einer Geschwindigkeit von 6 km/h benötigt.

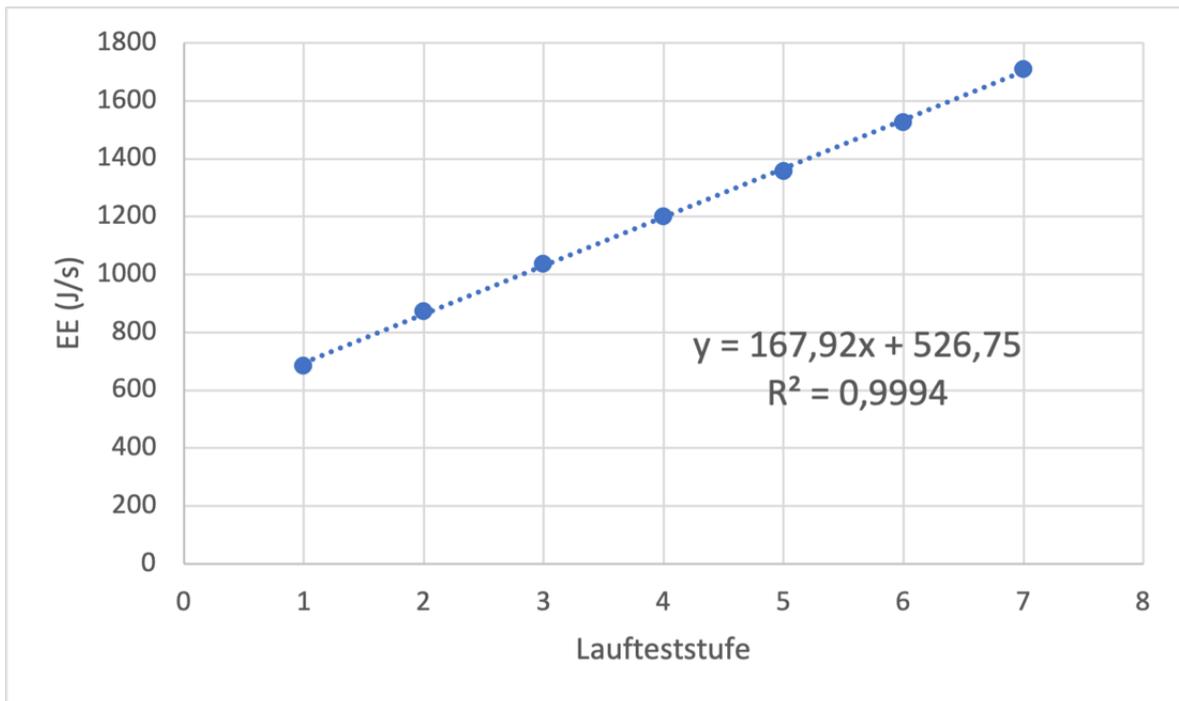


Abbildung 14: Lineare Regression aus EE und der Stufen beim Laubandtest.

12 Diskussion

Die Forschungsfrage „Gibt es einen signifikanten Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen beim Kitesurfen auf einem Binnensee?“ kann folgendermaßen beantwortet werden: Die Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigen, dass es in der Sportart Kitesurfen keinen signifikanten Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen gibt.

Was aus den Daten der durchgeführten Studie hervorgeht, ist, dass die tatsächliche Windstärke mit dem individuellen Over- und Underpowered-Gefühl der Proband:innen in Verhältnis steht, das Ergebnis des T-Tests ist signifikant ($t = 3,185$; $p = 0,013$, $d = 1,062$). Das bedeutet, dass die Proband:innen stärkerer durchschnittlicher Windgeschwindigkeit ein höheres subjektives Overpowered-Gefühl zuordneten. Die Einteilung der Kategorie Underpowered und Overpowered wurde entsprechend der vorherrschenden Windbedingungen richtig getroffen. Die verwendeten Kitegrößen fließen in dieses Ergebnis nicht ein. Der Grad der empfundenen Anstrengung geht mit dem subjektiven Overpowered- und Underpowered-Gefühl ($r = 0,642$; $p = 0,004$) einher. Entgegen der empfundenen Anstrengung konnte kein signifikanter Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen festgestellt werden ($t = -0,480$; $p = 0,644$, $d = 0,160$).

Vergleicht man die Herzfrequenz der in dieser Arbeit durchgeführten Freeride-Kitesurf-Messungen: Overpowered (Mittelwert = 126 Schläge/min; Minimum = 97 Schläge/min; Maximum = 167 Schläge/min) und Underpowered (Mittelwert = 128 Schläge/min; Minimum 106; Maximum = 155 Schläge/min) mit der mittleren Herzfrequenz (153 Schläge/min) der von Vercruyssen et al. 2008 publizierten Studie, bei der ein 30-minütiges „Crossing-Trial“ bei rennfahrt-ähnlichen Bedingungen (maximale Geschwindigkeit) durchgeführt wurde, ist zu erkennen, dass die durchschnittliche Herzfrequenz (Schläge/min) bei den rennfahrtähnlichen Bedingungen um ungefähr 26 Schläge/min höher war.

2008 führten Castagna et al. eine physiologische Studie durch, um den Energieumsatz von Fahrer*innen während einer neuen Pumping-Technik beim olympischen Windsurfen zu messen. In dieser neuen Methode wurde das Segel durch erhöhte Muskelaktivität zum Körper gezogen und anschließend wegstoßen, um einen Flügel zu simulieren. Mit einem maximalen Energieumsatz von $130,7 \pm 11,3$ kcal, unter Verwendung der neuen Methode, konnte kein signifikanter Unterschied zur bisherigen Methode festgestellt werden, hier betrug der Energieumsatz $128,1 \pm 9,2$ kcal. Errechnet man den in dieser Windsurf-Studie bei der Pumping-Methode durchschnittlich gemessenen Energieumsatz pro Stunde, so ergibt dies

1206 kcal/h, damit ist der gemessene Energieverbrauch in der Studie von Castagna et al. mehr als doppelt so hoch als der gemessene Energieverbrauch in der vorliegenden Masterstudie. Ein Vergleich der beiden Messungen ist jedoch nicht zielführend, denn in der Studie von Castagna et al. wurde der Energieumsatz nicht während einer stabilen Fahrt gemessen, sondern während des Pumpens, wo durch körperliche Betätigung scheinbarer Wind erzeugt wurde.

Der mittlere Energieumsatz beim Overpowered Kitesurfen von 651,54 J/s entspricht in etwa 560 kcal/h. Der errechnete Mittelwert des Energieumsatz aller Proband*innen beim Underpowered Kitesurfen von 671,31 J/s entspricht in etwa 576 kcal/h. Die erreichten Werte lassen sich in etwa auf einen Skilanglauf in der Ebene in mittlerem Tempo (550 kcal/h), Ballspiele wie Fußball oder Handball (560 kcal/h) oder Walking (560 kcal/h) übertragen (Haase, 2022). Der von Haase (2022) geschätzte Energieumsatz der verschiedenen Sportarten pro Stunde wurde exemplarisch für eine etwa 70 kg schwere Person ohne Angaben zum Trainingszustand erstellt.

Watsford et al. untersuchten 2006 den Energieumsatz bei 6 männlichen Surfern in einer Studie, die ähnlich aufgebaut war wie die vorliegende Masterstudie. Die Teilnehmer absolvierten einen Stufentest auf einem Ergometer und eine 60minütige Surf-Einheit unter in der Studie als typische Bedingungen beschriebenen Gegebenheiten. Watsford et al. stellten fest, dass der Energieumsatz der Surfer in etwa so hoch ist wie während einer moderaten Wanderung oder einer Radfahrt – ca. 30 KJ/min, also 500 J/s und damit etwas geringer als der mittlere Energieumsatz beim Overpowered-Kitesurfen.

Weitere Studien untersuchen den Energieumsatz beim Segeln, messen jedoch meistens den täglichen Energieumsatz, anstatt wie in der vorliegenden Studie den Energieumsatz während der Sportausübung, siehe auch unten Bernadi et al (2007). Daher können keine direkten Vergleiche zur dieser Masterstudie gezogen werden (vgl. Capelli et al. 2012). Dennoch können Ergebnisse solcher Studien und auch die Ergebnisse der vorliegenden Forschung für sportartspezifische Trainingsplanung, Ernährungsplanung für Athlet*innen und als Grundstein für weitere Forschungen dienen. Die Ernährung von Athlet*innen sollte auf ihren Energieumsatz abgestimmt sein, um ihre Leistung maximieren zu können (Benardot, 2020). Durch den errechneten durchschnittlichen Energiesatz bei Underpowered- und Overpowered-Kitesurfen von $671,31 \pm 406,71$ J/s und $651,54 \pm 369,59$ J/s können sportspezifische Ernährungsempfehlungen für durchschnittliche Kitesurfer:innen in Bezug auf ihre Sportausübung erstellt werden.

Wie dies gelingen kann, zeigt eine Studie von Bernadi et al. (2007). Sie untersuchten den Energieumsatz von Americas-Cup-Segler*innen, um Ernährungsfehler zu erkennen und die richtige Nährstoffzufuhr zu ermitteln. Der Energieverbrauch wurde bei 15 Segler*innen anhand direkter Messungen (Sauerstoffverbrauch) und eines dreitägigen Aktivitätsfragebogens ermittelt. Der durchschnittliche tägliche Energieverbrauch der Seeleute lag zwischen 14,95 und 24,4 MJ. Die tägliche Energieaufnahme lag zwischen 15,7 und 23,3 MJ (von +6 % bis -18 % des Energieverbrauchs).

Jenes Ergebnis der vorliegenden Masterstudie, dass kein signifikanter Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen festgestellt werden konnte, kann hilfreich für die Trainingsgestaltung von Kitesurfer:innen in Bezug auf den Energieverbrauch sein. Alle Ergebnisse können als Grundstein neuer Forschungsprojekte herangezogen werden. Wichtig ist dabei, dass die Limitationen dieser Forschung berücksichtigt werden, da das Ergebnis aufgrund von Messungenauigkeiten von zukünftigen Forschungsergebnissen abweichen könnte. Die Erkenntnisse im Bereich der Umsetzbarkeit von sportartenspezifischen Feldversuchen können die Basis zukünftiger Forschungsprojekte sein.

13 Limitationen

Die Limitationen der durchgeführten Forschung sind durch subjektive Wahrnehmung, externe Rahmenbedingungen, den Austausch von Messinstrumenten und der Berechnung des Energieumsatzes zu beschreiben.

Wie bereits in Kapitel 8.3.1 beschrieben, waren die Windverhältnisse nicht konstant. Am Neusiedlersee sind die vorgefundenen Windverhältnisse an einem Großteil der Tage, an denen die Sportausübung möglich ist, ähnlich. Bei Böen, die teilweise zehn kn stärker als der Grundwind sind, konnte die Frequenz der Sportausübung nur in diversen Windbedingungen durchgeführt werden.

Ursprünglich sollte die Komponente Overpowered- beziehungsweise Underpowered-Bedingungen aus den Faktoren Windgeschwindigkeit (kn), Körpergewicht (kg) und Kitegröße (m²) berechnet werden. Die Berechnung der 3 Faktoren zu einem aussagekräftigen Wert stellte sich als schwierig und ungenau heraus. Da die durchschnittliche Windgeschwindigkeit mit dem subjektiven Overpowered- und Underpowered-Gefühl statistisch übereinstimmte ($t=3,185$; $p=0,013$, $d=1,062$) wurden die Datensätze den Kategorien Overpowered- und Underpowered-Kitesurfen durch das subjektive Empfinden der Testpersonen zugeordnet. Außerdem war aufgrund der inkonstanten Windverhältnisse die Zuordnung durch die persönliche Einschätzung (von 1 – 10) sinnvoller, da während Overpowered-Messungen auch Phasen mit moderater Windgeschwindigkeit vorkamen und bei Underpowered-Messungen teilweise stärkere Böen aufkamen. Dadurch, dass diese Bestimmung subjektiv ist, könnte es vorgekommen sein, dass Teilnehmer*innen gleiche Zustände unterschiedlich bewertet haben. Eine differenzierte Bewertung kann zum Beispiel durch unterschiedliche Fähigkeiten der Proband*innen auftreten. Außerdem könnten Phasen der Manöverabfolge aufgrund zeitlicher Abfolgen anders bewertet werden. Während zum Beispiel der Wind in den letzten 5 min besonders stark war, ist die Einordnung auf der Skala (1 – 10) vielleicht überproportional hoch im Anblick der ersten 6 min ausgefallen.

Die Zuordnung der Werte (1 – 5 = Underpowered; 6 – 10 = Overpowered) spiegelt bei Werten im Mittelfeld keine klassischen Stark- beziehungsweise Leichtwindbedingungen wider. Durch die Einteilung in nur 2 Klassen bei einer breiten Palette von Windbedingungen und Kraftentwicklungen der Kites, können Werte, die nah beieinander liegen, wie zum Beispiel 5 und 6 als zwei extreme Bedingungen der Sportart ausgewertet werden.

Im Zuge des Feldtests sind Messungenauigkeiten bei der Ermittlung der Herzfrequenz aufgekommen. In einer von Budig et al. (2019) durchgeführten Studie wurden erhebliche Ungenauigkeiten bei optischen Herzfrequenzmessungen im Vergleich zu Herzfrequenzmessungen über Brustgurt bei sich schnell ändernden Herzfrequenzen in realen Feldversuchen nachgewiesen. Diese Ungenauigkeit wurde in Kauf genommen, da die Messungen mittels Pulsgurt bei der Sportart Kitesurfen in einem Großteil der Fälle nicht anwendbar ist. Bei der verwandten Studie zum physiologischen Bedarf von Kitesurfen von Verduyssen et al. (2008) wurde die Herzfrequenz ebenfalls über das Handgelenk gemessen. Generell sollte für die Herzfrequenzmessung in zukünftigen Forschungsprojekten der Sportart Kitesurfen auf klassische Brustgurte verzichtet werden, da es durch die Nutzung von Hüfttrapezen zu Messungenauigkeiten kommen kann. Eine passende Alternative – wie zum Beispiel die optische Pulsmessung oder die Verwendung eines Sitztrapezes in Verbindung mit einem Brustgurt – sollte vorgezogen werden.

Aufgrund der Tatsache, dass die Atemabgase nicht direkt beim Kitesurfen gemessen werden konnten, ist von einer Ungenauigkeit beim errechneten Energieumsatz im Vergleich zum tatsächlichen Energieumsatz auszugehen. Der Rückschluss auf den Energieumsatz beim Kitesurfen über die gemessenen Atemabgase beim Laufbandtest, führte bei gewissen Voraussetzungen zu Problemen. Wenn die HF beim Feldtest niedriger war als bei der ersten Belastungsstufe am Laufband, kann scheinbar kein realistischer Energieumsatz aus den vorliegenden Daten generiert werden. Bei einer Probandin wurde beim Feldtest eine durchschnittliche Herzfrequenz von 119 (Schläge/min) und 122 (Schläge/min) gemessen, während diese Person auf der ersten Belastungsstufe am Laufband bei 6 km/h bereits eine Herzfrequenz von 155 Schläge/min aufwies. Der daraus resultierende Energieumsatz beim Kitesurfen beträgt 135 J/s und 105 J/s. Das entspricht in etwa 116 kcal/h und 90kcal/h. Diese Daten sind nicht realistisch, da sie nur knapp über dem Grundumsatz liegen. Insgesamt lag bei fünf von neun Proband*innen die Herzfrequenz bei einer der beiden Feldtests über der Herzfrequenz der ersten Laufstufe, was aufgrund des geschilderten Extrembeispiels zu verfälschten Werten beim Energieumsatz führen könnte. Der Studienleiter hat sich dazu entschlossen, die Daten aller 9 Proband*innen mit vollständigen Datensätzen trotzdem in die Auswertung einzubeziehen, da die Stichprobe sonst zu klein gewesen wäre, um ein aussagekräftiges Ergebnis errechnen zu können.

Aufgrund der geschilderten Messungenauigkeiten wurde die Personenanzahl der Stichprobe vor der Berechnung des Grundumsatzes von insgesamt 19 Personen auf 9 Personen reduziert. Die Stichprobe der Forschung ist somit klein und kann die Gesamtheit der sportausübenden Personen nicht repräsentieren. Im Hinblick der Tatsache, dass nur

Proband*innen zwischen 23 und 34 Jahren und nur eine weibliche Person in der Stichprobe erhalten ist, können die Ergebnisse nur dieser Gruppe an Personen zugeordnet werden.

Um das Ergebnis der Studie zu untermauern, sollten unter Berücksichtigung der Limitationen weitere Forschungsarbeiten durchgeführt werden. Es wäre sinnvoll, Forschungsprojekte in Revieren mit konstanter Windgeschwindigkeit durchzuführen, sodass zukünftige Proband*innen über den gesamten Erhebungszeitraum overpowered oder underpowered sind. Außerdem wäre es sinnvoll, die Studie unter extremeren Windbedingungen mit dem Fokus auf Stark- und Schwachwindbedingungen durchzuführen. Die Variation von Kitegrößen (bei Schwachwind große Kites und bei Starkwind kleine Kites), könnte dabei zu neuen Ergebnissen führen.

14 Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass es in der Sportart Kitesurfen keinen signifikanten Unterschied im Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen gibt. Durch Herausforderungen bei der Ermittlung des Energieumsatzes der Proband:innen konnten wichtige Erkenntnisse für zukünftige sportspezifische Studiendesigns, wie zum Beispiel der kitesurfpezifische Einsatz von Herzfrequenzmessern erlangt werden. Unter Berücksichtigung der in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Limitationen können die Ergebnisse als Grundlage für weitere Studien verwendet werden.

15 Literaturverzeichnis

- Ainslie, P. N., Reilly, T., & Westerterp, K. R. (2003). Estimating human energy expenditure. *Sports medicine*, 33(9), 683-698.
- Benardot, D. (2020). *Advanced Sports Nutrition* (3. Aufl.). Human Kinetics Publishers.
- Bernardi, E., Delussu, S. A., Quattrini, F. M., Rodio, A., & Bernardi, M. (2007). Energy balance and dietary habits of America's Cup sailors. *Journal of Sports Sciences*, 25(10), 1153–1160. doi: 10.1080/02640410701287180
- Bossi, A. H., Timmerman, W. P. & Hopker, J. G. (2020). Energy Expenditure Equation Choice: Effects on Cycling Efficiency and its Reliability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(2), 288–291. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0818>
- Bourgois, J. G., Boone, J., Callewaert, M., Tipton, M. J., & Tallir, I. B. (2013). Biomechanical and Physiological Demands of Kitesurfing and Epidemiology of Injury Among Kitesurfers. *Sports Medicine*, 44(1), 55-66. <https://doi:10.1007/s40279-013-0103-4>
- Budig, M., Höltnke, V. & Keiner, M. (2019). Accuracy of optical heart rate measurement and distance measurement of a fitness tracker and their consequential use in sports. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 49(4), 402–409. <https://doi.org/10.1007/s12662-019-00621-1>
- Camps, A. Vercruyssen, F. & Brisswalter, J. (2011) Variation in heart rate and blood lactate concentration in freestyle kitesurfing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(2), 313-321. PMID: 21681168.

- Capelli, C., Galvani, C., Alberti, M., Ardigò, L., & Daniele, F. (2012). The energy expenditure of long distance double-handed offshore sailing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(Maggio), 704-704.
- Castagna, O., Brisswalter, J., Lacour, J.-R., & Vogiatzis, I. (2008). Physiological demands of different sailing techniques of the new Olympic windsurfing class. *European Journal of Applied Physiology*, 104(6), 1061–1067. doi: 10.1007/s00421-008-0863-y
- de Marées, H. (2017). *Sportphysiologie: Bearb. v. Hermann Heck und Ulrich Bartmus* (Korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Sportverlag Strauß.
- Fink, B., Blaschke, J. & Antwerpes, F. (o. D.). *Myokardial*. DocCheck Flexikon.
https://flexikon.doccheck.com/de/Myokardial?utm_source=www.doccheck.flexikon
[abgerufen am 8. Dezember 2022]
- Freyer, D. T. & Antwerpes, F. (o. D.). *Metabolisch*. DocCheck Flexikon.
<https://flexikon.doccheck.com/de/Metabolisch> [abgerufen am 5. Dezember 2022].
- Friedmann-Bette, B. (2011). Die Spiroergometrie in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik: Application of Spiroergometry in the Diagnosis of Athletic Performance. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62(1), 10-15.
- Gaal, B. (2018). *Stilisierung von Frauen in der männerdominierten Lifestylesportart Kitesurfen* (Masterarbeit, Universität Wien).
- Gratwick, A. (2015). *The Kiteboarding Manual: The essential guide for beginners and improvers*. Adlard Coles.

Gunkel, F. (2013). Praxis des Segelns. In Deutschen Hochseesportverband „Hansa“ e.V. (Hrsg.), *Seemannschaft: Handbuch für den Yachtsport* (30. aktualisierte Aufl., S. 186-349). Delius Klasing Verlag.

Haase, U. V. (2022, 1. Juni). Energieverbrauch beim Sport. Die Techniker. <https://www.tk.de/techniker/magazin/sport/basics/energieverbrauch-kalorienverbrauch-2004664?tkcm=aaus> [abgerufen am 18. Dezember 2022].

Kenney, L. W., Wilmore, J. H. & Costill, D. L. (2022). *Physiology of Sport and Exercise* (8. Aufl.). Human Kinetics.

Kipp, S., Byrnes, W. C. & Kram, R. (2018). Calculating metabolic energy expenditure across a wide range of exercise intensities: the equation matters. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(6), 639–642. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0781>

Kiteboarding Terminology Dictionary / Glossary. (o. J.). Mackiteboarding.com. Zugriff am 6. Dezember 2022 unter <https://www.mackiteboarding.com/kiteboarding-terminology-dictionary-glossary.htm>

Landell-Mills, N. (2021). *Kitesurfing explained by Newtonian physics*. Pre-Print DOI:10.13140/RG.2.2.28835.37929

NCI Dictionary of Cancer Terms. (o. D.). National Cancer Institute. Zugriff am 6. Dezember 2022 unter <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/oxidative-metabolism>

Neusiedler See - Seewinkel. (o. D.). *Neusiedler See - Seewinkel*. Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. Zugriff am 5. Juli 2023 unter <https://info.bml.gv.at/themen/wasser/wasser-eu-international/europaeische-und->

internationale-
wasserwirtschaft/feuchtgebiete/ramsar/neusiedlersee.html#:~:text=Etwa%20drei%20
Viertel%20der%20Seefl%C3%A4che,Sees%20betr%C3%A4gt%201%2C1%20m%2
0.

Official WOO Kite - Big Air Leaderboards. (o. D.). Woosports. Zugriff am 9. Dezember 2022
unter <https://leaderboards.woosports.com/kite/bigair?mt=height>

overpowered - LEO: Übersetzung im Englisch ⇔ Deutsch Wörterbuch. (o. J.). Leo.org. Zugriff
am 5. Dezember unter <https://dict.leo.org/englisch-deutsch/overpowered>

Palmers, O. (2019). *Sportsoziologische Zusammenhänge in der medialen Repräsentation und
Entwicklung von Lifestylesportarten am Beispiel des Kitesurfens.* (Diplomarbeit,
Universität Wien).

Prinz, D. (o. D.). *Totraumventilation.* DocCheck Flexikon. Zugriff am 5. Dezember unter
<https://flexikon.doccheck.com/de/Totraumventilation>

Scharhag-Rosenberger, F. (2010). Standards der Sportmedizin: Spiroergometrie zur
Ausdauerleistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 61(6), 146-147.

Scheibe, E., Lignitz, E., Hinz, P. & Scheibe, R. (2009). Kitesurfen. *Rechtsmedizin (Berlin,
Germany)*, 19(3), 145-151. <https://doi.org/10.1007/s00194-009-0597-0>

Schönle, C. & Rieckert, H. (1983). Cardiovascular Reactions during Exhausting Isometric
Exercise while Windsurfing on a Simulator or at Sea*. *International Journal of Sports
Medicine*, 04(04), 260–264. <https://doi:10.1055/s-2008-1026046>

Spreckels, C. (2007). Kitesurfen mit Kristin Boese: *das Trainingsprogramm der
Weltmeisterin* (1. Aufl.). Pietsch.

Stephenson, I. (2013, 15. August). *Roots: Evolution of the inflatable kite*. The Kiteboarder Magazine. Zugriff am 9. Dezember unter <https://www.thekiteboarder.com/2013/08/15/roots-the-history-of-the-inflatable-kite/>

underpowered - LEO: Übersetzung im Englisch ⇔ Deutsch Wörterbuch. (o. J.). Leo.org. Zugriff am 5. Dezember 2022 unter <https://dict.leo.org/englisch-deutsch/underpowered>

Valentin Bontus von null auf Weltspitze. (o. D.). Österreichischer Segel-Verband. Zugriff am 12. Dezember unter <https://www.segelfverband.at/de/spitzensport/valentin-bontus-von-null-auf-weltspitze>

Verband Deutscher Wassersport-Schulen. (2020). *Kiteboarding: Work- und Stylebook* (8. Aufl.). Delius Klasing.

Vercruyssen, F., Blin, N., L'Huillier, D. & Brisswalter, J. (2008). Assessment of physiological demand in kitesurfing. *European Journal of Applied Physiology*, 105(1), 103-109. <https://doi:10.1007/s00421-008-0879-3>

Watsford, M., Murphy, A., & Coutts, A. (2006). Energy expenditure and time–motion analysis during recreational surfing. *Journal of Science and Medicine in Sport*, (9), 9–9. doi: 10.1016/j.jsams.2006.12.018

White, B. (1998, 21. Oktober). *Issue 5: Kite History 101*. KiteLife. Zugriff am 9. Dezember 2022 unter <https://kitelife.com/1998/10/21/issue-5-kite-history-101/>

Wonisch, M., Hofmann, P., Förster, H., Hörtnagl, H., Ledl-Kurkowski, E. & Pokan, R. (2016). *Kompendium der Sportmedizin: Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie* (2. Aufl.). Springer. DOI:10.1007/978-3-211-99716-1

Zuntz, N., Lehmann, C. & Hagemann, O. (1889). *Untersuchung über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit*. Verlag von Paul Parey.

16 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vor und Nachteile aerober und anaerober Oxidation. Quelle: de Marées (2017, S.357).....	8
Abbildung 2: Direkte Kalorimetrie. Quelle: Kenney et al. (2022, S.125)	10
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Bestimmung der ventilatorischen Schwelle. Quelle: Wonisch et al. (2017, S.178).....	16
Abbildung 4: Darstellung der “ V-Slope“-Methode nach Beaver. Quelle: Wonisch et al. (2017, S.178).....	16
Abbildung 5: Darstellung zur Bestimmung des RCP. Quelle: Wonisch et al. (2017, S.179)..	17
Abbildung 6: Gleichungen zur Bestimmung der Energy Expenditure. Quelle: Kipp et al. (2018, S.640).....	18
Abbildung 7: Statisches Windfenstermodell. Quelle: Landell-Mills (2021, S.6).....	24
Abbildung 8: Kräfte die auf einen Kitesurfer wirken. Quelle: Landell-Mills (2021, S.7)	26
Abbildung 9: GPS-Aufzeichnung eines Probanden bei der Absolvierung der Frequenz der Sportausübung – Trial.	36
Abbildung 10: Consort-Flussdiagramm der Stichprobe.....	43
Abbildung 11: Abbildung einer linearen Regression aus Herzfrequenz (Schläge/min) und EE (J/s) eines Stufentests im Zuge der durchgeführten Forschung.	45
Abbildung 12: Darstellung der durchschnittlichen Herzfrequenzen der Overpowered- und Underpowered- Bewegungsfrequenzen der Proband:innen.	47
Abbildung 13: Streudiagramm von RPE und Under- und Overpowered-Gefühl	51
Abbildung 14: Lineare Regression aus EE und der Stufen beim Laubandtest.	53

17 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Herzfrequenz bei Under- und Overpowered-Bedingungen	47
Tabelle 2: EE pro Laufstufe während des Labortests	48
Tabelle 3: Errechnete EE aus Under- und Overpowered-Bedingungen.	48
Tabelle 4: Shpiro Wilk-Test auf Normalverteilung (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen)	49
Tabelle 5: T-Test unabhängiger Stichproben (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen)	49
Tabelle 6: Effektgröße Cohen´s D. (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen).....	49
Tabelle 7: Test auf Normalverteilung (RPE & subjektives Under- und Overpowered-Gefühl)	50
Tabelle 8: Pearson Korrelation (RPE & subjektives Under- und Overpowered-Gefühl)	50
Tabelle 9: Test auf Normalverteilung (tatsächliche durchschnittliche Windstärken bei subjektivem Over- und Underpowered-Gefühl).....	51
Tabelle 10: T-Test unabhängiger Stichproben (Tatsächliche durchschnittliche Windstärken bei subjektiven Over- und Underpowered-Gefühl).....	52
Tabelle 12: Effektgröße Cohen´s d. (Energieumsatz bei Overpowered- und Underpowered-Bedingungen).....	52

18 Anhang

Anamnesebogen zur Erhebung der Risikofaktoren bei körperlicher Aktivität

Studientitel:

Physiologisches Profil beim Kitesurfen unter Schwachwind und Starkwindbedingungen

Name _____ Größe (cm) _____

Geburtsdatum _____ Gewicht (kg) _____

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen **nach bestem Wissen**. Sollten Sie Schwierigkeiten bei der Beantwortung einer Frage haben, kontaktieren Sie bitte die für die Untersuchung verantwortliche Person. Die Fragen sind **ausschließlich** dazu bestimmt, um Ihre Eignung für die geplanten körperlichen Aktivitäten festzustellen. Ihre Daten werden **strikt geheim** behandelt und **nicht** an dritte Personen **weitergegeben**.

	ja	nein
1A Waren Sie während der letzten 6 Monate in ärztlicher Behandlung?		
1B Ist aufgrund dieser ärztlichen Behandlung eine Genesung erfolgt?		
2 Wurden bei Ihnen jemals Herzbeschwerden festgestellt?		
3 Nehmen Sie regelmäßig Medikamente gegen Herzbeschwerden ein?		
4 Haben Sie während körperlicher Belastung Beschwerden im Brustkorb?		
5 Wurde bei Ihnen jemals Bluthochdruck diagnostiziert?		
6 Hatten Sie jemals unbegründete Atemnot?		
7 Hatten Sie jemals Schwindel- oder Ohnmachtsanfälle?		
8 Wurde bei Ihnen jemals Epilepsie diagnostiziert?		
9 Wurde bei Ihnen jemals Diabetes (Zuckerkrankheit) diagnostiziert?		
10 Wurde bei Ihnen jemals Asthma oder eine andere Lungenkrankheit diagnostiziert?		
11 Nehmen Sie im Moment Medikamente ein?		
12 Haben Sie im Moment Muskel- oder Gelenksbeschwerden, die durch körperliche Aktivität verschlimmert werden könnten?		
13 Haben Sie im Moment akute Verletzungen?		
14 Besteht Ihrer Meinung nach ein Grund warum Sie nicht körperlich aktiv sein sollten?		
15 Für Frauen: Besteht die Möglichkeit einer Schwangerschaft?		

Wenn Sie eine der Fragen 2-14 mit "Ja" beantwortet haben, wird vor Beginn einer körperlichen Belastung eine genauere Befragung vorgenommen.

Kardiovaskuläre Risikofaktor

1 für Ja oder 0 für Nein

16 Blutdruck systolisch > 140 mm Hg oder diastolisch > 90 mmHg	
17 BMI >30 oder Taillenumfang >102 cm (Männer) oder >88 cm (Frauen)	
18 Hatte einer Ihrer Angehörigen (Vater, Mutter, Schwester und/oder Bruder) einen Herzinfarkt?	
19 Rauchen Sie oder haben Sie innerhalb der letzten 6 Monate zu rauchen aufgehört?	
20 Sind Sie an weniger als 3 Tagen pro Woche 30 Minuten körperlich aktiv?	

Summe der kardiovaskulären Risikofaktoren (Fragen 16-20) **Summe**

Ich habe die vorliegenden Fragen nach bestem Wissen beantwortet. Es ist mir klar, dass unrichtige Angaben ein Gesundheitsrisiko darstellen können. Ich wurde darüber informiert, dass im Rahmen dieser Untersuchungen mein Gesundheits- und Fitnessstatus erhoben wird. Ich wurde darüber informiert, dass die Belastungsuntersuchungen eine intensive körperliche Beanspruchung darstellen können. Während diesen Untersuchungen kann es zu Übelkeit, Ohnmacht oder muskulären Beschwerden kommen. Diese Risiken werden durch entsprechende Maßnahmen wie Auf- und Abwärmen sowie Anleitung in die Zielübung minimiert. Bei Auftreten von ungewöhnlichen Beschwerden werde ich den Testleiter umgehend darauf aufmerksam machen. Ich habe das Recht, jederzeit ohne Angabe von Gründen die Untersuchung zu beenden, ohne dass mir dadurch ein Nachteil entsteht. Alle im Rahmen dieser Untersuchungen erhobenen Daten werden ausschließlich in anonymer Form zu Studienzwecken verwendet und nicht an Dritte weitergegeben.

Datum

Unterschrift des Probanden

Interpretation des Risikofaktoren Gesamtscores (Fragen 16-20)

- Als Personen mit **geringem Risiko** werden asymptomatische Männer bis zum 45. Lebensjahr und Frauen bis zum 55. Lebensjahr eingestuft, deren **Gesamtscore nicht mehr als 1 beträgt**. Solche Personen können einem maximalen Belastungstest ausgesetzt werden und ein regelmäßiges und intensives Training durchführen.
- Als Personen mit **moderatem Risiko** werden asymptomatische Männer ab dem 45. Lebensjahr und Frauen ab dem 55. Lebensjahr eingestuft und - unabhängig vom Alter - solche Personen deren **Gesamtscore 2 oder mehr beträgt**. Solche Personen können einem sub-maximalen Belastungstest ausgesetzt werden und ein Training mit moderater Intensität durchführen. Vor dem Beginn eines intensiven Trainings oder einer maximalen Belastung sollte eine medizinische Untersuchung erfolgen.
- Als Personen mit **hohem Risiko** gelten solche, die Symptome von akuten oder chronischen Krankheiten aufweisen ("**Ja**" **Fragen 2-15**). Solche Personen sollten einen Arzt aufsuchen bevor sie einem Belastungstest ausgesetzt werden oder mit einem regelmäßigen Training beginnen

American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 8th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2010.

Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin. *S1 - Leitlinie Vorsorgeuntersuchung im Sport*. DGSP, 2007.

Teilnehmer:inneninformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie:

Physiologisches Profil beim Kitesurfen unter Schwachwind und Starkwindbedingungen

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,

wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit, ohne Angabe von Gründen, Ihre Bereitschaft zur Teilnahme ablehnen oder auch im Verlauf der Studie zurückziehen. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Sie.

Diese Art von Studien ist notwendig, um verlässliche neue *wissenschaftliche* Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung von Studien ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer:in an dieser Studie im Klaren sind.

1. Was ist der Zweck der Studie?

Derzeit ist noch wenig über die körperlichen Anforderungen im Kiten bekannt. Da Kiten ab dem Jahr 2024 Olympisch sein wird, liegt es im Interesse hier eine der Forschungslücken im Kiten zu schließen. In dieser Studie soll untersucht werden, welchen körperlichen Voraussetzungen im Kiten benötigt werden und wie die Beanspruchung während des Kitens zu charakterisieren ist. Dafür wird Ihr Energiebedarf beim Laufen ermittelt und mit ihrer Herzfrequenz in Relation gesetzt. Somit kann ihr Energiebedarf beim Kiten über die Herzfrequenz abgeschätzt werden.

2. Wie läuft die Studie ab?

Am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport, Auf der Schmelz 6, 1150 Wien und am Neusiedler See werden Sie insgesamt an drei Tagen Tests absolvieren, wobei jene nicht länger als drei Wochen auseinanderliegen dürfen und jeweils etwa 90 bis 120 min in Anspruch nehmen werden (in etwa fünf Stunden insgesamt). Die Ergebnisse von 10 bis 15 erfahrener Kitesurfer:innen werden als Grundlage für die Beantwortung der Fragestellungen herangezogen. Bevor Sie das Testprozedere durchlaufen, müssen Sie einen Anamnesebogen und die Einwilligungserklärung auszufüllen und unterschreiben.

Die erste Testung wird auf einem Laufband durchgeführt. Während der Testungen werden kontinuierlich Atemgase mit einer Maske und mithilfe eines Brustgurts die Herzfrequenz laufend gemessen. Sie führen einen Stufentest durch, bei dem jede Minute die Geschwindigkeit erhöht wird bis sie nicht mehr

in der Lage sind die vorgegebene Geschwindigkeit zu laufen.

Die weiteren Testungen finden am Neusiedler See statt. Je nach Windrichtung werden diese Tests in Neusiedl am See, Breitenbrunn oder Podersdorf stattfinden. Dabei werden sie bei der ersten oder zweiten Testung mit Starkwind kiten und bei der jeweils anderen Testung mit Schwachwind. Die Reihenfolge für Ihre Windbedingungen bestimmt der Versuchsleiter. Sie werden zweimal das gleiche Programm kiten. Während des Kitens wird laufend mit einem Brustgurt die Herzfrequenz gemessen – analog zum Laufbandtest.

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist nicht zu erwarten, dass Sie aufgrund Ihrer Teilnahme einen gesundheitlichen Nutzen ziehen. Die Teilnahme ist selbstverständlich mit keinerlei Kosten verbunden. Sie erhalten anschließend sowohl die persönlichen Ergebnisse als auch die Resultate und Erläuterungen nach Abschluss des Projekts auf Anfrage bei der Studienleitung oder Versuchsleitung.

4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?

Durch die Teilnahme an der Studie sind keine zusätzlichen Risiken zu erwarten, die nicht auch während der üblichen Sportausübung beim Kiten auftreten können. Es besteht die Möglichkeit, dass die Erschöpfung nach einer Testung einige Stunden andauert und dass sich ein Muskelkater bildet, der jedoch nach einigen Tagen nicht mehr spürbar ist. Daher können die Belastungstests als intensive sportliche Tätigkeiten angesehen werden. Die im Rahmen der Studie angewandten Untersuchungsmethoden werden in Österreich regelmäßig eingesetzt.

Gesundheitliche Vorbelastungen müssen dem Studienleiter und/oder Versuchsleiter mitgeteilt werden und dies kann zu einem Ausschluss aus der Studie führen.

Ausschlusskriterien:

- Verletzung vor oder während der Studie, die eine Teilnahme an der Testung aus gesundheitlicher Sicht nicht erlauben
- Kardiovaskuläre, pulmonale oder metabolische Erkrankung(en), die die Teilnahme an den Tests nicht erlauben.
- Akute Infektionen ab 1 Woche vor dem ersten Messzeitpunkt und während der gesamten Studiedauer Bekannte Autoimmunkrankheit oder Erkrankung das Immunsystem betreffend
- Einnahme von Medikamenten, die die Messung beeinflussen könnten oder laut WADA-Code im Training und/oder Wettkampf verboten sind
- Alter < 18 Jahren bzw. > 40 Jahren

Einschlusskriterien:

- Männer und Frauen im Alter zwischen 18 und 40 Jahren
- Motivation für Leistungstests
- Kiteerfahrung seit mind. 3 Jahren
- Können, das vorgegebene Programm absolvieren zu können

5. Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Am Tag vor den Testtagen dürfen nur leichte körperliche Aktivitäten durchgeführt werden, sodass Sie die Testungen in ermüdungsfreiem Zustand absolvieren werden.

Drei Stunden vor allen weiteren Testungen dürfen keine schweren Mahlzeiten, koffeinhaltige Getränke, Alkohol oder Sportgetränke zu sich genommen werden.

6. Was ist zu tun beim Auftreten von Beschwerdesymptomen, unerwünschten Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?

Sollten im Verlauf der Studie Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese dem Studienverantwortlichen mitteilen. Bei schwerwiegenden Begleiterscheinungen sind die Studienverantwortlichen umgehend zu kontaktieren (Kontaktdaten siehe Punkt 10).

7. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Sie haben das Recht, Ihre Teilnahmebereitschaft jederzeit zu widerrufen. Dies ist auch ohne Angabe von Gründen möglich. Durch ein Ausscheiden aus der Studie entstehen keine Nachteile für Sie. Um die Bereitschaft zur Teilnahme zu widerrufen, können Sie jederzeit die Studienverantwortlichen kontaktieren (per Mail oder Telefon, siehe Punkt 10).

Es ist aber auch möglich, dass der Studienleiter oder der Versuchsleiter entscheiden, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden. Hierbei muss vorher kein Einverständnis von Ihnen eingeholt werden. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Sie können den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen
- b) Die Studienverantwortlichen haben den Eindruck, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist.

8. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Es werden keine Namen verwendet, sondern Kennziffern (z.B.: ID_01, ID_02, ...). Diese Ziffern werden den Teilnehmenden zugeordnet und in einer Zuordnungsdatei notiert, um die Leistungsdaten korrekt zuzuordnen (=pseudonymisiert). Diese Zuordnung wird 8 Wochen nach Beendigung der jeweiligen Studienteilnahme gelöscht. Die Zuordnung wird auf dem passwortgeschützten Rechner des Studienleiters gespeichert. Zugang zu diesem Computer hat ausschließlich der Studienleiter. Der Studienleiter ist verpflichtet keinerlei Auskunft über persönliche Daten und Ergebnisse zu geben. Die aufgenommenen Daten werden ausschließlich zu statistischen Zwecken gesammelt und verwendet. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt. Die Zuordnung (Code und Name) wird 8 Wochen nach Ihrem letzten Test gelöscht.

Nur die am Projekt mitwirkenden Personen haben Zugang zu den Daten und sind zudem zur Verschwiegenheit verpflichtet. Die aufgezeichneten Daten werden getrennt von den Einverständniserklärungen aufbewahrt und in verschließbaren Kästen gelagert.

Sie haben die Möglichkeit, sowohl in die persönlichen Ergebnisse als auch in das Gesamtergebnis Einsicht zu erhalten. Hierfür können Sie persönlich vorsprechen. Ihre persönlichen Ergebnisse können Sie allerdings nur bis 8 Wochen nach Ihrem letzten Test einsehen, da danach die Zuordnung nicht mehr möglich ist. Dies verlangt eine terminliche Vereinbarung (Kontaktdaten siehe Punkt 10). Sie haben zudem das Recht, die Löschung ihrer Daten innerhalb von 8 Wochen nach Ihrem letzten Test zu beantragen. Wenden Sie sich diesbezüglich ebenfalls an die Kontaktpersonen der Studie (Kontaktdaten siehe Punkt 10).

9. Entstehen für die Teilnehmer:innen Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Für die Teilnahme an dieser Studie kann keinerlei Vergütung und kein Kostenersatz gewährt werden. Die Teilnahme, sowie die zur Verfügung gestellten Ergebnisse, sind für Sie selbstverständlich kostenlos.

10. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie stehen Ihnen die Studienverantwortlichen gerne zur Verfügung. Dies betrifft auch Fragen, welche Ihre Rechte, als Teilnehmer:in an dieser Studie, betreffen.

Name der Kontaktperson:

Studienleiter	Name: Univ.-Asst. Dr. Christoph Triska, BSc MSc E-Mail: christoph.triska@univie.ac.at Tel.: +43 1 4277 48867
Versuchsleiter	Name: Matthias Schweighardt E-mail: a01548365@unet.univie.ac.at Tel.: +43 650 395 16 60

11. Einwilligungserklärung

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben:

Geb. Datum:

Ich erkläre mich bereit, an der Studie „Validität und Reliabilität der höchsten Intensität bevor es zu einer Überbrückung des mitochondrialen Komplex I kommt“ teilzunehmen.

Ich bin von Christoph Triska oder Matthias Schweighardt ausführlich und verständlich über Zielsetzung, Bedeutung und Tragweite der Studie und die sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Teilnehmer:inneninformation und Einwilligungserklärung gelesen, insbesondere den 4. Abschnitt (Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?). Aufgetretene Fragen wurden mir von der Studienleitung verständlich und ausreichend beantwortet. Ich hatte genügend Zeit, mich zu entscheiden, ob ich an der Studie teilnehmen möchte. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde die Hinweise, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, befolgen, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Sollte ich aus der Studie ausscheiden wollen, so kann ich dies jeder Zeit schriftlich oder mündlich beim Studienleiter veranlassen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten aufgezeichnet und ausgewertet werden.

Ich stimme zu, dass meine Daten dauerhaft in anonymisierter Form und bis 8 Wochen nach meiner Studienteilnahme pseudonymisiert elektronisch gespeichert werden. Die Daten werden in einer nur der Projektleitung zugänglichen Form gespeichert, die gemäß aktueller Standards gesichert ist.

Den Aufklärungsteil habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden Fragen stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet.

Eine Kopie dieser Teilnehmer:inneninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt bei der Studienleitung.

(Datum und Unterschrift der Teilnehmerin/des Teilnehmers)

.....

(Datum, Name und Unterschrift der Studienleitung)

.....



universität
wien

Liebe Mitglieder,

am Samstag, 10.09.22 und Sonntag, 11.09.22 wird eine wissenschaftliche Studie der Universität Wien am Gelände des SCPN durchgeführt.

Der Zweck der Studie ist die Erstellung eines

„Physiologischen Profils beim Kitesurfen unter Schwachwind und Starkwindbedingungen“

Studienleiter: Univ.-Asst. Dr. Christoph Triska, BSc MSc

Versuchsleiter: Matthias Schweighardt, BEd

Herzlichen Dank für die Unterstützung durch den Segelclub Podersdorf Nord und die Marktgemeinde Podersdorf am See. Im Zeitraum der Studie haben externe Proband:innen die Erlaubnis, die Infrastruktur des SCPN zu nutzen und vom Strand aus (unter Einhaltung der 200m Regel) Kiten zu gehen.

Bei Fragen oder Anregungen bin ich telefonisch erreichbar oder am Gelände des SCPN anzutreffen.

Vielen Dank für Ihr Verständnis,

Matthias Schweighardt
E-mail: a01548365@unet.univie.ac.at
Tel.: +43 650 395 16 60



Ablauf: Frequenz der Sportausübung

Davor:

- Einverständniserklärung unterschreiben
- Anamnesebogen ausfüllen.

Ablauf:

- Kontakte des Pulsgurtes befeuchten.
- **Bodydrag bis außerhalb der 200m Bojen!**
- Gegebenenfalls Einfahren
- Start bei Zeichen vom Strand

TRIAL: alle Fahrten sollen möglichst sportlich gefahren werden.

(Pulsmessung starten – Knopf drücken)

1. Halsen: (4 min).
 - a. Fahre möglichst viele „8er“ in vorgegebener Zeit
 - b. Die Halsen müssen durchgeglitten gefahren werden.
 - c. Wendepunkt auf einer Seite ist das SUP. Der Radius der Halse auf der anderen Seite sollte vergleichbar groß sein.
 - d. Innerhalb der 4 Minuten muss die Höhe gehalten werden.
2. Aufkreuzen: (5 min)
 - a. Lege in der vorgegebenen Zeit so viele Upwind - Meter wie möglich zurück.
3. Sprünge: (2 min)
 - a. Alle Sprünge mit Kitelenkung
 - b. In der vorgegebenen Zeit musst du so oft und hoch wie möglich springen.
 - c. Bei Stürzen wieder so schnell wie möglich aufs Brett

(Pulsmessung stoppen – Knopf drücken)

- **Bodydrag innerhalb der 200m Bojen!**
- Pulsuhr und Gurt zurückgeben
- Beantwortung der Fragen

1. Wie hoch war dein durchschnittliches subjektives Belastungsempfinden?

1 (extrem leicht) **bis 10** (maximal anstrengend)

2. Wie stark war der Kitedruck?

1 (Höhe halten gerade möglich) **bis 10** (Kante halten kaum möglich).