



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master 's Thesis

„Analyse der leistungsphysiologischen und
sportmedizinischen Parameter im AIROW-Projekt“

verfasst von / submitted by

David Nader BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Master of Science (MSc)

Wien, 2024 / Vienna 2024

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

UA 066 826

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

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	4
Zusammenfassung (Deutsch).....	5
Abstract (English)	6
1 Einleitung	7
1.1 Leistungsphysiologische Grundlagen	8
1.2 Problematik bei der Trainingssteuerung.....	10
1.3 AIROW – Artificial Intelligence in Rowing	11
1.4 Ziel dieser Masterarbeit.....	12
2 Methoden.....	13
2.1 Allgemeines AIROW.....	13
2.2 Studiendesign dieser Masterarbeit.....	13
2.2.1 Labortestungen	13
2.2.2 Ruderergometer	15
2.2.3 RP3 Rowing-Applikation	15
2.2.4 Tablets.....	16
2.2.5 Polar Vantage V2.....	16
2.3 Studienteilnehmer*innen.....	16
2.4 Statistik	17
2.5 Untersuchte Parameter	18
3 Ergebnisse.....	19
4 Diskussion	31
4.1 Limitationen.....	35
4.2 Schlussfolgerungen	36
Tabellenverzeichnis.....	38
Abbildungsverzeichnis	39
Literaturverzeichnis	40

Vorwort

Ich bedanke mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag für die umfangreiche Betreuung der Masterarbeit und für die Möglichkeit, die Studie im „Österreichischen Institut für Sportmedizin“ (ÖISM) durchzuführen. Des Weiteren danke ich Mag. Roland Hudetschek, Dr.ⁱⁿ Nora Klambauer, Dr.ⁱⁿ Theresa Hofbauer, Wolfgang Reith, Gabi Maier, Karin Mesicek und allen Mitwirkenden der Universität Wien für die Unterstützung während der Untersuchungstermine.

Außerdem danke ich dem Österreichischen Nationalteamtrainer Robert Sens sowie den Trainer*innen des Österreichischen Ruderverbandes (ÖRV) für die Zusammenarbeit und die Möglichkeit, das Österreichische Rudernationalteam bei einem Trainingslager begleiten zu dürfen.

Natürlich bedanke ich mich bei den Athlet*innen des Österreichischen Ruderverbandes, die mir durch die Teilnahme an der Studie das Schreiben der Masterarbeit ermöglichten.

Weiters danke ich meinem Bruder Philipp, welcher mich immer bei meinem Studium unterstützt hat.

Ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium ermöglichten und mir zu jeder Zeit unterstützend zur Seite stehen.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei meiner Freundin Ana-Laura bedanken, die mich in allen Bereichen großartig unterstützt und motiviert.

Vielen Dank!

Abkürzungsverzeichnis

AIROW	Artificial Intelligence in Rowing
BMI	Body-Mass-Index
Hb	Hämoglobin
HF	Herzfrequenz
HFmax	Maximale Herzfrequenz
HFRuhe	Ruhe-Herzfrequenz
KFA	Körperfettanteil
La _{2000 m}	Maximale Nachbelastungslaktatkonzentration
LVEDD	Linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser
LVEDD/KOF	Linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser bezogen auf die Körperoberfläche
LVEDD/Körpergröße	Linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser bezogen auf die Körpergröße
MCH	Mittleres korpusukuläres Hämoglobin
MCV	Mittleres Erythrozyten-Einzelvolumen
ÖISM	Österreichisches Institut für Sportmedizin
ÖRV	Österreichischer Ruderverband
P	Watt
t _{2000 m}	Wettkampfzeit

Zusammenfassung (Deutsch)

Hintergrund: Eine kontinuierlich starke Ruderleistung auf nationalen oder internationalem Wettkampfniveau kann nur durch jahrelanges, diszipliniertes Training erreicht werden. Trainingsplanung, -kontrolle und -steuerung spielen hierbei eine bedeutende Rolle.

Zielsetzung: Die AIROW-Studie untersucht in einer breit angelegten Untersuchung im ÖRV mit künstlicher Intelligenz die Trainingssteuerung. Ziel dieser Masterarbeit ist es, im Rahmen der AIROW-Studie den Zusammenhang ausgewählter leistungsphysiologischer und sportmedizinischer Parameter mit der 2000-m-Ruderzeit zu untersuchen.

Methoden: Im Abstand von 79 Tagen wurden 32 österreichische Eliteruder*innen (21 Männer und 11 Frauen, 24 ± 5 Jahre) untersucht. Die Erhebung der sportmedizinischen und leistungsphysiologischen Daten erfolgte im Rahmen eines Testtags mit ärztlicher Untersuchung, Blutabnahme und einem 2000-m-Wettkampfsimulationstest im Labor. Darüber hinaus wurden echokardiographische Daten der Ruder*innen, welche mit maximal einem Monat Abstand zu den Testtagen erhoben wurden, untersucht.

Ergebnisse: Die Wettkampfzeit ($t_{2000\text{ m}}$) hängt signifikant mit der Körpergröße ($n = 31$; $p < 0.001$), dem Körpergewicht ($n = 31$; $p < 0.001$) und dem Body-Mass-Index (BMI; $n = 31$; $p < 0.001$) zusammen. Darüber hinaus korreliert $t_{2000\text{ m}}$ signifikant mit der maximalen Nachbelastungslaktatkonzentration ($La_{2000\text{ m}}$; $n = 31$; $p = 0.007$). Diese Korrelation ist bei Männern ($n = 21$; $p = 0.105$) und Frauen ($n = 10$; $p = 0.310$) nicht nachzuweisen. Des Weiteren besteht ein signifikanter Zusammenhang bei Männern ($n = 12$; $p = 0.002$) und Frauen ($n = 6$; $p = 0.022$), zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und dem indexierten linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser (LVEDD/KOF). Zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und der Herzfrequenz (HF) oder den Blutparametern konnte kein Zusammenhang festgestellt werden.

Schlussfolgerungen: Die großen und schweren Ruder*innen sind schneller bei einem 2000-m-Wettkampfsimulationstest unter Laborbedingungen. Die postulierte Annahme von Heck et al. (2022) bestätigt sich nicht, da kein Zusammenhang zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und $La_{2000\text{ m}}$ festzustellen war. Möglicherweise ist dies auf die unterschiedlichen Kollektive zurückzuführen. Für die Überprüfung der Hypothese sollten weitere Studien mit speziellem Design durchgeführt werden.

Abstract (English)

Background: A consistently strong rowing performance at national or international competition level can only be achieved through years of disciplined training. Training planning, -monitoring and -control play an important role here.

Objective: The AIROW study uses artificial intelligence to investigate training control in a broad-based investigation in the ÖRV. The aim of this master's thesis is to investigate the relation between selected performance-physiological and sports medical-parameters and the 2000 m rowing time as part of the AIROW study.

Methods: At intervals of 79 days, 32 Austrian elite rowers (21 men and 11 women, 24 ± 5 years) were examined. The sports-medical and performance-physiological data was collected by a medical examination, blood sampling and a 2000 m test in the laboratory. In addition, the rowers' echocardiographic data, which was collected no more than one month after the test days, was examined.

Results: The competition time ($t_{2000\text{ m}}$) is significantly related to body height ($n = 31$; $p < 0.001$), body mass ($n = 31$; $p < 0.001$) and body mass index (BMI; $n = 31$; $p < 0.001$). In addition, $t_{2000\text{ m}}$ correlates significantly with the maximum post-exercise lactate concentration ($La_{2000\text{ m}}$; $n = 31$; $p = 0.007$). This correlation cannot be demonstrated for men ($n = 21$; $p = 0.105$) and women ($n = 10$; $p = 0.310$). Furthermore, there is a significant correlation between $t_{2000\text{ m}}$ and the indexed left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD/KOF) in men ($n = 12$; $p = 0.002$) and women ($n = 6$; $p = 0.022$). No correlation was found between $t_{2000\text{ m}}$ and heart rate (HR) or blood parameters.

Conclusions: Larger and heavier rowers are faster in a 2000 m competition simulation test under laboratory conditions. The postulated assumption of Heck et al. (2022) is not confirmed, as no correlation between $t_{2000\text{ m}}$ and $La_{2000\text{ m}}$ was found. This may be due to the different collectives. Further studies with a special design should be carried out to test the hypothesis.

1 Einleitung

Rudern zählt seit 1900 zu den Olympischen Sportarten. Der Rudersport kann sowohl auf unterschiedlichsten Leistungsniveaus als auch in verschiedensten Altersklassen betrieben werden. Bei internationalen Wettkämpfen mit hoher Leistungsdichte wie Weltcup, Weltmeisterschaften oder den Olympischen Spielen ist eine kontinuierlich starke Ruderleistung der Athlet*innen essenziell. Diese kann nur durch jahrelanges, diszipliniertes Training erreicht werden. Trainingsplanung, -kontrolle und -steuerung spielen hierbei eine bedeutende Rolle. Für eine optimale Leistungsentwicklung müssen zum richtigen Zeitpunkt, individuelle Belastungsreize gesetzt werden. Es stellt eine Schwierigkeit dar, die Athlet*innen zum richtigen Zeitpunkt einer passenden Belastungsintensität auszusetzen. Insbesondere nach Verletzungen und Erkrankungen ist die Komplexität einer adäquaten Reizsetzung sehr hoch. Umso bedeutender ist eine fehlerfreie und punktgenaue Trainingssteuerung durch die Trainer*innen sowie Sportwissenschaftler*innen. Pogrebnoy et al. (2019) und Hagg et al. (2021) beschreiben, dass ein fundierter innovativer Ansatz die Trainingsplanung in Zukunft unterstützen könnte. Hierzu zählen die qualitative Erhöhung der Kontrolle sowie Steuerung der Trainingsbelastung im Rudersport.

Auf dieser Annahme basiert das *“Artificial Intelligence in Rowing Projekt”*. Bei dieser Studie werden Leistungsrunder*innen im Rahmen ihres üblichen Trainings- und Wettkampfgeschehens von einem Studienteam, bestehend aus Sportmediziner*innen, Sportwissenschaftler*innen, Statistiker*innen und weiteren Expert*innen, begleitet. Die physiologische Beanspruchung jeder Trainingseinheit wird mittels Wearables erhoben. Zusätzlich werden regelmäßig Leistungsmessungen durchgeführt, um den Verlauf der Leistungsfähigkeit sowie die Trainingswirksamkeit zu überprüfen (Smith & Hopkins, 2012). Ruderergometrien im Labor eignen sich besonders gut, aufgrund ihrer hohen Zuverlässigkeit (r nach Pearson = 0.96), $t_{2000\text{ m}}$ valide zu messen (Schabert et al., 1999; Soper & Hume, 2004a, b; Ritchie, 2008; Holt et al., 2022). Auf Basis der gewonnen Studienergebnisse soll der Trainingsprozess optimiert werden. Die AIROW-Studie versucht mit künstlicher Intelligenz und neuen statistischen Verfahren (maschinellen Lernen) das Trainingsmanagement zu verbessern.

1.1 Leistungsphysiologische Grundlagen

Die olympische Sportart Rudern determiniert sich bei einer zurückgelegten Distanz von 2000 m durch Wettkampfzeiten von 5:20 min für einen Männer-Achter und bis zu 8 min für den Frauen-Einer (Heck et al., 2022). Die leistungsphysiologischen Grundlagen der Ruder*innen sind für diese Zeitspanne weitgehend bestimmt. Die Mehrheit dieser Erkenntnisse sind jedoch vor vielen Jahren gewonnen worden. Darüber hinaus sind in der Literatur ebenso unterschiedliche Ansätze zu finden. Des Weiteren sind die schnellsten Ruderzeiten im letzten Jahrzehnt entstanden. Dies deutet darauf hin, dass sich einerseits die physiologischen Anforderungen und andererseits die Sportart selbst weiterentwickeln. Daher müssen die gewonnenen Erkenntnisse nicht mehr zeitgemäß sein.

Derzeitiger Forschungsstand

Russell et al. (1998), Barrett und Manning (2004), Kerr et al. (2007), Akça (2014) als auch Heck et al. (2022) erläutern, dass sich eine große Körpergröße und ein hohes Körpergewicht, positiv auf die Leistungsfähigkeit im Rudersport auswirken. Die Studienergebnisse von Secher (1993) zeigen, dass erfolgreiche Ruderer der offenen Klasse durchschnittlich 1.95 m groß sind und 95 kg wiegen. Weitere Resultate derselben Studie veranschaulichen, dass die Durchschnittskörpergröße von Ruderinnen der offenen Klasse 1.82 m beträgt und sie ein durchschnittliches Körpergewicht von 80 kg aufweisen (Secher, 1993). Podstawski et al. (2022) weisen in ihren Studienergebnissen darauf hin, dass die besten weiblichen Ruderinnen zwischen 1.7 und 1.8 m groß sind. Der BMI ist bei den Schwergewichtsruder*innen größer als bei den Leichtgewichtsruder*innen (Kerr et al., 2007). Dies ist vor allem auf die größere Muskelmasse zurückzuführen. In der Literatur geht hervor, dass die maximale Herzfrequenz (HFmax) ebenso von der Muskelmasse, welche in der Bewegung involviert ist, abhängt (Stenberg et al., 1967; Klausen et al., 1982). Hagerman und Lee (1971) sowie Jackson und Secher (1976) erläutern, dass es keine Unterschiede bei der HFmax zwischen Schwergewichts- und Leichtgewichtsruder*innen gibt. Nach einem 2000-m-Wettkampfsimulationstest liegt die HFmax zwischen 185 und 200 min⁻¹ (Hagerman & Lee, 1971; Jackson & Secher, 1976; Kyparos et al., 2009; Das et al., 2019). In der Literatur sind keine adäquaten Referenzwerte zur Ruhe-Herzfrequenz (HFRuhe) bei Leistungsruder*innen angegeben. Nach Pelliccia et al. (1991) unterscheiden sich die Herzen der Ruder*innen zu anderen Sportler*innen. Der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser (LVEDD) ist bei Spitzensportler*innen vergrößert (Pressler et al., 2012; Horowitz et al., 2014). Unter Berücksichtigung der Körpergröße (LVEDD/Körpergröße) sind diese Unterschiede nicht mehr nachweisbar (Pressler et al., 2012). Im Rudersport ist jedoch nicht nur die Körpergröße, sondern auch die Körperoberfläche von Bedeutung. Diese setzt sich aus Körpergröße und -gewicht

zusammen. In der Literatur sind keine ruderspezifischen Referenzwerte des LVEDD/KOF beschrieben. Des Weiteren stammt der dominierende Energiebeitrag im Rudersport aus dem aeroben Stoffwechsel (Hagerman, 1984; Pripstein et al., 1999; Heck et al., 2022). Die Blutparameter Erythrozyten, mittlere Erythrozyten-Einzelvolumen (MCV), mittlere korpuskuläre Hämoglobin (MCH), Hämoglobin (Hb), Hämatokrit und Ferritin stehen in Verbindung mit dem Sauerstofftransport im Blut (McClung et al., 2014). Treff et al. (2014) und Johansson et al. (2009) verweisen auf hohe Hämoglobinwerte bei Leistungsruder*innen. Kyparos et al. (2009) beschreiben in ihren Studienergebnissen Hämatokritwerte von $40.8 \pm 2.9 \%$ und Hb-Konzentrationen von $14.6 \pm 0.9 \text{ g} \cdot \text{dL}^{-1}$ bei Ruder*innen, welche an internationalen Wettkämpfen teilnehmen. Fogelholm (1995) beschreibt, dass die Ferritin-Werte bei weiblichen Athletinnen (27 mg/l^{-1}) niedriger sind als bei männlichen Athleten (78 mg/l^{-1}). Höhere Ferritin-Werte haben bei Sportler*innen keine positiven Auswirkungen auf die körperliche Leistungsfähigkeit (Fogelholm, 1995). Darüber hinaus werden im Rudersport Blutlaktatkonzentrationen analysiert, um die Trainingssteuerung und die Entwicklung der Leistungsfähigkeit zu überprüfen (Heck et al., 2022). Bei $\text{La}_{2000 \text{ m}}$ im 2000-m-Wettkampfsimulationstest unter $16 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ kann von einem eher "aeroben Typ" ausgegangen werden. Bei Werten über $22 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ spricht man von einem eher "glykolytischen Typ". Nach Heck et al. (2022) ist der "glykolytische Typ" um 16 Watt beziehungsweise 3 % leistungsfähiger als der "aerobe Typ". Heck et al. (2022) erläutern, dass $\text{La}_{2000 \text{ m}}$ von Frauen durchschnittlich $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ geringer sind als die der Männer. Sowohl bei Männern als auch bei Frauen tritt bei 2000 m Ausbelastungen eine große Spannweite der $\text{La}_{2000 \text{ m}}$ ($> 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) auf (Heck et al., 2022). Heck et al. (2022) beschreiben eine leichte Tendenz zu erhöhten maximalen Laktatwerten, bei höherer Leistungsfähigkeit.

Relevanz der Studie

Die Sportart Rudern und somit auch die Anforderungen an die Athlet*innen entwickeln sich ständig weiter. Technologien, welche auf künstlicher Intelligenz basieren und für die Datenerhebung verwendet werden, können größere Datensätze verwerten. Es gibt jedoch kaum rezente Studien, welche Daten, die den Standards der Zeit entsprechen, untersuchen. Es erschien daher erforderlich, aktuelle Daten zu erheben und den derzeitigen Forschungsstand zu ergänzen.

1.2 Problematik bei der Trainingssteuerung

Trainingssteuerung

Die Periodisierung im Sport beinhaltet die Trainingsplanung, -kontrolle und -steuerung. Es wird die Zielsetzung verfolgt, die höchste individuelle Leistung zum Wettkampfhöhepunkt des Jahres zu erbringen (Matwejew, 1972; Brack et al., 1994). Dabei handelt es sich um einen ganzheitlichen Prozess zur Strukturierung aller trainingsrelevanten Faktoren. Hierbei ist es wichtig, dass das Belastungs-, Beanspruchungskonzept in einem angemessenen Verhältnis zueinandersteht (Otter et al., 2015). Nur auf diese Weise kann eine Verbesserung der sportlichen Leistung erzielt werden. Hierfür gilt die Grundlage, dass mit einer Belastung, eine Beanspruchung einhergeht, welche nur bei fehlerfreier Trainingssteuerung in einer gewünschten Adaptation mündet (Brack et al., 1994). Die Beanspruchung wird unter anderem vom derzeitigen Fitnesszustand, der Ermüdung, dem Stress, dem Gesundheitszustand, der Tageszeit und den Umweltbedingungen beeinflusst. Aus diesem Grund ist für die Erreichung einer Leistungssteigerung die Anpassung der individuellen Trainingsgestaltung essenziell. Heck et al. (2022) erklären, dass Wettkampfrudern ein System leistungsdagnostischer und trainingsobservierender Maßnahmen erfordert, welche die individuellen Adaptationen an das absolvierte Training quantifizierbar machen. Vor allem nach einer akuten Verletzung oder Krankheit ist eine Anpassung der Trainingssteuerung bedeutend. Bei mangelnder Kenntnis bezüglich des Umgangs mit Pathologien, kann es zu Fehlbelastungen kommen, welche sich negativ auf die sportliche Leistung auswirken können.

Möglichkeiten

Wearables und Apps sind unterstützende Systeme, welche die Beanspruchung der Athlet*innen quantifizierbar machen und somit die Trainer*innen bei der Trainingssteuerung unterstützen. Herkömmliche Technologien können die Fülle der größer werdenden Datensätze (Big data) nicht verwerten. Daher müssen neue Ansätze erforscht werden, um die umfangreichen Daten präzise auszuwerten. Die AIROW-Studie greift diese Problematik auf.

AIROW-Studie

Die AIROW-Studie zielt darauf ab, die Trainingssteuerung mit künstlicher Intelligenz zu verbessern. Mithilfe von maschinellem Lernen soll die Trainingssteuerung, einschließlich bei Krankheitsfällen und Verletzungen, fehlerfrei ablaufen. Dies soll dazu dienen, die maximale Leistungsfähigkeit so schnell wie möglich wieder herzustellen beziehungsweise optimal zu entwickeln.

1.3 AIROW – Artificial Intelligence in Rowing

Das AIROW-Projekt wird vom Bundesministerium für Kunst, Kultur, Öffentlichen Dienst und Sport gefördert. Bei der Studie handelt es sich um ein drittmittelfinanziertes Projekt, welches die Fachdisziplinen Data Science, Sportwissenschaft, Trainingswissenschaft, Sportmedizin und Visual Data Analysis beinhaltet. Das Modell gilt als Betreuungsprojekt, welches zu Beginn der Saison 2023 startete. Auf Basis des Studiendesigns und der Förderung soll das Projekt die Ruder*innen unterstützend bis zu den Olympischen Spielen 2024 begleiten.

Prozessvorgang

In Kooperation mit dem ÖRV begleitet das Projektteam die Athlet*innen des österreichischen Nationalteams im Rahmen ihres üblichen Trainings- und Wettkampfgeschehens. Im Zuge dessen werden Trainingsinhalte und -intensitäten detailliert erfasst. Dies erfolgt durch Leistungs- und Belastungsmessungen mittels Wearables und Biomarkern sowie individuellen Angaben der Ruder*innen. Zusätzlich werden regelmäßig Tests, die im Leistungssport Rudern üblicherweise auf dem Ruderergometer abgehalten werden, durchgeführt. In einer App erfolgt die Eingabe der Trainingsdaten von Ruder*innen, welche die Informationen ihres Wohl-, Belastungs- und Erholungsbefindens beinhalten. Außerdem handelt es sich hierbei um die Schnittstelle zur Einbindung externer Messgeräte (z.B. Pulsuhren u.a.) und die Rückspielung von Indikatoren und Handlungsempfehlungen zwischen Sportler*in und Trainer*in. Bei den erfassten Werten handelt es sich um hochdimensionale sowie heterogene athlet*innenspezifische Daten. Auf Basis dieser soll die individuelle Leistungsfähigkeit der Ruder*innen im Zeitablauf quantifiziert werden. Im Zuge dessen kommt es zu der Entwicklung statistischer Ansätze. Hierzu gehören moderne Verfahren der Statistik und des maschinellen Lernens, wie neuronale Netze, selbstlernende Verfahren, Zeitreihenverfahren und Dimensionsreduktionsverfahren. Hiermit sollen die gesamten Daten analysiert und ausgewertet werden. Um dies zu ermöglichen, werden athlet*innenspezifische Variablen erfasst, welche als Prädiktoren für den internen Load dienen können. Außerdem dient die Analyse des externen und internen Trainingsloads zur Prognose des potenziellen Leistungsvermögens eines/r Sportler*in.

Externer und interner Load

Um eine verbesserte Anpassung des Trainingsmanagements zu gewährleisten, erfolgt neben der Analyse von Daten bezüglich der Leistungsfähigkeit (externer Load) auch die Messung athlet*innenspezifischer Faktoren (interner Load). Hierzu zählt unter anderem der aktuelle Gesundheits- und Erholungszustand, die Schlafqualität, die Herzfrequenzvariabilität und die Ernährungsgewohnheiten. Der interne Load kann bei allen

Sportler*innen im Zeitverlauf schwanken. Folglich kann ein identischer externer Load zu verschiedenen Zeitpunkten, zu einem unterschiedlichen internen Load bei dem/der gleichen Sportler*in führen. Athlet*innenspezifische Einflussfaktoren des internen Loads sind multifaktoriell. Aufgrund dessen ist die konkrete Wirkung eines Trainingsimpulses schwer prognostizierbar. Infolgedessen besteht das Risiko einer ungewollten Über- oder Unterbelastung eines/r Athlet*in und eines damit einhergehenden suboptimalen Trainingsprozesses.

Zielsetzung der AIROW-Studie

Die Studie hat als Betreuungsprojekt das Ziel, umfangreiche Daten (Big data) mittels mathematisch-statistischer Verfahren zu analysieren. Aus den gewonnenen Ergebnissen soll relevantes Feedback für die Athlet*innen und Trainer*innen generiert werden, welches zur Optimierung sowie Individualisierung des Trainingsmanagements beiträgt. Darüber hinaus soll die individuelle Wirkung eines bestimmten Trainingsreizes auf die Sportler*innen vorhergesagt werden können. Im Zuge dessen wird versucht, eine verbesserte Anpassung des Trainingsmanagements an die individuellen physiologischen Reaktionen der Ruder*innen zu gewährleisten. Die wesentliche Zielsetzung des Betreuungsprojektes besteht darin, den athlet*innenspezifischen internen Load anhand größerer Datenmengen quantifizieren zu können. Zusätzlich soll die Wirkung spezifischer Trainingsimpulse in bestimmten Situationen besser prognostiziert werden können. Des Weiteren soll ein erweitertes Verständnis erlangt werden, anhand welcher Marker oder Parameter die athlet*innenspezifischen Belastungs-, Gesundheits- und Erholungszustände ideal abgebildet werden können. Dies soll zur Optimierung der individuellen Trainingssteuerung sowie Leistungsfähigkeit im Hochleistungssport beitragen.

1.4 Ziel dieser Masterarbeit

Ziel dieser Masterarbeit ist die Untersuchung ausgewählter leistungsphysiologischer und sportmedizinischer Parameter und deren Zusammenhang zu der im Labor erreichten Wettkampfleistung.

Auf Basis der gewonnenen Daten sollen Zusammenhänge zwischen den leistungsphysiologischen sowie sportmedizinischen Parametern und der 2000-m-Ruderleistung im Labor untersucht werden.

2 Methoden

2.1 Allgemeines AIROW

Beim AIROW-Projekt handelt es sich um eine Kohortenstudie, die sowohl im Querschnitt- als auch im Längsschnittdesign durchgeführt wird. Im Zuge dieser Studie wurden 31 Athlet*innen des Nationalteams des ÖRV in Zusammenarbeit mit deren Trainer*innen untersucht. Die Datenerhebung der Ruder*innen erfolgt täglich bis zu den Olympischen Spielen 2024. Die Datenerfassung beinhaltet die Erhebung athlet*innenspezifischer „Big Data“ aus dem Trainings-, Leistungs-, und Belastungsprozess. Einen weiteren Teil bildet die individuelle Beantwortung von Fragen über eine App. Die Sportler*innen unterziehen sich wöchentlichen Belastungstests, die entweder am Rad- oder Ruderergometer absolviert werden. Im Kalenderjahr 2022 und 2023 finden Termine statt, an denen die Ruder*innen wettkampfnähe Tests an den Ruderergometern verüben. Zusätzlich werden alle sechs Wochen medizinische Untersuchungen im ÖISM durchgeführt. Im Zuge der regelmäßigen Testungen werden leistungsphysiologische sowie sportmedizinische Parameter erfasst. Die Datensammlung dieser Masterarbeit erfolgte von Oktober 2022 bis inklusive Juli 2023.

2.2 Studiendesign dieser Masterarbeit

Datenschutz

Im Rahmen der Studie werden personenbezogene und medizinische Daten erhoben. Aufgrund dessen ist jede/r Sportler*in dazu verpflichtet, eine datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung zu unterzeichnen. Da eine Applikation entwickelt wird, welche sowohl den Athlet*innen als auch deren Trainer*innen personalisierte Auswertungen zur Verfügung stellt, können die erhobenen Daten weder anonymisiert noch pseudoanonymisiert werden. Für wissenschaftliche Arbeiten werden jedoch keine Daten veröffentlicht, mit denen konkrete Personen identifiziert werden können. Sowohl Microsoft Azure als auch der Zentrale Informatikdienst der Universität Wien wurden als Datenbank genutzt. Die transparente Datenverschlüsselung von Azure ist für die automatisch fortlaufende Verschlüsselung der Daten zuständig. Somit wird sichergestellt, dass unbefugte Personen nicht dazu in der Lage sind, die Daten zu lesen oder zu interpretieren. Dies stellt eine zusätzliche Sicherheit zum Schutz der vertraulichen Informationen dar. Darüber hinaus werden Personen mit einem Zugriff auf Azure-Ressourcen laufend von dem privaten Netzwerk der Universität Wien überprüft.

2.2.1 Labortestungen

An jedem 2000-m-Testtag wurden die Sportler*innen im ÖISM medizinisch untersucht. Zu der sportärztlichen Untersuchung dieser Studie zählte eine Anamnese. Diese beinhaltete die eigene Anamnese, die Sportanamnese und die Familienanamnese. Bei der eigenen

Anamnese wurde abgeklärt, ob bei der/dem Sportler*in eine akute oder chronische Erkrankung vorlag. Beim Vorliegen einer akuten Erkrankung wurde vom Teamarzt entschieden, ob die Testung an diesem Tag sinnvoll erschien. Ein weiterer Teil der Sportanamnese war die Befragung nach der derzeitigen sportlichen Tätigkeitsausübung. Darüber hinaus wurde bei der Trainingsanamnese gezielt nach (willkürlichen und unwillkürlichen) sportlichen Pausen aufgrund eventueller Verletzungen gefragt. Bei der Familienanamnese erfolgte eine Datenerhebung bezüglich Herzkrankheiten sowie chronischer und genetischer Erkrankungen, welche bereits in der Familie vorgekommen sind. Des Weiteren wurde eine körperliche Untersuchung durchgeführt. Diese beinhaltete die Erhebung anthropometrischer Daten, die Inspektion, die Perkussion, die Palpation und die Auskultation. Der Blutdruck in Ruhe wurde an beiden Armen gemessen. Zusätzlich unterzogen sich alle Sportler*innen einer orientierenden orthopädischen und neurologischen Begutachtung. Durch das leistungssportliche Training kann es zu adaptiven physiologischen Veränderungen am Herz-Kreislauf-System kommen, welche in Ruhe der Sporttauglichkeit untersucht wurden. Diese können zum Beispiel mit physiologischen EKG-Veränderungen einhergehen. Es können jedoch auch Anomalien festgestellt werden, welche eine zugrundeliegende Herzerkrankung zum Ausdruck bringen (Pelliccia et al., 2000; Corrado et al., 2010). Um Pathologien auszuschließen, wurde bei allen medizinischen Untersuchungen im Rahmen dieser Studie ein Elektrokardiogramm in Ruhe aufgenommen. Des Weiteren wurden bei der ärztlichen Kontrolle eine Lungenfunktionsdiagnostik und eine Blutabnahme durchgeführt. Mit der Spirometrie wurde das Lungenvolumina und die Atemstromstärke erfasst (Criée et al., 2015). Um zu gewährleisten, dass alle teilnehmenden Athlet*innen an einem Tag medizinisch untersucht und sportlich getestet werden können, wurde ein strukturierter Zeitplan eingehalten. Die Beanspruchung der Sportler*innen an einem Testtag war möglichst gering. Der Zeitplan eines 2000-m-Ergometertesttages ist in *Tabelle 1* dargestellt.

Tab. 1: Ablauf des 2000-m-Testtags im ÖISM

P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		P8	
07:00	RuheRaum	Anamnese		07:30	RuheRaum	Anamnese		08:00	RuheRaum	Anamnese		08:30	RuheRaum	Anamnese	
07:15	Anamnese	RuheRaum		07:45	Anamnese	RuheRaum		08:15	Anamnese	RuheRaum		08:45	Anamnese	RuheRaum	
07:30	Aufwärmen	Aufwärmen		08:00	Aufwärmen	Aufwärmen		08:30	Aufwärmen	Aufwärmen		09:00	Aufwärmen	Aufwärmen	
	Aufwärmen	Aufwärmen			Aufwärmen	Aufwärmen			Aufwärmen	Aufwärmen			Aufwärmen	Aufwärmen	
08:10	Test	Test		08:40	Test	Test		09:10	Test	Test		09:40	Test	Test	
08:30	Ende	Ende		09:00	Ende	Ende		09:30	Ende	Ende		10:00	Ende	Ende	

P1, Person Eins; P2, Person Zwei; P3, Person Drei; P4, Person Vier; P5, Person Fünf; P6, Person Sechs; RuheRaum, Ruheuntersuchung; Anamnese, ärztliches Gespräch; Test, 2000-m-Rudertest

Der gesamte Testvorgang wurde immer von einem Athlet*innenpaar durchlaufen. Die gesamte medizinische Untersuchung beanspruchte einen Zeitaufwand von maximal 30 min. Anschließend hatten die Sportler*innen 40 min Zeit, um sich für den 2000-m-Wettkampfsimulationstest selbstständig aufzuwärmen. Hierfür standen den Ruder*innen drei Radergometer, vier Ruderergometer und mehrere Sportmatten zur Verfügung. Die

Ruderergometer entsprachen den gleichen Ergometermodellen, welche für die Testung genutzt wurden. Durch die Einhaltung des Zeitplans wurde gewährleistet, dass jeder/m Athlet*in ein Rad, ein Ruderergometer und eine Sportmatte zur Verfügung stand. Anschließend fand der 2000-m-Wettkampfsimulationstest statt. Dem Athlet*innenpaar war kurz vor dem Start eine Gewöhnungsphase mit dem Testergometer gestattet. Während der Belastung war der Testraum geschlossen. Es befanden sich zwei Athlet*innen, ein/e Sportwissenschaftler*in sowie die Trainer*innen der jeweiligen Sportler*innen im Raum. Die Raumtemperatur betrug zwischen 20 und 22 °C. Blutlaktatkonzentrationen wurden in regelmäßigen Abständen (drei, sechs, neun, zwölf und 20 min), nach Absolvierung des Tests, von den Sportler*innen erhoben. Währenddessen hatten die Teilnehmer*innen ausreichend Zeit sich abzuwärmen und aktiv zu erholen. Die Beanspruchung der Athlet*innen befand sich in einem Zeitrahmen von maximal eineinhalb Stunden.

2.2.2 Ruderergometer

Für die Testungen wurde das RP3-Ruderergometer (Model S/ RP3 Rowing) verwendet. Es ist ein von der FISA unterstützter Rudersimulator. Mittlerweile nutzen Athlet*innen weltweit die dynamische Gerätetechnik (RP3 Rowing, 2022). *Abbildung 1* veranschaulicht das Gerät, welches eine Länge von 2.5 und eine Breite von 0.5 m hat. Die Sitzhöhe beträgt 0.48 m. Der spezielle Kettenantrieb ist in einem Gehäuse verbaut. Das Ergometer kann mit einem Wireless interface BLE mit Android und Tablet/Handy genutzt werden. Hierfür wird Strom von einer Batterie verwendet, welche sich ebenso im Gehäuse befindet. Die Konstruktion ist aus Edelstahl gefertigt und kann ein Maximalgewicht von etwas mehr als vier Tonnen tragen. Das Maschinengewicht beträgt 20 kg.



Abb. 1: Das RP3-Ruderergometer (RP3 Rowing, 2022)

2.2.3 RP3 Rowing-Applikation

Das RP3-Ruderergometer wurde zusammen mit der "RP3 Rowing-Applikation" für das Aufwärmen und die Testungen genutzt. Die RP3 Rowing-Applikation konnte per USB-Anschluss oder über Bluetooth mit dem RP3-Ruderergometer verbunden werden. Die Applikation bot ein fortschrittliches Trainingstool, mit dem Echtzeit-Daten angezeigt werden konnten. Während den 2000-m-Wettkampfsimulationstests erhielten die Athlet*innen Echtzeitinformationen zu folgenden Parametern:

HF, Distanz, Kraftoutput (W), 500m/Split, Schlaglänge, Schlagrate, Zeit.

2.2.4 Tablets

Ein Wearable in Form eines Tablets wurde in dieser Studie genutzt, um die RP3 Rowing-Applikation betreiben zu können. Zunächst sind bereits vorhandene Tablets jeglicher Betreiber ausprobiert worden. Da es bei der Nutzung von Tablets mit dem Betriebssystem iOS im Verlauf der Probetestungen vermehrt zu Abstürzen der RP3 Rowing-Applikation kam, wurden in Folge Tablets mit dem Betriebssystem von Android genutzt. Um Komplikationen zu vermeiden und Ausfälle zu minimieren, fanden Testungen, bei denen die RP3 Rowing-Applikation genutzt wurde, ausschließlich mit Wearables, auf denen ein Android-Betriebssystem installiert ist, statt.

2.2.5 Polar Vantage V2

Um Trainingseinheiten laufend besser analysieren zu können, erhielten alle Teilnehmer*innen der AIROW-Studie eine Sportuhr. Die Polar Vantage V2 ist eine nach Militärnorm geprüfte Sportuhr, welche mit einer Leistung von 120 MHz arbeitet (Polar Electro, 2023). Der Geo-Standort wird mithilfe von GPS, Glonass, Galileo, QZSS, Assisted GPS, Assisted Glonass, Assisted Galileo und Assisted QZSS gemessen (Gløersen et al., 2018). Polar Electro (2023) erläutert, dass in der Sportuhr Precision Prime™, Barometer, Magnetometer-Kompass und Beschleunigungssensoren verbaut sind. Nuuttila et al. (2021) heben die hohe Genauigkeit zwischen den Messwerten der Uhr und den gepoolten Labordaten hervor, welche mit einem sehr hohen Korrelationskoeffizienten einhergehen ($r = 0.993$; $p < 0.001$). Cosoli et al. (2022) und Gruber et al. (2022) vermerken, dass die Leistung von Wearables bei zunehmender Aktivitätsintensität und vermehrten Armbewegungen abnimmt. Die Sportuhr bietet eine gute Unterstützungsmöglichkeit bei der Aufzeichnung der Trainingsbelastungen im AIROW-Projekt.

2.3 Studienteilnehmer*innen

Bei den Proband*innen der Studie handelte es sich um österreichische Ruder*innen. Voraussetzung für die Teilnahme war, dass die Athlet*innen zum Team des ÖRV gehörten. Zu den Studienteilnehmer*innen zählten 21 männliche und 11 weibliche Leistungsruder*innen. Die Ruder*innen unterteilten sich in die offene Klasse, die U23 und die U19. Die anthropometrischen Daten können *Tabelle 2* entnommen werden. Die ÖRV-Athlet*innen wurden von der Studienleitung und den Trainer*innen über die Mitwirkung an der Studie befragt. Als Ausschlusskriterium zählte eine abgelaufene Sporttauglichkeitsbestätigung für den Hochleistungssport.

Tab. 2: Beschreibung der Studienteilnehmer*innen

Männer		
	Schwergewichte (n = 12)	Leichtgewichte (n = 9)
Größe (m)	1.90 ± 0.04 [1.90; 0.06]	1.81 ± 0.03 [1.80; 0.03]
Gewicht (kg)	93.9 ± 4.6 [93.2; 7.8]	73.4 ± 2.1 [74.0; 3.3]
BMI (kg·m ⁻²)	25.4 ± 1.3 [25.5; 1.9]	22.9 ± 1.2 [23.0; 1.4]
Alter (Jahren)	23 ± 4 [23; 4]	24 ± 5 [23; 6]
Frauen		
	Schwergewichte (n = 7)	Leichtgewichte (n = 4)
Größe (m)	1.78 ± 0.03 [1.80; 0.07]	1.63 ± 0.05 [1.70; 0.04]
Gewicht (kg)	72.5 ± 5.8 [73.0; 2.9]	59.4 ± 2.6 [59.0; 4.2]
BMI (kg·m ⁻²)	23.3 ± 1.2 [23.3; 1.6]	21.2 ± 0.9 [21.0; 0.9]
Alter (Jahren)	24 ± 6 [23; 5]	23 ± 3 [23; 5]

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. BMI, Body-Mass-Index; (n = 12 Schwergewichtsruderer; n = 9 Leichtgewichtsruderer; n = 7 Schwergewichtsruderinnen; n = 4 Leichtgewichtsruderinnen)

Unter den Teilnehmer*innen befanden sich 12 Schwergewichtsruderer. Deren Körpergröße betrug zwischen 1.84 und 1.98 m. Die Ruderer der Schwergewichtsklasse wogen von 88 bis 102 kg und hatten einen BMI zwischen 23.4 und 27.9 kg·m⁻². Es nahmen neun Leichtgewichtsruderer bei der Studie teil. Diese waren zwischen 18 und 37 Jahren alt. Die Leichtgewichte der Männer waren zwischen 1.75 und 1.87 m groß. Die Ruderer der Leichtgewichtsklasse wogen zwischen 70 und 76 kg. Der maximale BMI betrug 25.2 und der niedrigste 20.5 kg·m⁻². Des Weiteren nahmen sieben Schwergewichtsruderinnen zwischen 18 und 34 Jahren an der Studie teil. Die Ruderinnen der Schwergewichtsklasse waren zwischen 1.69 und 1.82 m groß. Das Körpergewicht betrug zwischen 61.5 und 81.2 kg. Der BMI der Schwergewichtsruderinnen lag zwischen 20.8 und 24.7 kg·m⁻². Das Alter der Leichtgewichtsruderinnen betrug zwischen 18 und 27 Jahren. Deren Körpergrößen waren zwischen 1.61 und 1.70 m. Die Leichtgewichtsruderinnen wogen zwischen 57 und 63.2 kg. Der BMI lag bei den Ruder*innen der Leichtgewichtsklasse zwischen 19.7 und 22.1 kg·m⁻².

2.4 Statistik

Die erhobenen Daten wurden zunächst in Excel eingetragen und in weiterer Folge mit IBM SPSS Statistics 29 analysiert. Mittels deskriptiver Statistik wurden die höchsten, niedrigsten und durchschnittlichen Werte berechnet. Die Daten wurden als Mittelwert ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] angegeben. Die Überprüfung aller Parameter auf Normalverteilung ($p > 0.05$) erfolgte mit dem Shapiro-Wilk Test. Zur Überprüfung von Zusammenhängen wurde der Pearson-Test herangezogen. Alle Teilnehmer*innen welche an beiden Testtagen teilgenommen haben (n = 12), wurde ein T-

Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. $P < 0.05$ für den α -Fehler wurde als signifikant angesehen.

2.5 Untersuchte Parameter

Die leistungsphysiologischen und sportmedizinischen Parameter, welche in dieser Studie untersucht wurden, sind:

Körpergröße, Körpergewicht, HF, LVEDD, Erythrozyten, MCV, MCH, Hb, Hämatokrit, Ferritin, Blutlaktatkonzentration, Leistung, $t_{2000\text{ m}}$.

3 Ergebnisse

Anthropometrische Daten

Abbildung 2 veranschaulicht die signifikante negative Korrelation aller Teilnehmer*innen ($n = 31$; $r = 0.835$; $p < 0.001$) zwischen der Körpergröße und $t_{2000\text{ m}}$. Sowohl bei den Männern ($n = 21$; $r = 0.650$; $p = 0.001$) als auch bei den Frauen ($n = 10$; $r = 0.753$; $p = 0.012$) liegt eine signifikante negative Korrelation zwischen der Körpergröße und $t_{2000\text{ m}}$ vor.

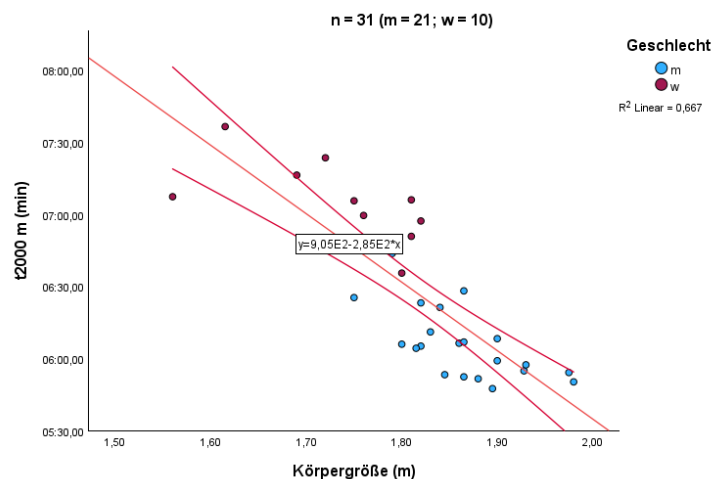


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Körpergröße (m) und $t_{2000\text{ m}}$ (min)

Abbildung 3 veranschaulicht die signifikante negative Korrelation aller Studienteilnehmer*innen ($n = 31$; $r = 0.829$; $p < 0.001$) zwischen dem Körpergewicht und $t_{2000\text{ m}}$. Sowohl bei den Männern ($n = 21$; $r = 0.798$; $p < 0.001$) als auch den Frauen ($n = 10$; $r = 0.709$; $p = 0.023$) liegt eine signifikante negative Korrelation zwischen dem Körpergewicht und $t_{2000\text{ m}}$ vor.

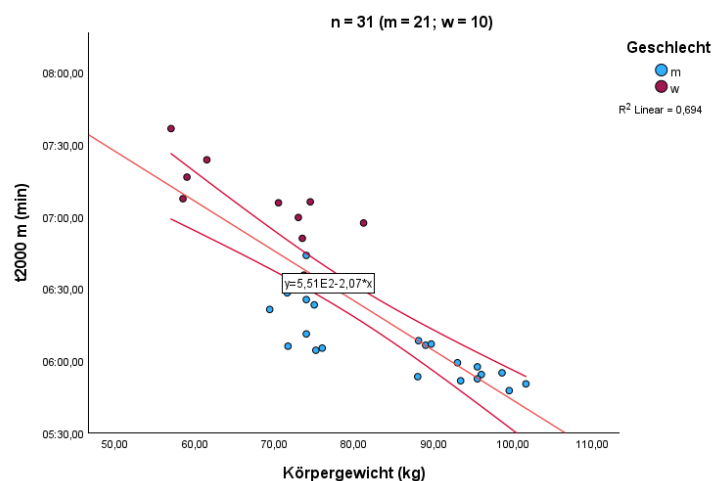


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Körpergewicht (kg) und $t_{2000\text{ m}}$ (min)

Bei den Proband*innen liegt eine statistisch signifikante negative Korrelation ($n = 31$; $r = 0.660$; $p < 0.001$) zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und dem BMI vor. Bei den Männern ($n = 21$) liegt eine signifikante negative Korrelation ($r = 0.644$; $p = 0.003$) zwischen dem BMI und $t_{2000\text{ m}}$ vor (*Abbildung 4*). Bei den Frauen ($n = 10$) liegt keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem BMI und $t_{2000\text{ m}}$ vor (*Abbildung 5*). Hierbei ist ein Trend zu einem signifikanten Ergebnis erkennbar ($p = 0.061$).

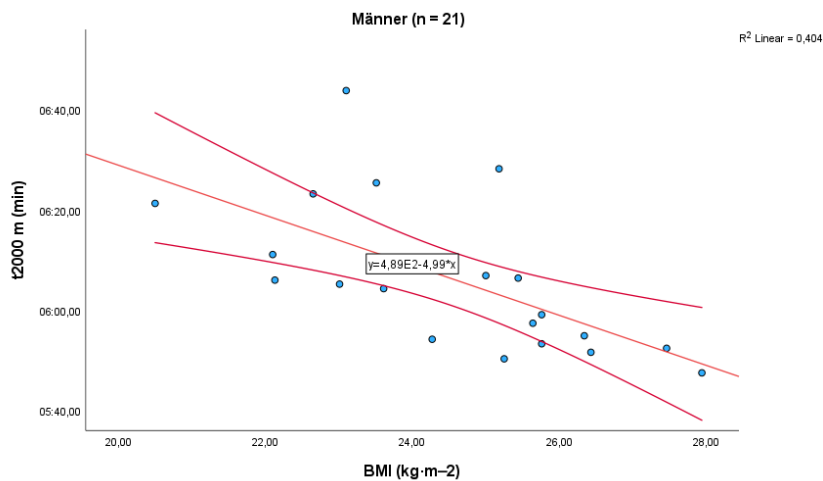


Abb. 4: Männer: Zusammenhang zwischen BMI (kg·m⁻²) und $t_{2000\text{ m}}$ (min)

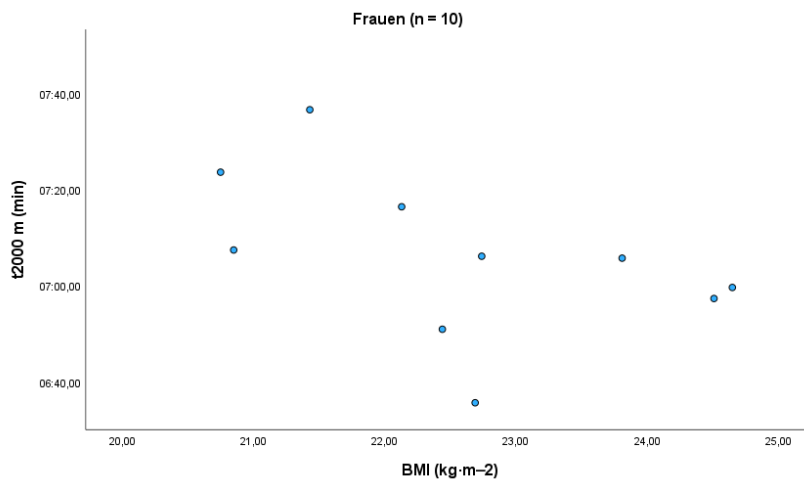


Abb. 5: Frauen: BMI (kg·m⁻²) und $t_{2000\text{ m}}$ (min)

Tabelle 3 veranschaulicht die HFmax und HFRuhe der Studienteilnehmer*innen.

Tab. 3: HFRuhe und HFmax der Athlet*innen

Männer		
	Schwergewichte (n = 12)	Leichtgewichte (n = 9)
HFRuhe (min ⁻¹)	60 ± 10 [63; 14]	61 ± 8 [60; 14]
HFmax (min ⁻¹)	193 ± 8 [194; 13]	193 ± 7 [195; 8]
Frauen		
	Schwergewichte (n = 6)	Leichtgewichte (n = 4)
HFRuhe (min ⁻¹)	63 ± 9 [63; 18]	65 ± 10 [65; 17]
HFmax (min ⁻¹)	193 ± 12 [194; 7]	197 ± 6 [196; 5]

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. HFRuhe, HF in Ruhe; HFmax, maximale HF; (n = 12 Schwergewichtsruderer; n = 9 Leichtgewichtsruderer; n = 6 Schwergewichtsruderinnen; n = 4 Leichtgewichtsruderinnen)

Die HFmax lag bei den Schwergewichtsruderern zwischen 179 und 205 min⁻¹. Die Werte der HFRuhe betrugen zwischen 43 und 68 min⁻¹. Alle männlichen Leichtgewichtsruderer wiesen eine HFmax zwischen 183 und 203 min⁻¹ auf. Deren HFRuhe reichte von 52 bis 73 min⁻¹. Die HFmax der zehn Schwergewichtsruderinnen lag zwischen 163 und 209 min⁻¹. Deren HFRuhe-Werte betrugen zwischen 53 und 70 min⁻¹. Die weiblichen Leichtgewichtsruderinnen hatten eine HFRuhe zwischen 48 und 80 min⁻¹. Deren HFmax betrug zwischen 187 und 208 min⁻¹. Es besteht sowohl bei den Männern (n = 21; p = 0.193) als auch bei den Frauen (n = 10; p = 0.108) keine statistische Korrelation zwischen HFRuhe und t_{2000 m}. Es besteht sowohl bei den Männern (n = 21; p = 0.111) als auch bei den Frauen (n = 10; p = 0.509) keine statistische Korrelation zwischen HFmax und t_{2000 m}.

Tab. 4: LVEDD, LVEDD/Körpergröße und LVEDD/KOF der Athlet*innen

Männer			
	Alle (n = 12)	Schwergewichte (n = 8)	Leichtgewichte (n = 4)
LVEDD (mm)	56.5 ± 3.0 [57.5; 4.0]	57.5 ± 3.5 [58.0; 3.0]	55.5 ± 1.5 [56.0; 1.5]
LVEDD/Körpergröße (mm/m)	30.0 ± 1.5 [30.0; 1.5]	30.0 ± 2.0 [30.0; 1.5]	30.5 ± 1.0 [31.0; 1.0]
LVEDD/KOF (mm/m ²)	27.0 ± 2.5 [27.0; 4.0]	25.5 ± 2.0 [25.5; 2.0]	29.5 ± 0.5 [29.5; 0.5]
Frauen			
	Alle (n = 7)	Schwergewichte (n = 3)	Leichtgewichte (n = 4)
LVEDD (mm)	51.5 ± 4.0 [52.0; 4.5]	53.5 ± 4.5 [53.0; 5.5]	50.5 ± 2.0 [50.5; 3.5]
LVEDD/Körpergröße (mm/m)	30.0 ± 2.0 [31.0; 1.5]	30.0 ± 3.0 [31.0; 3.0]	31.0 ± 1.0 [31.0; 1.0]
LVEDD/KOF (mm/m ²)	29.5 ± 4.0 [31.0; 2.0]	29.0 ± 3.0 [31.0; 3.0]	30.5 ± 2.0 [30.5; 2.0]

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. LVEDD, linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser; LVEDD/Körpergröße, linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser bezogen auf die Körpergröße; LVEDD/KOF linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser bezogen auf die Körperoberfläche; (n = 12 Männer; n = 8 Schwergewichtsruderer; n = 4 Leichtgewichtsruderer; n = 7 Frauen; n = 3 Schwergewichtsruderinnen; n = 4 Leichtgewichtsruderinnen)

Tabelle 4 gibt Aufschluss über den LVEDD, den LVEDD/Körpergröße und den LVEDD/KOF der Proband*innen. Der LVEDD der männlichen Ruderer lag zwischen 55 und 61.5 mm. Der LVEDD/Körpergröße betrug bei allen männlichen Ruderern zwischen 27 und 33 mm/m. Der LVEDD/KOF war zwischen 22.5 und 29 mm/m². Der größte LVEDD der männlichen Schwergewichtsruderer betrug 61 und der niedrigste 55 mm. Deren LVEDD/Körpergröße war zwischen 27 und 32 mm/m. Der LVEDD/KOF der männlichen Schwergewichtsruderer umfasste 25 bis 29 mm/m². Der LVEDD der männlichen Leichtgewichtsruderer betrug zwischen 54 und 58 mm. Deren LVEDD/Körpergröße umfasste 30 bis 32 mm/m. Der LVEDD/KOF der männlichen Leichtgewichtsruderer lag zwischen 29 und 30 mm/m². Der LVEDD aller Ruderinnen betrug zwischen 47.5 und 59 mm. Deren LVEDD/Körpergröße umfasste 26 bis 33 mm/m. Der LVEDD/KOF aller Ruderinnen lag zwischen 24.5 und 31 mm/m². Der LVEDD der weiblichen Leichtgewichtsruderinnen umfasste 48 bis 53 mm. Deren LVEDD/Körpergröße betrug zwischen 29 und 32 mm/m. Der LVEDD/KOF der weiblichen Leichtgewichtsruderinnen umfasste 28 bis 33 mm/m². Es besteht sowohl bei den Männern (n = 12; p = 0.231) als auch bei den Frauen (n = 6; p = 0.761) keine statistisch signifikante Korrelation zwischen LVEDD und t_{2000 m}. Es besteht sowohl bei den Männern (n = 12; p = 0.493) als auch bei den Frauen (n = 6; p = 0.059) keine statistisch signifikante Korrelation zwischen LVEDD/Körpergröße und t_{2000 m}.

Im Gegensatz dazu veranschaulichen *Abbildung 6* und *7* sowohl bei den Männern (n = 12; r = 0.721; p = 0.008) als auch bei den Frauen (n = 6; r = 0.885; p = 0.046) eine positive, statistisch signifikante Korrelation zwischen LVEDD/KOF und t_{2000 m}. Hierbei wurde in der Statistik nicht zwischen Schwer- und Leichtgewichten unterschieden, da der Datensatz zu klein war.

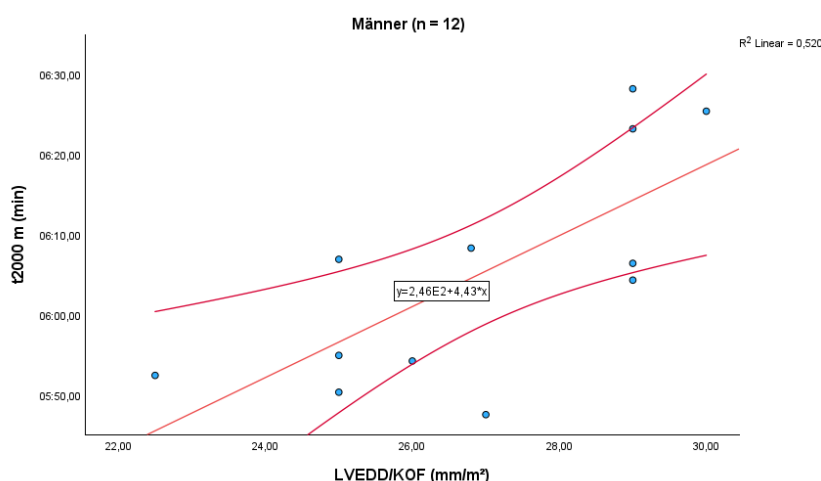


Abb. 6: Zusammenhang zwischen LVEDD/KOF (mm/m²) und t_{2000 m} (min) bei Männern

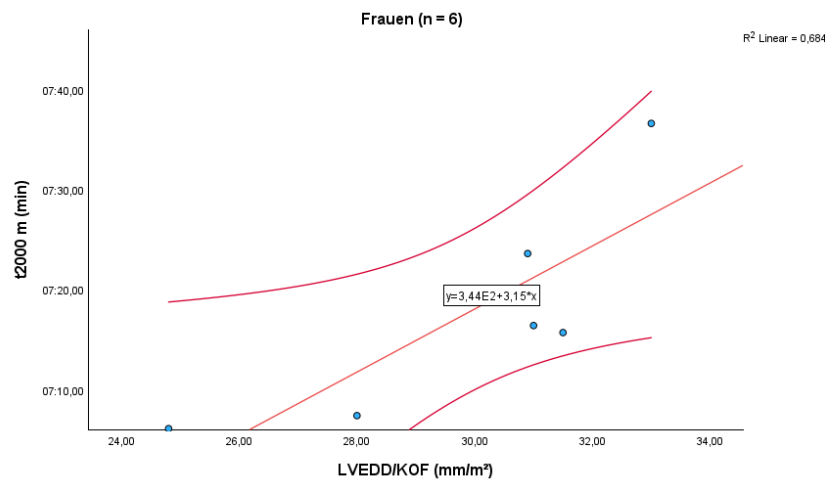


Abb. 7: Zusammenhang zwischen LVEDD/KOF (mm/m²) und t_{2000 m} (min) bei Frauen

In den nachfolgenden Tabellen (5 und 6) werden die erhobenen Blutparameter, welche im Zusammenhang mit dem Sauerstofftransport stehen, abgebildet. Hierzu zählen die Erythrozyten, MCV, MCH, Hb, Hämatokrit und Ferritin. *Tabelle 5* präsentiert die Ergebnisse vom 2000-m-Testtag am 22.12.2022. An diesem Untersuchungstag liegen Blutwerte von 17 männlichen und acht weiblichen Ruder*innen vor. Es gab einen Ruderer, welcher eine erhöhte Erythrozyten-Konzentration hatte.

Tab. 5: Ergebnisse der Blutparameter vom 2000-m-Ergometertesttag am 22.12.2022

2000 m Männer (22.12.2022)		
	Schwergewichte (n = 10)	Leichtgewichte (n = 7)
Erythrozyten (T/l)	5.3 ± 0.3 [5.2; 0.2]	5.2 ± 0.3 [5.1; 0.3]
MCV (fl)	84.0 ± 13.0 [88.0; 3.0]	87.0 ± 2.0 [88.0; 2.0]
MCH (pg)	30.0 ± 1.0 [30.0; 2.0]	30.0 ± 1.0 [30.0; 1.5]
Hb (g·dL ⁻¹)	16.0 ± 0.5 [15.5; 0.5]	15.5 ± 0.5 [15.5; 1.0]
Hämatokrit (%)	47.0 ± 2.0 [46.0; 1.0]	45.0 ± 2.0 [46.0; 2.0]
Ferritin (ng/ml)	79.0 ± 28.0 [79.0; 50.0]	132.0 ± 74.0 [94.0; 87.0]
2000 m Frauen (22.12.2022)		
	Schwergewichte (n = 6)	Leichtgewichte (n = 2)
Erythrozyten (T/l)	4.6 ± 0.2 [4.6; 0.2]	4.6 / 4.7
MCV (fl)	86.0 ± 4.0 [87.5; 5.0]	90.0 / 99.0
MCH (pg)	29.0 ± 2.0 [29.5; 3.0]	30.0 / 33.0
Hb (g·dL ⁻¹)	14.0 ± 1.0 [14.0; 0.5]	14.0 / 15.0
Hämatokrit (%)	40.0 ± 2.0 [40.0; 1.0]	41.0 / 46.0
Ferritin (ng/ml)	34.0 ± 8.0 [35.5; 13.5]	99.0 / 60.0

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt.
 MCV, mittleres Erythrozyten-Einzelvolumen; MCH, mittleres korpuskuläres Hämoglobin; Hb, Hämoglobin; (n = 10 Schwergewichtsrunderer; n = 7 Leichtgewichtsrunderer; n = 6 Schwergewichtsrunderinnen; n = 2 Leichtgewichtsrunderinnen)

Die zehn männlichen Schwergewichtsrunderer hatten eine Erythrozyten-Konzentration zwischen 4.89 und 6.06 T/l. Die Daten von MCV lagen zwischen 44.2 und 94 fl. Die maximal

gemessene MCH-Konzentration betrug 32 und die niedrigste 28 pg. Die Hb-Konzentrationen lagen zwischen 15.1 und 17.5 g/dl. Der Hämatokrit war zwischen 44 und 50 %. Die Ferritin-Konzentrationen reichten von 36 bis 125 ng/ml. Die sieben männlichen Leichtgewichte hatten eine Erythrozyten-Konzentration zwischen 4.79 und 5.67 T/l. Die erhobenen MCV-Konzentrationen lagen zwischen 85 und 91 fl. Die maximal gemessene MCH-Konzentration lag bei 32 und der niedrigste bei 29 pg. Die Hb-Konzentrationen betrugen zwischen 14.4 und 16.5 g/dl. Die Hämatokrit Werte lagen zwischen 42 und 49 %. Die Ferritin-Konzentrationen betrugen zwischen 64 und 267 ng/ml. Die sechs weiblichen Schwergewichtsruderinnen wiesen Erythrozyten-Konzentrationen zwischen 4.29 und 4.9 T/l auf. Die MCV-Konzentrationen betrugen zwischen 81 und 92 fl. Die erhobenen MCH-Konzentrationen lagen zwischen 28 und 32 pg. Die maximal gemessene Hb-Konzentration war bei 14.8 und die niedrigste bei 13 g/dl. Der maximal gemessene Hämatokrit-Wert betrug 42 und der niedrigste 37 %. Die Ferritin-Konzentrationen lagen zwischen 23 und 45 ng/ml.

Tabelle 6 veranschaulicht die Ergebnisse der Blutwerte vom 11.03.2023. An diesem 2000-m-Ergometertesttag wurden Daten von 19 Ruder*innen erhoben. Ein Ruderer wies eine erhöhte Ferritin-Konzentration auf. Darüber hinaus hatten zwei Ruderinnen eine zu niedrige Ferritin-Konzentration. Des Weiteren wurde eine zu geringe Hb-Konzentration bei einer Sportlerin festgestellt.

Tab. 6: Ergebnisse der Blutparameter vom 2000-m-Ergometertesttag am 11.03.2023

2000 m Männer (11.03.2023)		
	Schwergewichte (n = 7)	Leichtgewichte (n = 6)
Erythrozyten (T/l)	5.3 ± 0.3 [5.3; 0.2]	5.1 ± 0.2 [5.1; 0.2]
MCV (fl)	89.0 ± 3.0 [90.0; 3.0]	90.0 ± 2.0 [90.0; 1.5]
MCH (pg)	30.0 ± 1.0 [30.0; 1.5]	30.0 ± 1.0 [30.0; 1.0]
Hb (g/dl)	16.0 ± 1.0 [16.0; 1.0]	15.5 ± 0.5 [15.5; 0.5]
Hämatokrit (%)	47.0 ± 2.0 [48.0; 3.0]	46.0 ± 2.0 [45.5; 2.5]
Ferritin (ng/ml)	80.0 ± 18.0 [84.0; 15.0]	118.0 ± 82.0 [99.0; 62.0]
2000 m Frauen (11.03.2023)		
	Schwergewichte (n = 4)	Leichtgewichte (n = 2)
Erythrozyten (T/l)	4.8 ± 0.1 [4.8; 0.1]	4.3 / 4.1
MCV (fl)	86.0 ± 3.0 [85.5; 6.0]	89.0 / 97.0
MCH (pg)	29.0 ± 2.0 [30.5; 3.5]	30.0 / 33.0
Hb (g/dl)	14.0 ± 0.5 [14.5; 1.0]	13.0 / 14.0
Hämatokrit (%)	42.0 ± 1.0 [41.5; 1.5]	39.0 / 40.0
Ferritin (ng/ml)	26.0 ± 4.0 [27.0; 2.5]	86.0 / 17.0

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt.
 MCV, mittleres Erythrozyten-Einzelvolumen; MCH, mittleres korpuskuläres Hämoglobin; Hb, Hämoglobin; (n = 7 Schwergewichtsruderer; n = 6 Leichtgewichtsruderer; n = 4 Schwergewichtsruderinnen; n = 2 Leichtgewichtsruderinnen)

Die sieben männlichen Schwergewichtsruderer hatten eine Erythrozyten-Konzentration zwischen 4.86 und 5.77 T/l. Die erhobenen MCV-Konzentrationen lagen zwischen 85 und 93 fl. Die maximal gemessene MCH-Konzentration betrug 32 und die niedrigste 28 pg. Die Hb-Konzentrationen befanden sich zwischen 14.4 und 16.7 g/dl. Die Hämatokrit-Werte betrugen zwischen 44 und 49 %. Die Ferritin-Konzentrationen lagen zwischen 40 und 100 ng/ml. Die sechs männlichen Leichtgewichtsruderer hatten Erythrozyten-Konzentrationen zwischen 4.82 und 5.25 T/l. Die erhobenen Konzentrationen von MCV lagen zwischen 88 und 93 fl. Die maximal gemessene MCH-Konzentration betrug 31 und die niedrigste 30 pg. Die Hb-Konzentrationen lagen zwischen 14.4 und 16.4 g/dl. Der Hämatokrit wies Werte von 43 bis 49 % auf. Die Ferritin-Konzentrationen betrugen zwischen 51 und 298 ng/ml. Hierbei ist anzumerken, dass ein Leichtgewichtsruderer eine Ferritin-Konzentration von 1611 ng/ml aufwies. Dieser Wert wurde in der Statistik nicht berücksichtigt. Die vier weiblichen Schwergewichte hatten Erythrozyten-Konzentrationen zwischen 4.69 und 4.94 T/l. Die MCV-Konzentrationen befanden sich zwischen 83 und 91 fl. Die erhobenen MCH-Konzentrationen lagen zwischen 27 und 31 pg. Die Hb-Konzentrationen betrugen von 13 bis 15 g/dl. Der maximal gemessene Hämatokrit-Wert lag bei 43 und der niedrigste bei 40 %. Die Ferritin-Konzentrationen betrugen zwischen 20 und 30 ng/ml. Bei den Männern ($n = 21$) liegt kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und den Erythrozyten ($p = 0.278$), MCV ($p = 0.366$), MCH ($p = 0.200$), Hb ($p = 0.217$), Hämatokrit ($p = 0.191$) sowie Ferritin ($p = 0.427$) vor. Bei den Frauen ($n = 10$) liegt kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und den Erythrozyten ($p = 0.359$), MCV ($p = 0.712$), MCH ($p = 0.317$), Hb ($p = 0.291$), Hämatokrit ($p = 0.613$) sowie Ferritin ($p = 0.160$) vor.

Leistungsphysiologische Daten

Tabelle 7 bildet die leistungsphysiologischen Werte vom 22.12.2022 ab.

Tab. 7: Ergebnisse der leistungsphysiologischen Parameter vom 22.12.2022

2000 m Männer (22.12.2022)		
	Schergewichte (n = 10)	Leichtgewichte (n = 7)
t _{2000 m} (min)	05:57.2 ± 00:07 [05:56.1; 00:12]	06:21.5 ± 00:13 [06:21.9; 00:14]
P (W)	445.0 ± 28.0 [449.0; 35.0]	374.0 ± 37.0 [370.0; 43.0]
P (W/kg)	4.7 ± 0.2 [4.7; 0.1]	5.1 ± 0.5 [4.9; 0.6]
La _{2000 m} (mmol·L ⁻¹)	20.5 ± 2.7 [20.5; 3.1]	17.9 ± 1.9 [17.9; 1.7]
Delta-Laktat 20' (mmol·L ⁻¹)	3.8 ± 2.4 [3.2; 4.5]	6.9 ± 2.1 [7.5; 1.5]
2000 m Frauen (22.12.2022)		
	Schergewichte (n = 6)	Leichtgewichte (n = 2)
t _{2000 m} (min)	07:01.2 ± 00:15 [07:05.4; 00:12]	07:16.4 / 07:07.4
P (W)	278.0 ± 30.0 [267.0; 24.0]	250.0 / 261.0
P (W/kg)	3.9 ± 0.3 [3.8; 0.3]	4.0 / 4.5
La _{2000 m} (mmol·L ⁻¹)	15.6 ± 2.1 [15.5; 2.2]	15.9 / 19.5
Delta-Laktat 20' (mmol·L ⁻¹)	7.2 ± 1.8 [7.5; 2.1]	8.4 / 1.6

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt.

t_{2000 m}, 2000 m Ruderzeit; P, durchschnittlich aufgebrauchte Watt; max. La_{2000 m}, maximale Nachbelastungslaktatkonzentration; Delta-Laktat 20', Delta-Laktat nach 20 Minuten; (n = 10 Schergewichtsmänner; n = 7 Leichtgewichtsmänner; n = 6 Schergewichtsfrauen; n = 2 Leichtgewichtsfrauen)

Der schnellste Schergewichtsruderer absolvierte 2000 m in 5:47,5 und der langsamste in 6:14,2 min. Die Schergewichtsruderer erreichten zwischen 391 und 477 W. Die höchste Blutlaktatkonzentration lag bei 24.95 und die niedrigste bei 15.88 mmol·L⁻¹. Das Delta-Laktat nach 20 min reichte von 0.6 bis 7.6 mmol·L⁻¹. Der schnellste Leichtgewichtsruderer absolvierte 2000 m in 6:04,9 und der langsamste in 6:43,8 min. Hierbei erreichten sie Durchschnittswattwerte zwischen 313 und 426 W. La_{2000 m} der männlichen Leichtgewichte reichten von 15.04 bis 20.96 mmol·L⁻¹. Das Delta-Laktat nach 20 min betrug zwischen 2.39 und 9.9 mmol·L⁻¹. Die sechs Schergewichtsdamen benötigten für die 2000 m zwischen 6:35,6 und 7:23,6 min. Hierbei erreichten sie Durchschnittswattwerte zwischen 335 und 239 W. Die höchste Blutlaktatkonzentration lag bei 18.71 und die niedrigste bei 12.65 mmol·L⁻¹. Das Delta-Laktat nach 20 min reichte von 3.95 bis 9.13 mmol·L⁻¹.

Tabelle 8 veranschaulicht die Ergebnisse der leistungsphysiologischen Werte vom 11.03.2023.

Tab. 8: Ergebnisse der leistungsphysiologischen Parameter vom 11.03.2023

2000 m Männer (11.03.2023)		
	Schwergewichte (n = 7)	Leichtgewichte (n = 6)
t _{2000 m} (min)	06:00.4 ± 00:07 [05:58; 00:14]	06:12.8 ± 00:09 [06:09; 00:15]
P (W)	443.0 ± 25.0 [447.0; 56.0]	399.0 ± 27.0 [412.0; 45.0]
P (W/kg)	4.8 ± 0.3 [4.7; 0.3]	5.4 ± 0.4 [5.5; 0.6]
La _{2000 m} (mmol·L ⁻¹)	18.9 ± 3.6 [19.5; 2.0]	18.4 ± 1.4 [19.5; 1.2]
Delta-Laktat 20' (mmol·L ⁻¹)	3.6 ± 1.7 [3.8; 2.0]	5.4 ± 1.3 [5.1; 1.7]
2000 m Frauen (11.03.2023)		
	Schwergewichte (n = 4)	Leichtgewichte (n = 2)
t _{2000 m} (min)	07:01 ± 00:07 [06:58; 00:06]	07:36.6
P (W)	276.0 ± 14.0 [280.0; 15.0]	215.0
P (W/kg)	3.9 ± 0.3 [4.0; 0.4]	3.8
La _{2000 m} (mmol·L ⁻¹)	17.0 ± 1.7 [17.1; 1.7]	12.5 / 18.9
Delta-Laktat 20' (mmol·L ⁻¹)	8.2 ± 0.8 [8.1; 1.3]	9.2 / 5.9

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt.

t_{2000 m}, 2000 m Ruderzeit; P, durchschnittlich aufgebrauchte Watt; max. La_{2000 m}, maximale Nachbelastungslaktatkonzentration; Delta-Laktat 20', Delta-Laktat nach 20 Minuten; (n = 7 Schwergewichtsruderer; n = 6 Leichtgewichtsruderer; n = 4 Schwergewichtsruderinnen; n = 2 Leichtgewichtsruderinnen)

Der schnellste männliche Schwergewichtsruderer absolvierte 2000 m in 5:51,6 und der langsamste in 6:09,4 min. Dabei erreichten sie Durchschnittswattwerte zwischen 418 und 479 W. Die höchste Blutlaktatkonzentration lag bei 24.63 und die niedrigste bei 13.32 mmol·L⁻¹. Das Delta-Laktat nach 20 min betrug zwischen 1.26 und 6.68 mmol·L⁻¹. Der schnellste Leichtgewichtsruderer benötigte für 2000 m 6:04,3 und der langsamste 6:26,9 min. Hierbei erreichten sie Durchschnittswerte zwischen 357 und 425 W. La_{2000 m} der männlichen Leichtgewichtsruderer betrugen zwischen 15.68 und 19.76 mmol·L⁻¹. Das Delta-Laktat nach 20 min lag zwischen 3.69 und 7.46 mmol·L⁻¹. Die sechs Schwergewichtsruderinnen benötigten für 2000 m zwischen 6:54,4 und 7:12,9 min. Deren Durchschnittswerte betrugen zwischen 253 und 291 W. Die höchste Blutlaktatkonzentration war 19.21 und die niedrigste 14.45 mmol·L⁻¹. Das Delta-Laktat nach 20 min betrug zwischen 7.31 und 9.35 mmol·L⁻¹. Bei den zwei Leichtgewichtsruderinnen beendete nur eine den 2000-m-Wettkampfsimulationstest. Die Zweite brach kurz vor dem Ende den Test ab. Aus diesem Grund wurden nur die Blutlaktatkonzentrationen von beiden Sportler*innen analysiert. Unter den Studienteilnehmer*innen befinden sich nach Heck et al. (2022) sechs „aerobe Typen“ und vier „glykolytische Typen“.

Abbildung 8 veranschaulicht eine signifikante negative Korrelation ($n = 31$; $r = 0.616$; $p < 0.001$) zwischen $La_{2000\text{ m}}$ und $t_{2000\text{ m}}$. Bei den Männern ($n = 21$) liegt keine signifikante Korrelation ($r = 0.364$; $p = 0.105$) zwischen $La_{2000\text{ m}}$ und $t_{2000\text{ m}}$ vor. Bei den Frauen ($n = 10$) liegt keine statistisch signifikante Korrelation ($r = 0.358$; $p = 0.310$) zwischen $La_{2000\text{ m}}$ und $t_{2000\text{ m}}$ vor.

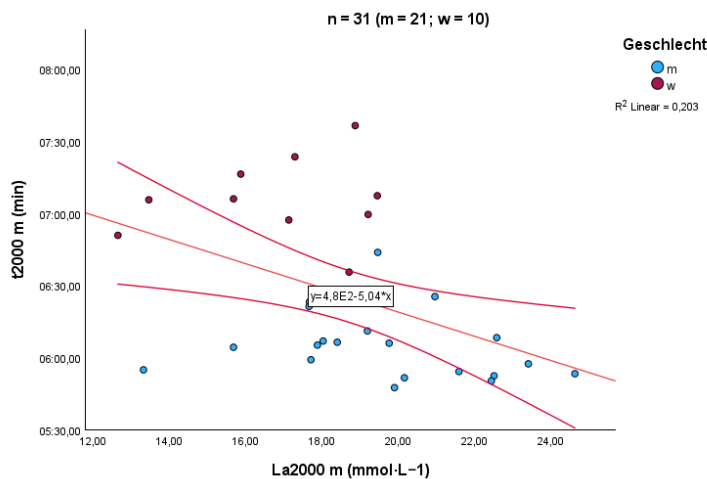


Abb. 8: Zusammenhang zwischen $La_{2000\text{ m}}$ (mmol·L⁻¹) und $t_{2000\text{ m}}$ (min)

Abbildung 9 zeigt einen signifikanten positiven Zusammenhang ($n = 31$; $r = 0.678$; $p < 0.001$) zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und dem Delta-Laktat nach 20 min. Bei den Männern ($n = 21$) liegt eine signifikante positive Korrelation ($r = 0.569$; $p = 0.007$) zwischen dem Delta-Laktat nach 20 min und $t_{2000\text{ m}}$ vor. Bei den Frauen ($n = 10$) liegt keine statistisch signifikante Korrelation ($r = 0.164$; $p = 0.651$) zwischen dem Delta-Laktat nach 20 min und $t_{2000\text{ m}}$ vor.

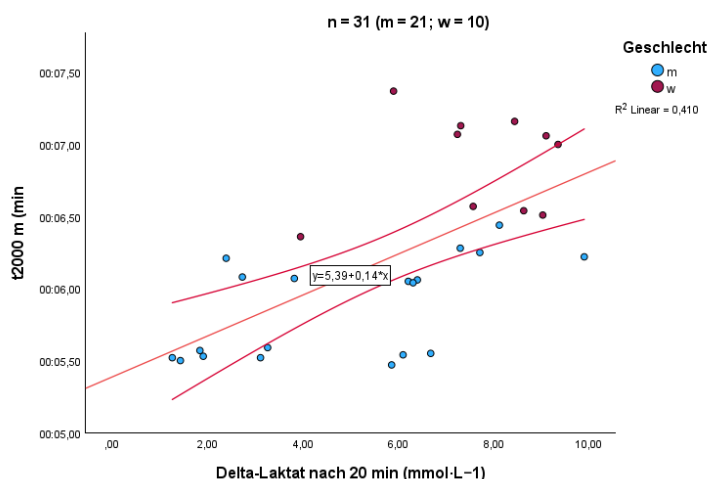


Abb. 9: Zusammenhang zwischen Delta-Laktat nach 20 min (mmol·L⁻¹) und $t_{2000\text{ m}}$ (min)

*Vergleich der Athlet*innen im zeitlichen Verlauf*

Im Laufe der Studie besuchten die Athlet*innen zweimal das ÖISM, um an einem 2000-m-Wettkampfsimulationstest teilzunehmen. Die daraus resultierten Ergebnisse konnten im zeitlichen Verlauf untersucht werden. Zwölf Leistungsruder*innen waren an beiden Terminen vor Ort. In *Tabelle 9* werden die Ergebnisse dargestellt. Die Resultate zeigen, dass sieben der zwölf Ruder*innen beim zweiten Ergometertest schneller waren. Die untersuchten Parameter weisen keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > 0.05$) zwischen Testzeitpunkt 1 und 2 auf.

Tab. 9: Vergleich der Athlet*innen im zeitlichen Verlauf

Vergleich 2k Testung im Verlauf (22.12.2022 & 11.03.2023)													
Datum	Parameter		Schwergewichtsruderer				Leichtgewichtsruderer				Schwergewichtsruderinnen		
22.12.2022	Ruderzeit (min)	05:54.2	05:47.5	05:54.7	05:56.0	06:14.2	06:25.4	06:21.9	06:05.2	06:04.9	07:05.1	07:05.7	07:23.6
	Watt (W)	463	x	x	x	391	361	370.7	426	424	268	266	239
	max. Laktat (mmol·L ⁻¹)	21.59	19.9	24.95	18.6	15.88	20.96	15.04	17.88	15.89	15.83	13.46	17.29
	Delta-Laktat 20' (mmol·L ⁻¹)	6.10	5.86	0.62	7.6	1.35	7.71	9.9	6.21	6.71	7.24	7.78	6.36
	Erythrozyten (T/l)	4.89	5.27	5.28	5.17	5.09	5.07	5.08	4.79	4.95	4.9	4.78	4.54
	MCV (fl)	94	88	87	89	91	86	91	88	88	82	88	81
	MCH (pg)	32	29	29	31	31	29	30	30	32	28	31	26
	Hämoglobin (g/dl)	15.6	15.1	15.4	15.9	15.7	14.5	15.4	14.4	15.6	13.7	14.8	11.7
	Hämatokrit (%)	46	46	46	46	46	44	46	42	44	40	42	37
	Ferritin (ng/ml)	108	50	96	106	51	87	225	113	64	37	34	23
	BMI (kg·m ⁻²)	24.27	27.7	25.76	26.34	25	23.51	22.65	23.01	23.61	24.65	23.81	20.75
11.03.2023	Ruderzeit (min)	05:58.4	06:09.4	05:53.3	05:54.9	06:06.9	06:26.9	06:23.2	06:05.4	06:04.3	06:59.6	06:54.4	07:12.9
	Watt (W)	447	419	466	462.2	418	357	366	420.7	425	277	290.7	253
	max. Laktat (mmol·L ⁻¹)	16.21	17.14	24.63	13.32	18.03	19.19	17.67	18.59	15.68	19.21	14.45	17.2
	Delta-Laktat 20' (mmol·L ⁻¹)	4.23	4.33	1.91	6.68	3.82	4.47	7.46	3.69	6.31	9.35	8.63	7.31
	Erythrozyten (T/l)	5.22	5.77	5.25	5.29	5.11	5.15	4.82	5.15	5.1	4.94	4.8	4.87
	MCV (fl)	92	85	87	93	90	88	89	91	90	83	88	83
	MCH (pg)	32	28	29	31	31	30	30	30	31	28	31	27
	Hämoglobin (g/dl)	16.7	16.4	15.1	16.4	16	15.2	14.4	15.4	16	14	14.8	12.9
	Hämatokrit (%)	48	49	46	49	46	45	43	47	46	41	42	40
	Ferritin (ng/ml)	94	84	92	79	40	77	298	114	51	30	27	20
	BMI (kg·m ⁻²)	24	27.7	25.4	26	24.9	23.5	22.6	23	23.2	23.5	22.6	23
Differenz (Zeit)		00:04.2	00:21.9	00:01.4	00:01.1	00:07.3	00:01.5	00:01.4	00:00.3	00:00.6	00:05.5	00:11.3	00:10.7
Differenz (Watt)		-16	x	x	x	27	-4	-4.7	-5.3	1	9	24.7	14
Differenz (max. Laktat)		-5.38	-2.76	-0.32	-5.28	2.15	-1.77	2.63	0.71	-0.21	3.38	0.99	-0.09
Differenz (Laktat-Delta 20')		-1.87	-1.53	1.29	-0.92	2.47	-3.24	-2.44	-2.52	-0.4	2.11	0.85	0.95
Differenz (Erythrozyten)		0.33	0.5	-0.03	0.12	0.02	0.08	-0.26	0.36	0.15	0.04	0.02	0.33
Differenz (MCV)		-2	-3	0	4	-1	2	-2	3	2	1	0	2
Differenz (MCH)		0	-1	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	1
Differenz (Hämoglobin)		1.1	1.3	-0.3	0.5	0.3	0.7	-1	1	0.4	0.3	0	1.2
Differenz (Hämatokrit)		2	3	0	3	0	1	-3	5	2	1	0	3
Differenz (Ferritin)		-14	34	-4	-27	-11	-10	73	1	-13	-7	-7	-3
Differenz (BMI)		-0.27	0	-0.36	-0.34	-0.1	-0.01	-0.05	-0.01	-0.39	-1.15	-1.21	2.25

Daten sind als Absolutwerte dargestellt.

Ruderzeit, 2000 m Ruderzeit, Wattleistung, Wattleistung, durchschnittlich aufgebrachte Watt, max. Laktatwert, maximal gemessene Blutlaktatkonzentration, Delta-Laktat 20', Delta-Laktat nach 20 min, MCV, mittleres Erythrozyten-Einzelvolumen, MCH, mittleres korpuskuläres Hämoglobin, Hb, Hämoglobin, BMI, Body-Mass-Index, (n = 5 Schwergewichtsruderer, n = 4 Leichtgewichtsruderer, n = 3 Schwergewichtsruderinnen)

4 Diskussion

Ruderergometrien werden durchgeführt, um Sportler*innen im Quer- und Längsschnitt zu vergleichen und Kader zu bilden. Diese Studie zeigt, welche leistungsphysiologischen sowie sportmedizinischen Parameter mit einer besseren Ruderleistung im Labor zusammenhängen. Die Resultate geben allerdings lediglich Aufschluss über die physiologischen Parameter auf dem Ruderergometer und nicht über die Ruderfähigkeit auf dem Wasser.

Körpergewicht, Körpergröße und Leistungsfähigkeit

In Übereinstimmung mit der Literatur korrelieren in dieser Studie Körpergröße und -gewicht negativ mit $t_{2000\text{ m}}$ auf dem Ruderergometer (Russell et al., 1998; Barrett & Manning, 2004; Kerr et al., 2007; Akça, 2014; Heck et al., 2022). Im Kapitel der Ergebnisse veranschaulicht *Abbildung 6* die signifikante negative Korrelation ($n = 31$; $r = 0.835$; $p < 0.001$) zwischen der Körpergröße und $t_{2000\text{ m}}$. Zusätzlich zeigen die Studienresultate eine signifikante negative Korrelation ($n = 31$; $r = 0.829$; $p < 0.001$) zwischen dem Körpergewicht und $t_{2000\text{ m}}$. Diese Ergebnisse gelten für alle Teilnehmer*innen ($n = 31$) als auch explizit für Männer ($n = 21$) und Frauen ($n = 10$). In diesem Zusammenhang zeigen die Studienergebnisse von Secher (1993), dass erfolgreiche Ruderer der offenen Klasse durchschnittlich 1.95 m groß sind und 95 kg wiegen. Weitere Resultate derselben Studie veranschaulichen, dass Weltklasseruderinnen der offenen Klasse eine Durchschnittskörpergröße von 1.82 m aufweisen und das durchschnittliche Körpergewicht 80 kg beträgt (Secher, 1993). Im Gegensatz dazu zeigen die Resultate der vorliegenden Studie, dass Ruderer der Schwergewichtsklasse durchschnittlich 1.90 ± 0.04 m groß sind und durchschnittlich 93.9 ± 4.6 kg wiegen. Folglich entsprechen mehrere männliche Schwergewichtsruderer nicht den Werten für erfolgreiche Ruderer nach Secher (1993). Die Ruderinnen der Schwergewichtsklasse sind durchschnittlich 1.78 ± 0.03 m groß und wiegen im Durchschnitt 72.5 ± 5.8 kg. Nach Secher (1993) entsprechen die Studienteilnehmerinnen nicht den anthropometrischen Voraussetzungen für erfolgreiche Ruderinnen der offenen Klasse. Eine Ruderin, welche bei den Olympischen Spielen erfolgreich war und die schnellste Ruderzeit der Studienteilnehmerinnen hatte, stimmt mit den von Secher (1993) beschriebenen anthropometrischen Voraussetzungen überein. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse dieser Studie eine signifikante negative Korrelation ($n = 31$; $r = 0.532$; $p < 0.001$) zwischen dem BMI und $t_{2000\text{ m}}$. Hierbei geht ein höherer BMI mit einer schnelleren Ruderzeit einher. Dieses signifikante Resultat gilt auch bei den männlichen Probanden ($n = 21$; $r = 0.644$; $p = 0.003$). Der höhere BMI ist im Leistungsrudern auf eine größere Muskelmasse und nicht auf einen hohen Körperfettanteil (KFA) zurückzuführen (Kerr et al., 2007). Bei den weiblichen Probandinnen ($n = 10$) liegt kein signifikanter Zusammenhang ($p = 0.067$)

zwischen dem BMI und $t_{2000\text{ m}}$ vor. Dies ist möglicherweise auf die geschlechterspezifischen Körperkompositionen und dem damit verbundenen höheren KFA bei Frauen, zurückzuführen. Einen weiteren Grund könnte die niedrige Fallzahl der Studienteilnehmerinnen darstellen. Der Autor vermutet, dass bei einem größeren Datensatz das Ergebnis signifikant wird. Angesichts der beschriebenen Tatsachen lässt sich schließen, dass ein höheres Körpergewicht und eine größere Körpergröße statistisch gesehen zu einer schnelleren $t_{2000\text{ m}}$ im Labor führen.

Linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser und rudergometrische Leistungsfähigkeit

Die vorliegende Studie zeigt nur teilweise Übereinstimmungen mit der Literatur. Horowitz et al. (2014) verweisen in ihren Ergebnissen auf ein größeres Herzvolumen bei erfolgreichen Ausdauersportler*innen. Schwergewichtsruderer ($n = 8$), welche größer, schwerer und schneller als Leichtgewichtsruderer ($n = 4$) sind, weisen durchschnittlich einen größeren LVEDD ($\emptyset = + 2\text{ mm}$) auf. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht statistisch signifikant. Im Gegensatz dazu haben Leichtgewichtsruderer durchschnittlich einen größeren LVEDD/KOF als Schwergewichtsruderer ($\emptyset = + 4\text{ mm/m}^2$). Dieses Ergebnis ist statistisch signifikant ($p = 0.002$) und auf das niedrigere Körpergewicht und -größe der Leichtgewichtsruderer zurückzuführen. Dasselbe Erkenntnis gilt auch bei den Schwergewichts- ($n = 3$) und Leichtgewichtsruderinnen ($n = 4$). Der LVEDD ist bei den Schwergewichtsruderinnen durchschnittlich 3 mm größer als bei den Leichtgewichtsruderinnen. Im Gegensatz dazu haben die Leichtgewichtsruderinnen durchschnittlich einen 1.5 mm/m^2 größeren LVEDD/KOF als die Schwergewichtsruderinnen. Diese Erkenntnis ist trotz kleinem Datensatz signifikant ($p = 0.022$). Bei der Untersuchung von LVEDD/Körpergröße kam es zu keinem signifikanten Resultat ($p > 0.05$). Die HFmax der Sportler*innen betrugen zwischen 183 und 208 min^{-1} und sind somit deckungsgleich mit den Ergebnissen von Das et al. (2019). Darüber hinaus stellt die vollzogene Studie Referenzwerte für die HFRuhe von Leistungsruder*innen dar.

*Blutwerte bei Leistungsruder*innen*

Die untersuchten Blutparameter stehen in Zusammenhang mit dem Sauerstofftransport im Blut. Folglich wurde die Hypothese aufgestellt, dass höhere Konzentrationen relevanter Blutwerte (Erythrozyten, MCV, MCH, Hb, Ferritin bzw. Hämatokrit) mit einer höheren Leistungsfähigkeit einhergehen könnten, da der dominierende Energiebeitrag beim Rudern aus dem aeroben Stoffwechsel stammt (Hagermann, 1984; Pripstein et al., 1999; Heck et al., 2022). Johansson et al. (2009) und Treff et al. (2014) verweisen auf eine hohe Hb-Konzentration bei Leistungsruder*innen. Hingegen zeigt diese Studie andere Ergebnisse.

Es zeigen sich lediglich vereinzelt Hb-Konzentrationen im oberen Normbereich. Im Gegensatz dazu weist eine Ruderin eine zu niedrige Hb-Konzentration auf. Die erhobenen Hb-Konzentrationen sind mit denen von Kyparos et al. (2009) deckungsgleich. Darüber hinaus zeigen die Resultate der Studie, dass der genannte Parameter bei Ruderern höher ist als bei Ruderinnen. Der Hämatokrit ist bei den Probanden ebenfalls größer als bei den Probandinnen. Darüber hinaus sind die erhobenen Hämatokrit-Werte deutlich höher als die von Kyparos et al. (2009). Erwartungsgemäß zeigen die Resultate höhere Ferritin-Konzentrationen bei den männlichen Ruderern. Fogelholm (1995) beschreibt, dass die Ferritin-Konzentrationen bei weiblichen Athletinnen niedriger sind als bei männlichen Athleten. Die Ergebnisse dieser Studie sind mit der Literatur deckungsgleich. Fogelholm (1995) erklärt, dass höhere Ferritin-Konzentrationen keine positiven Auswirkungen auf die körperliche Leistungsfähigkeit haben. Darüber hinaus zeigen die Studienresultate, dass weder die Ferritin-Konzentration noch die weiteren untersuchten Blutparameter statistisch mit der erreichten $t_{2000\text{ m}}$ im Labor zusammenhängen.

Laktat und Leistungsfähigkeit

Heck et al. (2022) beschreiben sowohl bei Frauen ($n = 70$, Mehrfachnennungen) als auch Männern ($n = 312$, Mehrfachnennungen), eine leichte Tendenz zu erhöhten maximalen Blutlaktatkonzentrationen bei höherer Leistungsfähigkeit. Die durchgeführte Studie führt zu einem anderen Ergebnis. Geschlechtsunabhängig zeigen die analysierten Daten ebenso, dass die schnellsten Ruder*innen die höchsten $La_{2000\text{ m}}$ aufweisen ($n = 31$; $r = 0.3$; $p = 0.007$). Dieses Ergebnis wird von Männern, welche tendenziell schnellere Ruderzeiten und höhere $La_{2000\text{ m}}$ aufweisen, beeinflusst. Diesbezüglich erläutern Heck et al. (2022), dass $La_{2000\text{ m}}$ von Frauen durchschnittlich $2.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ geringer sind als die der Männer. Entsprechend sind $La_{2000\text{ m}}$ der Ruderinnen bei dieser Studie um $2.42\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ geringer als die der Ruderer und beeinflussen ebenso das signifikante Ergebnis. Unter Berücksichtigung des Geschlechts sind die Resultate dieser Studie sowohl bei Männern ($n = 21$; $r = 0.364$; $p = 0.105$) als auch Frauen ($n = 10$; $r = 0.358$; $p = 0.310$) statistisch nicht mehr signifikant. Daher deuten die Ergebnisse dieser Studie an, dass erhöhte $La_{2000\text{ m}}$ nicht mit einer schnelleren $t_{2000\text{ m}}$ zusammenhängen. Aufgrund dessen kann die Vermutung aufgestellt werden, dass die von Heck et al. (2022) miteinbezogenen „Mehrfachnennungen“, diese Behauptung verfälscht haben. Infolgedessen wurde in dieser Studie ein weiterer Parameter untersucht, welcher möglicherweise auf die Leistungsfähigkeit der Ruder*innen schließen kann und die Geschlechterunterteilung berücksichtigt. Die Ergebnisse der Studie zeigen einen signifikanten positiven Zusammenhang ($n = 31$; $r = 0.4$; $p < 0.001$) zwischen $t_{2000\text{ m}}$ und dem Delta-Laktat nach 20 min. Dieses Resultat zeigt sich ebenso bei den männlichen Teilnehmern ($n = 21$; $r = 0.569$;

$p = 0.007$). Eine kürzere $t_{2000\text{ m}}$ geht mit einem geringeren Abbau der Blutlaktatkonzentration nach Belastung einher. In diesem Zusammenhang kann die Behauptung aufgestellt werden, dass ein niedrigeres Delta-Laktat nach 20 min mit einer kürzeren $t_{2000\text{ m}}$ zusammenhängt. Bisher wurde in der Literatur nur von einer höheren Leistungsfähigkeit bei höheren maximalen Blutlaktatkonzentrationen berichtet (Hecket al., 2022). Deshalb sollten vermehrt Studien zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Delta-Laktat und der Ruderfähigkeit durchgeführt werden, da sich bei den Studienteilnehmerinnen kein signifikantes Ergebnis zwischen dem Delta-Laktat und $t_{2000\text{ m}}$ zeigt ($p > 0.05$). Der Menstruationszyklus hat hierbei keine Auswirkungen auf den Abbau der Blutlaktatkonzentration (Jurkowski et al., 1981). Andererseits könnten neue Perspektiven durch die genauere Untersuchung des Delta-Laktats entstehen. Möglicherweise entwickeln sich neue submaximale Testmöglichkeiten, ohne Ausbelastung, um auf die Leistungsfähigkeit von Ruder*innen schließen zu können. Aufgrund einer Forschungslücke werden hierbei die mangelnden Alternativen deutlich. Darüber hinaus repräsentieren die Resultate, dass Schwergewichtsruder*innen tendenziell mehr Laktat im Blut produzieren als Leichtgewichtsruder*innen. Dies könnte auf den geringeren Anteil der Muskelmasse der Leichtgewichtsruder*innen zurückzuführen sein. Des Weiteren berichten Heck et al. (2022), dass sowohl bei Männern als auch bei Frauen eine große Spannweite von $La_{2000\text{ m}}$ ($> 10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) auftritt. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen lediglich bei den Schwergewichtsruderern eine Spannweite von $> 10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Hierbei reichen die maximalen $La_{2000\text{ m}}$ von 24.95 bis 13.32 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Zu diesen gemessenen Blutlaktatkonzentrationen liegen $t_{2000\text{ m}}$ von 05:54.7 und 05:54.9 min vor. Dadurch wird die Vermutung bestärkt, dass höhere $La_{2000\text{ m}}$ nicht mit einer kürzeren $t_{2000\text{ m}}$ zusammenhängen.

Drei Athletinnen im Zeitverlauf

Die drei Schwergewichtsruderinnen, welche an beiden Testtagen teilgenommen haben, weisen positive Ergebnisse bezüglich $t_{2000\text{ m}}$ auf. Sie absolvierten den zweiten 2000-m-Wettkampfsimulationstest zwischen 5.5 und 11.3 Sekunden schneller als den Ersten. Folglich ist bei allen Teilnehmerinnen die durchschnittliche Leistung zwischen neun und 25 W angestiegen. Bei zwei Ruderinnen hat sich $La_{2000\text{ m}}$ erhöht. Dies bestärkt die Studienresultate von Heck et al. (2022). Diese heben hervor, dass hohe Laktatwerte mit einer höheren Leistungsfähigkeit einhergehen. Des Weiteren ist bei allen drei Athlet*innen das Delta-Laktat nach 20 min angestiegen. Dies deutet auf eine höhere Regenerationsfähigkeit und Intensitätsverträglichkeit hin. Infolgedessen könnte dies einen Indikator für eine bessere psychische sowie körperliche Belastbarkeit darstellen. Zusätzlich zeigt sich bei allen drei Ruderinnen eine erhöhte Erythrozyten-Anzahl. Dies könnte einen besseren Sauerstofftransport bei den Athletinnen zur Folge gehabt haben. Hierfür gibt es

jedoch keinen statistischen Ansatz. Im Gegensatz dazu ist bei allen drei Sportlerinnen der Ferritin-Wert gesunken. Möglicherweise besteht bei diesen Parametern ein Zusammenhang mit $t_{2000\text{ m}}$, welcher sich bei einem größeren Datensatz zeigt. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Studie einen signifikanten Zusammenhang ($n = 31$; $r = 0.532$; $p < 0.001$) zwischen dem BMI und $t_{2000\text{ m}}$. Hierbei geht ein höherer BMI mit einer kürzeren Ruderzeit einher. Bei den Frauen ($n = 10$) liegt kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p = 0.180$) zwischen dem BMI und $t_{2000\text{ m}}$ vor. Bei zwei der drei Ruderinnen wurde am Testtag mit der kürzeren $t_{2000\text{ m}}$, ein niedrigerer BMI ermittelt. Einerseits kann dadurch die Vermutung aufgestellt werden, dass nur bei den Männern ein höherer BMI von Vorteil ist. Andererseits könnte dies bedeuten, dass ein höherer BMI bei Frauen eher mit einem höheren KFA einhergeht, welcher sich negativ auf $t_{2000\text{ m}}$ auswirkt (Kerr et al., 2007; Busta et al., 2023). Der Grund für den niedrigeren BMI geht aus den übrigen Resultaten nicht hervor. Es könnte sich sowohl um einen niedrigeren KFA als auch verlorene Skelettmuskelmasse handeln. Es existiert eine Vielzahl weiterer Gründe, welche eine Verbesserung der sportlichen Leistungsfähigkeit hervorrufen konnten. Unter anderem könnte es sich hierbei um eine Erhöhung des professionellen Trainings, neue Trainer*innen, einen erhöhten Fokus auf den Rudersport oder die physische und psychische Reife der Athlet*innen handeln.

4.1 Limitationen

Innerhalb der durchgeführten Studie sind im Verlauf Probleme aufgetreten, welche zu möglichen Limitationen geführt haben. Die Planung beinhaltete 2000-m-Testtage, welche laut ÖRV und Studienplan alle sechs Wochen im ÖISM stattfinden hätten sollen. In dem für diese Studie geplanten Zeitraum konnten ÖRV-bedingt statt fünf jedoch nur zwei Testungen durchgeführt werden. Dies ist im Wesentlichen auf geänderte Trainingsplanungen zurückzuführen. Im Zuge der Zusammenarbeit mit Leistungssportler*innen muss mit einer hohen Komplikationsrate gerechnet werden. Infolgedessen haben lediglich zwölf Ruder*innen an beiden Testtagen teilgenommen. Aus diesem Grund ist der Datensatz für die zeitliche Analyse geringer als in der Planungsphase angenommen und die längsschnittliche statistische Auswertung weniger robust. Aufgrund des kleinen Datensatzes (Männer $n = 12$; Frauen $n = 6$) sind bei der Untersuchung der Parameter LVEDD und LVEDD/KOF, Schwer- und Leichtgewichtsruder*innen gemeinsam analysiert worden. Daher sind Fehleinschätzungen möglich. Für die Testung am Ruderergometer sind unterschiedliche Devices genutzt worden. Aufgrund dessen war es nicht möglich, alle Informationen einheitlich zu erheben. Als weitere Limitation gilt das fehlende regelmäßige Protokollieren des KFA vor den 2000-m-Wettkampfsimulationstests. Aufgrund dessen wäre der variierende BMI dem Verlust von Skelettmuskelmasse oder Körperfett zuzuordnen.

Diese Information ist von Bedeutung, da im Rudersport unter anderem auch ein niedriger KFA bedeutsam für gute Leistungen ist (Kerr et al., 2007). Situationsbedingt kann sich die HFRuhe an den Testtagen von der HFRuhe an einem Tag ohne Ruderwettkampf unterscheiden. Anpassungsbedingt kommt es an den Wettkampftagen zu einer Erhöhung der HFRuhe. Ein Indiz hierfür ist der erhöhte Blutdruck, welcher bei den Athlet*innen vor dem 2000-m-Wettkampfsimulationstest festgestellt wurde. Als weitere Limitation kann der ungleiche Datensatz der weiblichen Teilnehmer*innen angesehen werden. Dieser bestand unter anderem aus einer Olympia-Medaillengewinnerin sowie Nachwuchssportlerinnen. In der für diese Studie herangezogenen Literatur sind die untersuchten Teilnehmer*innen ebenfalls nicht einheitlich. Während Treff et al. (2014) und Das et al. (2019) den Begriff „Elite-Ruder*innen“ verwenden, beschreiben Podstawski et al. (2022) ihre Teilnehmer*innen als „Ungarische Ruder*innen“. Es ist stark zu bezweifeln, dass hierbei die Proband*innen dieselben körperlichen Fähigkeiten aufweisen. Darüber hinaus kann die Beschreibung „Leistungsrunder*innen, welche an internationalen Wettkämpfen teilnehmen“, unterschiedlich interpretiert werden.

Um diese Limitationen zu umgehen, sollten außerhalb der Wettkampfsaison mehrere Testtage, wie im theoretisch geplanten Vorhaben, verwirklicht werden. Infolgedessen wären alle Datensätze deutlich größer und aussagekräftiger. Darüber hinaus sollte vor dem 2000-m-Wettkampfsimulationstest der KFA der Athlet*innen mittels Hautfalten-Methode bestimmt werden (Cosgrove et al., 1999). Zusätzlich sollten die 2000-m-Wettkampfsimulationstests einheitlich mit einem Device durchgeführt werden, um die einheitliche Sicherung der Daten zu gewährleisten. Hierfür wäre vor dem Rennstart das Einloggen in einen Account sinnvoll. In diesem Fall könnte dieser Account für die AIROW-Studienleitung zugänglich sein. Somit hätten alle involvierten Personen automatisch Zugriff auf die Leistungsdaten.

4.2 Schlussfolgerungen

Nach einem Jahr Laufzeit verzeichnet die AIROW-Studie die ersten leistungsphysiologischen und sportmedizinischen Ergebnisse. Wie erwartet, bestätigt sich die Vermutung, dass die Körpergröße und das Körpergewicht positive Auswirkungen auf $t_{2000\text{ m}}$ haben. Bereits im frühen Jugendalter kann die Körpergröße mittels Handröntgenbild bestimmt werden und zur Talentauswahl beitragen. Des Weiteren wurde bestätigt, dass die schnellsten Ruder*innen, geschlechtsunabhängig, höhere $La_{2000\text{ m}}$ aufweisen als die langsameren Athlet*innen. Hierzu sollten weitere Studien durchgeführt werden, da die geschlechtsabhängigen Daten nicht signifikant waren. Darüber hinaus sollte das Delta-Laktat in weiteren Studien untersucht werden. Es könnte für submaximale Rudertests herangezogen werden. Diesbezüglich werden wenige Alternativen in der Literatur

beschrieben. Der momentane Datensatz bestätigt keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen den Blutparametern und $t_{2000\text{ m}}$. In diesem Fall sollten die Untersuchungen fortgesetzt werden. Möglicherweise liefert ein größerer Datensatz andere Resultate.

Tabellenverzeichnis

<i>TAB. 1: ABLAUF DES 2000-M-TESTTAGS IM ÖISM</i>	14
<i>TAB. 2: BESCHREIBUNG DER STUDIENTEILNEHMER*INNEN</i>	17
<i>TAB. 3: HFRUHE UND HFMAX DER ATHLET*INNEN</i>	21
<i>TAB. 4: LVEDD, LVEDD/KÖRPERGRÖßE UND LVEDD/KOF DER ATHLET*INNEN</i>	21
<i>TAB. 5: ERGEBNISSE DER BLUTPARAMETER VOM 2000-M-ERGOMETERTESTTAG AM 22.12.2022</i>	23
<i>TAB. 6: ERGEBNISSE DER BLUTPARAMETER VOM 2000-M-ERGOMETERTESTTAG AM 11.03.2023</i>	24
<i>TAB. 7: ERGEBNISSE DER LEISTUNGSPHYSIOLOGISCHEN PARAMETER VOM 22.12.2022</i>	26
<i>TAB. 8: ERGEBNISSE DER LEISTUNGSPHYSIOLOGISCHEN PARAMETER VOM 11.03.2023</i>	27
<i>TAB. 9: VERGLEICH DER ATHLET*INNEN IM ZEITLICHEN VERLAUF</i>	30

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: DAS RP3-RUDERERGOMETER (RP3 ROWING, 2022)	15
Abb. 2: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN KÖRPERGRÖÖE (M) UND T2000 M (MIN)	19
Abb. 3: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN KÖRPERGEWICHT (KG) UND T2000 M (MIN)	19
Abb. 4: MÄNNER: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN BMI (KG·M ⁻²) UND T2000 M (MIN).....	20
Abb. 5: FRAUEN: BMI (KG·M ⁻²) UND T2000 M (MIN)	20
Abb. 6: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN LVEDD/KOF (MM/M ²) UND T2000 M (MIN) BEI MÄNNERN	22
Abb. 7: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN LVEDD/KOF (MM/M ²) UND T2000 M (MIN) BEI FRAUEN	23
Abb. 8: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN LA2000 M (MMOL·L ⁻¹) UND T2000 M (MIN)	28
Abb. 9: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DELTA-LAKTAT NACH 20 MIN (MMOL·L ⁻¹) UND T2000 M (MIN)	28

Literaturverzeichnis

- Akça F. (2014). Prediction of rowing ergometer performance from functional anaerobic power, strength and anthropometric components. *Journal of human kinetics*, 41, 133–142. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0041>
- Barrett, R. S., & Manning, J. M. (2004). Relationships between rigging set-up, anthropometry, physical capacity, rowing kinematics and rowing performance. *Sports biomechanics*, 3(2), 221–235. <https://doi.org/10.1080/14763140408522842>
- Brack, R., Hohmann, A., & Wieland, H. (1994). *Trainingssteuerung - Konzeptionelle und trainingsmethodische Aspekte*. Stuttgart: Nagelschmid.
- Busta, J., Hellebrand, J., Kinkorová, I., & Macas, T. (2023). Morphological and hand grip strength characteristics and differences between participants of the 2022 world rowing championship. *Frontiers in sports and active living*, 5, 1115336. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1115336>
- Corrado, D., Pelliccia, A., Heidbuchel, H., Sharma, S., Link, M., Basso, C., Biffi, A., Buja, G., Delise, P., Gussac, I., Anastasakis, A., Borjesson, M., Bjørnstad, H. H., Carrè, F., Deligiannis, A., Dugmore, D., Fagard, R., Hoogsteen, J., Mellwig, K. P., Panhuyzen-Goedkoop, N., ... Section of Sports Cardiology, European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation (2010). Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete. *European heart journal*, 31(2), 243–259. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp473>
- Cosgrove, M. J., Wilson, J., Watt, D., & Grant, S. F. (1999). The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000 m ergometer test. *Journal of sports sciences*, 17(11), 845–852. <https://doi.org/10.1080/026404199365407>
- Cosoli, G., Antognoli, L., Veroli, V., & Scalise, L. (2022). Accuracy and Precision of Wearable Devices for Real-Time Monitoring of Swimming Athletes. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(13), 4726. <https://doi.org/10.3390/s22134726>
- Crée, C. P., Baur, X., Berdel, D., Bösch, D., Gappa, M., Haidl, P., Husemann, K., Jörres, R. A., Kabitz, H. J., Kardos, P., Köhler, D., Magnussen, H., Merget, R., Mitfessel, H., Nowak, D., Ochmann, U., Schürmann, W., Smith, H. J., Soricther, S., Voshaar, T., ... Worth, H. (2015). Leitlinie zur Spirometrie. Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga, der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin und der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin zur Spirometrie [Standardization of spirometry: 2015 update. Published by German Atemwegsliga, German Respiratory Society and German Society of Occupational and Environmental Medicine]. *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*, 69(3), 147–164. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1391345>

- Das, A., Mandal, M., Syamal, A. K., & Majumdar, P. (2019). Monitoring Changes of Cardio-Respiratory Parameters During 2000m Rowing Performance. *International journal of exercise science*, 12(2), 483–490.
- Fogelholm M. (1995). Indicators of vitamin and mineral status in athletes' blood: a review. *International journal of sport nutrition*, 5(4), 267–284.
<https://doi.org/10.1123/ijsn.5.4.267>
- Gløersen, Ø., Kocbach, J., & Gilgien, M. (2018). Tracking Performance in Endurance Racing Sports: Evaluation of the Accuracy Offered by Three Commercial GNSS Receivers Aimed at the Sports Market. *Frontiers in physiology*, 9, 1425.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01425>
- Gruber, M., Peltonen, J., Bartsch, J., & Barzyk, P. (2022). The validity and reliability of counter movement jump height measured with the Polar Vantage V2 sports watch. *Frontiers in sports and active living*, 4, 1013360. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1013360>
- Hagerman, F. C., & Lee, W. D. (1971). Measurement of oxygen consumption, heart rate, and work output during rowing. *Medicine and science in sports*, 3(4), 155–160.
- Hagerman F. C. (1984). Applied physiology of rowing. *Sports medicine*. 1(4), 303–326.
<https://doi.org/10.2165/00007256-198401040-00005>
- Hagg, A., Asteroth, A., Rasche, C., Bach, K., & Pfeiffer, M. (2021). *Künstliche Intelligenz für den Spitzensport im Spannungsfeld zwischen Big und Small Data*. (Bericht, Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft). Sportverlag Strauß.
- Heck, H., Bartmus, U., & Grabow, V. (2022). *Laktat: Stoffwechselgrundlagen, Leistungsdiagnostik, Trainingssteuerung*. 557– 606. Springer.
- Holt, A. C., Siegel, R., Ball, K., Hopkins, W. G., & Aughey, R. J. (2022). Prediction of 2000-m on-water rowing performance with measures derived from instrumented boats. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 32(4), 710–719. <https://doi.org/10.1111/sms.14125>
- Horowitz, I., Cafri, C., Zeller, L., Vodonos, A., Perry, Z. H., & Kobal, S. L. (2014). Athlete's heart in Israel: fact or fiction. *The Israel Medical Association journal: IMAJ*, 16(1), 46–49.
- Jackson, R. C., & Secher, N. H. (1976). The aerobic demands of rowing in two Olympic rowers. *Medicine and science in sports*, 8(3), 168–170. <https://doi.org/10.1249/00005768-197600830-00006>
- Johansson, P. I., Ullum, H., Jensen, K., & Secher, N. H. (2009). A retrospective cohort study of blood hemoglobin levels in blood donors and competitive rowers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 19(1), 92–95. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00771.x>
- Jurkowski, J. E., Jones, N. L., Toews, C. J., & Sutton, J. R. (1981). Effects of menstrual cycle on blood lactate, O₂ delivery, and performance during exercise. *Journal of applied physiology*:

- respiratory, environmental and exercise physiology*, 51(6), 1493–1499.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.6.1493>
- Kerr, D. A., Ross, W. D., Norton, K., Hume, P., Kagawa, M., & Ackland, T. R. (2007). Olympic lightweight and open-class rowers possess distinctive physical and proportionality characteristics. *Journal of sports sciences*, 25(1), 43–53.
<https://doi.org/10.1080/02640410600812179>
- Klausen, K., Secher, N. H., Clausen, J. P., Hartling, O., & Trap-Jensen, J. (1982). Central and regional circulatory adaptations to one-leg training. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 52(4), 976–983.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.4.976>
- Kyparos, A., Vrabas, I. S., Nikolaidis, M. G., Riganas, C. S., & Kouretas, D. (2009). Increased oxidative stress blood markers in well-trained rowers following two thousand-meter rowing ergometer race. *Journal of strength and conditioning research*, 23(5), 1418–1426.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a3cb97>
- Matwejew, L. (1972). Die Periodisierung des sportlichen Trainings. *Leistungssport*, 2(6), S. 401-409. https://www.iat.uni-leipzig.de/datenbanken/iks/open_archive/ls/1972_6_401-409_Matwejew.pdf
- McClung, J. P., Gaffney-Stomberg, E., & Lee, J. J. (2014). Female athletes: a population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance. *Journal of trace elements in medicine and biology: organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)*, 28(4), 388–392. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.06.022>
- Nuuttila, O. P., Korhonen, E., Laukkanen, J., & Kyröläinen, H. (2021). Validity of the Wrist-Worn Polar Vantage V2 to Measure Heart Rate and Heart Rate Variability at Rest. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(1), 137. <https://doi.org/10.3390/s22010137>
- Otter, R. T., Brink, M. S., Lamberts, R. P., & Lemmink, K. A. (2015). A New Submaximal Rowing Test to Predict 2,000-m Rowing Ergometer Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 29(9), 2426–2433. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000902>
- Pelliccia, A., Maron, B. J., Spataro, A., Proschan, M. A., & Spirito, P. (1991). The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes. *The New England journal of medicine*, 324(5), 295–301. <https://doi.org/10.1056/NEJM199101313240504>
- Pelliccia, A., Maron, B. J., Culasso, F., Di Paolo, F. M., Spataro, A., Biffi, A., Caselli, G., & Piovano, P. (2000). Clinical significance of abnormal electrocardiographic patterns in trained athletes. *Circulation*, 102(3), 278–284. <https://doi.org/10.1161/01.cir.102.3.278>
- Podstawski, R., Boryśławski, K., Katona, Z. B., Alföldi, Z., Boraczyński, M., Jaszczur-Nowicki, J., & Gronek, P. (2022). Sex Differences in Anthropometric and Physiological Profiles of Hungarian Rowers of Different Ages. *International journal of environmental research and public health*, 19(13), 8115. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138115>

- Pogrebnoy, A., Ostrikov, A., & Yu., G. (2019). Substantiation of innovative approach to control and management of training loads in rowing. *Theory and Practice of Physical Culture*, 12, 92-94.
- Polar Electro (2023, September). Polar Vantage V2. <https://www.polar.com/at-de/vantage/v2>
- Pressler, A., Haller, B., Scherr, J., Heitkamp, D., Esefeld, K., Boscheri, A., Wolfarth, B., & Halle, M. (2012). Association of body composition and left ventricular dimensions in elite athletes. *European journal of preventive cardiology*, 19(5), 1194–1204. <https://doi.org/10.1177/1741826711422455>
- Pripstein, L. P., Rhodes, E. C., McKenzie, D. C., & Coutts, K. D. (1999). Aerobic and anaerobic energy during a 2-km race simulation in female rowers. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 79(6), 491–494. <https://doi.org/10.1007/s004210050542>
- Ritchie, A. C. (2008). Dynamic modeling of ergometer and on-water rowing. *Sports Technology*, 1(2-3), 110-116. <https://doi.org/10.1080/19346182.2008.9648461>
- RP3 Rowing (2022, März). *RP3 Ruderergometer*. <https://rp3rowing.ch/rowing-simulator/>
- Russell, A. P., Le Rossignol, P. F., & Sparrow, W. A. (1998). Prediction of elite schoolboy 2000m rowing ergometer performance from metabolic, anthropometric and strength variables. *Journal of sports sciences*, 16(8), 749–754. <https://doi.org/10.1080/026404198366380>
- Schabort, E. J., Hawley, J. A., Hopkins, W. G., & Blum, H. (1999). High reliability of performance of well-trained rowers on a rowing ergometer. *Journal of sports sciences*, 17(8), 627–632. <https://doi.org/10.1080/026404199365650>
- Secher N. H. (1993). Physiological and biomechanical aspects of rowing. Implications for training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 15(1), 24–42. <https://doi.org/10.2165/00007256-199315010-00004>
- Smith, T. B., & Hopkins, W. G. (2012). Measures of rowing performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 42(4), 343–358. <https://doi.org/10.2165/11597230-000000000-00000>
- Soper, C., & Hume, P. A. (2004a). Towards an ideal rowing technique for performance : the contributions from biomechanics. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(12), 825–848. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434120-00003>
- Soper, C., & Hume, P. A. (2004b). Reliability of power output during rowing changes with ergometer type and race distance. *Sports biomechanics*, 3(2), 237–248. <https://doi.org/10.1080/14763140408522843>
- Stenberg, J., Astrand, P. O., Ekblom, B., Royce, J., & Saltin, B. (1967). Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *Journal of applied physiology*, 22(1), 61–70. <https://doi.org/10.1152/jappl.1967.22.1.61>

Treff, G., Schmidt, W., Wachsmuth, N., Völzke, C., & Steinacker, J. M. (2014). Total haemoglobin mass, maximal and submaximal power in elite rowers. *International journal of sports medicine*, 35(7), 571–574. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1358476>