

Aus dem Forschungsbereich Sport- und Bewegungsmedizin
des Fachbereichs Sportwissenschaft
der Universität Hamburg

Leiter: Prof. Dr. med. K. M. Braumann

**Spiroergometrie im Schwimmkanal: Vergleich
metabolisch-kardiopulmonaler und technisch-
koordinativer Kenngrößen zwischen den Hilfsmitteln
Paddles, Pull-Buoy
und der ganzen Lage**

Dissertationsschrift
zur Erlangung des doctor medicinae

vorgelegt
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg
von

Anke Nachtigahl
aus Buchholz i.d.N.

2001

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am: 25. September 2001

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

i.V.d.

Dekan: Prof. Dr. Jüde

Referent: Prof. Dr. K.H. Braumann

Koreferent: Prof. Dr E. Rumberger

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	3
1.1. Historischer Überblick über die Entwicklung der Leistungsdiagnostik bei Schwimmsportlern und die Bedeutung der Gegenstromanlage	3
1.2. Bedeutung des Themas	8
1.3. Bedeutung der vorliegenden Studie	10
1.4. Fragestellung	12
2. Material und Methoden	14
2.1. Probanden	14
2.2. Versuchsablauf	15
2.3. Statistische Methoden	23
2.4. Kritik der Methoden	24
3. Ergebnisse	27
3.1. Ergebnisdarstellung	27
3.2. Geschwindigkeitsstufen	27
3.3. Respiratorische Parameter	29
3.3.1. Sauerstoffaufnahme	29
3.3.2. Kohlendioxydabgabe	38
3.3.3. Respiratorischer Quotient	46
3.3.4. Atemminutenvolumen	53
3.4. Ökonomie.....	60
3.5. Laktatverhalten	66
3.6. Herzfrequenz	73
3.7. Armzugfrequenz	79
4. Diskussion	86
4.1. Übersicht, theoretische Vorbemerkungen	86
4.2. Submaximale Geschwindigkeiten	88

4.2.1. Respiratorische Parameter.....	88
4.2.2. Laktat.....	90
4.2.3. Armzugfrequenz.....	92
4.2.4. Ökonomie.....	93
4.2.5. Herzfrequenz.....	93
4.3. Maximale Geschwindigkeiten	94
4.3.1. Respiratorische Parameter.....	94
4.3.2. Herzfrequenz.....	95
4.3.3. Laktat.....	96
4.3.4. Armzugfrequenz.....	96
4.4. Vergleich männlicher und weiblicher Probanden	97
4.5. Ausblick	99
5. Zusammenfassung.....	101
6. Literaturverzeichnis	103
7. Anhang	117
7.1. Anamnese–und Befundbogen	117
7.2. Einverständniserklärung.....	119
8. Danksagung	121
9. Lebenslauf	122
10. Erklärung.....	124

1. Einleitung

1.1. Historischer Überblick über die Entwicklung der Leistungsdiagnostik bei Schwimmsportlern und die Bedeutung der Gegenstromanlage

Aufgrund verbesserter apparativ-meßtechnischer Verfahren und Anwendungsmöglichkeiten im Medium Wasser, kamen beim Schwimmen immer häufiger wissenschaftlich nachweisbare Verfahren zur Anwendung. Davon zeugen unter anderem zahlreiche Studien, die z.B. vom Widerstand des Schwimmers (13,62,158,159,166,169), von Metabolismus (101,108,170), anthropometrischen Einflußgrößen (12,28,125,146), Trainingsauswirkungen auf die Technik, sowie auf den Organismus (4,54,73,86,107,161), Biomechanik (8,50,120,163,154) und respiratorischen Parametern (12,22,101,108,141,152) beim Schwimmen handeln.

Dabei sind wie in kaum einer anderen Sportart beim Schwimmen neben den physiologischen Voraussetzungen und der metabolischen Leistungsfähigkeit der peripheren Muskulatur des Schwimmers dessen koordinative und technische Fähigkeiten von großer Bedeutung (161). Die Tatsache aber, daß Weltklasseleistungen auch mit einem deutlich niedrigerem Trainingsumfang zu erzielen sind, bzw. daß Altersschwimmer häufig keinen großen Zeitenabfall aufweisen, zeigt, daß Technik und Wassergefühl in ihrer Bedeutung bisher offensichtlich unterschätzt werden (130).

Dennoch wird in der Leistungsdiagnostik im Bereich des deutschen Schwimmverbandes in erster Linie die metabolische Leistungsfähigkeit des Schwimmers beurteilt (64,79,80,90,94,149).

Hierbei gibt es prinzipiell die Möglichkeit eines Laktat-Leistungstests oder die Leistungsbestimmung mit Hilfe der Spiroergometrie.

In der historischen Entwicklung wurden die leistungsbestimmenden Faktoren bei Ausdauersportarten zunächst von den Parametern des Gasaustauschs abgeleitet und über

spiroergometrische Meßmethoden bestimmt (65,94,177,179).

Somit hat die Erfassung spirometrischer Daten durch die von Knipping und Brauer 1924 entwickelte Spiroergometrie, die ursprünglich auf medizinische Anwendungsgebiete abzielte (85), auf den Gebieten der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung große Bedeutung gefunden (34,91).

Im Zuge der Entwicklung der Laktatmethoden zur Darstellung der Leistungsfähigkeit des Sportlers, die um 1956 systematisch einsetzte (30), kam es jedoch in vielen sportmedizinischen Untersuchungszentren zu einer Abkehr von der Spiroergometrie als Routinemeßmethode (56,81,149).

Ein weiterer Grund für den Wandel lag im großen meßmethodischen Aufwand und der fehlenden Transparenz spirometrischer Ergebnisse für die Sportler und Trainer.

Während bei der Laktatbestimmung die einzelnen Meßwerte und deren Verlauf mit früheren Daten und biologischen Orientierungshilfen (aerobe Schwelle (im Durchschnitt bei ungefähr 2 mmol/l), aerob-anaerober Übergangsbereich (im Durchschnitt bei ungefähr 2-4 mmol/l) und anaerobe Schwelle (im Durchschnitt bei ungefähr 4 mmol/l)) direkt verglichen werden können (82), und die ermittelte anaerobe Schwelle ein objektives Maß für die Ausdauerleistungsfähigkeit darstellt (7,56,82,94,148,186), spiegelt die Spiroergometrie nur indirekt eine entstehende Belastungsazidose wieder, indem die Kohlendioxydabgabe bei zuerst noch gleichbleibend linear ansteigender Sauerstoffaufnahme überlinear wächst (V-Slope-Methode) (10). Dieses wird durch eine HCO_3^- -Pufferung des Laktats bei Belastungen oberhalb der anaeroben Schwelle bedingt (10,176,178), wobei es zu einer Nachbildung des verbrauchten Kohlendioxyds durch Hyperventilation nach der Gleichung: $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ kommt (139).

So beschränkt sich auch die physiologische Leistungsdiagnostik im Schwimmen seit vielen Jahren auf die Durchführung verschiedener Laktatstufentests, wie zum Beispiel die nach der Methode von Pansold (117) oder Simon (144).

Dabei wird aber oft übersehen, daß auch der Laktatwert nicht ohne Schwierigkeiten zu interpretieren ist und ebensowenig die einzige relevante Größe für die Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung bei Ausdauersportarten darstellt (79,87,181).

Bei der Laktatbestimmung zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit wird heutzutage die Belastungshöhe als wichtigstes Kriterium angesehen, bei der das maximale Laktat-Steady-

State erreicht wird. Dieser Wert entspricht weitgehend der aerob-anaeroben Schwelle (39,44,55,56,148), die als die höchstmögliche Belastungsintensität, welche ohne zunehmende Belastungsazidose über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten werden kann, definiert ist (93,179).

Doch im Gegensatz zur Spiroergometrie ist bei der Laktatbestimmung die Beurteilung der Stoffwechsellage nur zu einem bestimmten Zeitpunkt, und nicht online, also über einen Zeitraum, möglich.

Durch Registrierung respiratorischer Parameter können gleichzeitig Aussagen über die Technik und Ökonomie eines Schwimmers gemacht werden (23,24,25,43,125), die dann in Beziehung zu den metabolischen und physiologischen Verhältnissen gebracht werden können.

Doch die Spiroergometrie war gerade im Schwimmsport mit besonderen Schwierigkeiten behaftet, denn im Gegensatz zu anderen Ausdauersportarten wie Rudern, Radfahren oder Laufen war die Beurteilung respiratorischer Parameter unter sportartspezifischen Bedingungen bisher nur mit großem Aufwand möglich. So mußte mit der Meßapparatur am Rand des Schwimmbeckens neben dem Schwimmer hergegangen werden, wobei Schlauchsysteme den Schwimmer besonders bei seiner Wende am Beckenrand behinderten (72), oder die respiratorischen Daten wurden in einer Pause erfaßt und durch Rück-Extrapolation bewertet (32).

Gleichzeitig ist es aber in kaum einer anderen Sportart wie im Schwimmen so essentiell wichtig, daß das spezielle Leistungsvermögen unter sportartspezifischen Bedingungen, also im Wasser und im trainings- bzw. wettkampfspezifischen Bewegungsablauf zu erfassen ist, da gerade auch die Ökonomie und Technik des Schwimmers eine große Bedeutung für die erreichbare Leistung hat (142,144).

Es wurde zwar oft versucht, aus Fahrradergometer- oder Laufbandtests Aussagen über die Leistungsfähigkeit bei Schwimmern zu machen (41), jedoch konnte bewiesen werden, daß schwimmt- und streckenspezifische Tests eine deutlich höhere Aussagefähigkeit besitzen (95,144), insbesondere, da auf dem Fahrradergometer zusätzlich noch die bei Schwimmern schlecht trainierte Beinmuskulatur belastet wird (142).

So ist es eigentlich auch nicht verwunderlich, daß ein auf dem Fahrradergometer durchgeführter Leistungstest nur einen sehr lockeren Zusammenhang mit der tatsächlichen

schwimmerischen Wettkampfleistung besitzt (144). Durch die kleinere beanspruchte Muskelmasse, den Druckverhältnissen im Wasser und den erhöhten venösen Blutrückstrom während der horizontalen Lage beim Schwimmen, und dem daraus resultierenden niedrigeren zu überwindenden hydrostatischen Druck, werden bei einer Schwimmbelastung im Gegensatz zu einer Fahrrad- oder Laufbandergometrie niedrigere maximale Herzfrequenz- und Laktatwerte erreicht (72,97,143,144). Zusätzlich kommt beim Schwimmen hauptsächlich die verhältnismäßig kleine Armmuskulatur 78,146) und beim Radfahren bzw. Laufen die relativ große Beinmuskulatur zum Einsatz (142), was ebenfalls die unterschiedlichen Meßwerte erklärt (115,182).

Ein weiterer Nachteil der spirometrischen Meßverfahren im Pool ist, daß eine kontinuierliche Aufzeichnung der respiratorischen Parameter während des Schwimmens nur schwer ermöglicht werden kann, da die Mechanik und Apparatur der kontinuierlichen Meßgeräte gegenüber dem Wasser und Bewegungen empfindlich sind, und es durch die Anwendung portabler Spirometriesysteme zusätzlich zu einer Beeinträchtigung der freien Bewegungskoordination kommt (129), die besonders die Wenden im Pool beeinträchtigen.

Zu den klassischen Methoden der diskontinuierlichen Meßverfahren für die Messung der Sauerstoffaufnahme gehört die Methode der Ausatmung in einen Douglas-Sack.

Die Expirationsluft wird in diesem Sack gesammelt und später, nach Walken des Sackes zwecks Durchmischung der Totraum- und Alveolarluftanteile, wird eine Probe für die Sauerstoff- und Kohlendioxydbestimmung entnommen (43,45). Dieses Meßverfahren wurde in der Vergangenheit oft benutzt (21,68,69,71,96,104,110,112,173) und kam auch noch 1992 in der Studie von Ueda et al. (167) zum Einsatz.

Der Nachteil dieser Methode ist, daß nur Aussagen über bestimmte Zeiträume, z. B. über das nach einer Belastung gesammelte Expirationsvolumen, gemacht werden können (48). Deswegen ist auch keine Aussage über das aktuelle respiratorische Geschehen während einer Ausdauerbelastung möglich.

Conley et al. sammelte die Ausatemluft seiner Probanden in meteorologischen Ballons, die ein Volumen von 120 Litern faßten, aber auch hier wurde ein nur über eine Minute angesammeltes Expirationsvolumen analysiert (31).

Um nicht den Nachteil des diskontinuierlichen Meßverfahrens des Douglas-Sackes zu

haben, entwickelte Toussaint et al. 1987 eine speziell für Schwimmen ausgerichtete Atmungsmaske, die eine kontinuierliche Bestimmung der respiratorischen Parameter möglich machte (165), und später folgte Dal Monte et al. mit weiteren technischen Verfeinerungen der Atmungsmaske (35).

Durch darüber hinaus neu entwickelte handliche Spiroergometriegeräte, bei denen zum Beispiel die Breath-by-Breath-Gasanalyse zum Einsatz kommt (9), und die zusätzlich auf mobilen Brücken installiert werden können, wird somit eine Online-Registrierung der respiratorischen Parameter bei Schwimmern ermöglicht, die eine Beurteilung der Stoffwechsellage zu jedem Zeitpunkt im Online-Verfahren gewährleistet. Zusätzlich können die erhobenen Daten sofort zur Bewertung der Technik und Ökonomie des Schwimmers herangezogen werden, da eine mangelhafte Technik mit einer erhöhten Sauerstoffaufnahme einhergeht (23,24,25,43,125). Somit ist eine Online-Technikkorrektur des Schwimmers möglich, deren Umsetzung wiederum sofort visuell bzw. unter Zuhilfenahme biomechanischer Methoden, als auch über die respiratorischen Parameter überprüft werden kann.

Um jedoch den oben bereits genannten Problemen der kontinuierlichen Messung spirometrischer Daten im Pool, die besonders durch die Wenden hervorgerufen werden (6), entgegenzuwirken, sowie für eine Optimierung der biomechanischen und visuellen Überprüfung, werden in der heutigen Zeit sogar zusätzliche Becken mit Gegenstromanlagen gebaut, die der Leistungsoptimierung des einzelnen Schwimmers dienen sollen (116).

Durch das Schwimmen auf einer definierten Stelle bei einer auch über einen längeren Zeitraum konstant bleibenden Geschwindigkeit, eignen sich die Gegenstromanlagen so für spirometrische Messungen besonders gut, wobei eine gleichzeitige wie schon oben beschriebene Bewegungsanalyse stattfinden kann (17).

Die erste in der Literatur aufgeführte Gegenstromanlage ist der von Astrand 1972 beschriebene Strömungskanal, der 2,5 Meter lang und 1,2 Meter tief war. Dieser Kanal ermöglichte erstmals, daß standardisierte Studien über Schwimmen betrieben werden konnten, die dem Schwimmen im offenen Wasser identisch waren (6). Vor dieser Entwicklung wurden Versuche hauptsächlich beim freien Schwimmen im Schwimmbecken gemacht, wobei der Schwimmer wurde über ein Band an einem Gewicht stationär befestigt

(43,58). Der Nachteil beim freien Schwimmen ist jedoch, daß die Wenden unter anderem eine Störung des gleichmäßigen Bewegungsablaufes bedeuten (6). Weiterhin wurde versucht, die schwimmerischen Bewegungsabläufe an speziellen Geräten an Land, wie zum Beispiel der Schwimmbank nachzuahmen.

Darüber hinaus werden Gegenstromanlagen aber auch für Modelltraining (130), Bewegungsanalysen (17,18) oder Geschwindigkeitsanalysen (172) eingesetzt. Weiterhin können sie auch bei der Rehabilitation von zum Beispiel Knieverletzten von Bedeutung sein (130). Jedoch muß erwähnt werden, daß Gegenstromanlagen relativ selten und im Betrieb sehr teuer sind (153).

Durch das Verbinden der oben genannten speziell für das Schwimmen entwickelten Atmungsmasken mit den Vorteilen des Strömungskanals, die in der genau gleichbleibenden Geschwindigkeit, dem Schwimmen auf einer definierten Stelle und der möglichen Kombination der kontinuierlichen Spirometrie mit einer kontinuierlichen Bewegungsanalyse bestehen, wird eine optimale Leistungsdiagnostik bei Schwimmern ermöglicht (168,171,174).

1.2. Bedeutung des Themas

Beim Schwimmen hat man die Möglichkeit, die ganze Lage oder jeweils Beine und Arme getrennt voneinander zu trainieren. Dabei kann man den Trainingsschwerpunkt unter anderem auf die Verbesserung des Wassergefühls oder auf die der Kraftausdauer legen (33,49,182).

Möchte man insbesondere die Beinkraft verbessern, so läßt man den Schwimmer längere Strecken mit einem Brett, das er zur Widerstandsvergrößerung senkrecht hält, schwimmen, so daß er nur die Beine zum Vortrieb benutzen kann. Die Beine tragen aber beim Schwimmen nur einen sehr geringen Teil zum Vortrieb bei. Jedoch gehen die Meinungen sehr weit auseinander, was den prozentualen Anteil der Beinarbeit an der gesamten Leistung angeht. So geht Karpovich zum Beispiel davon aus, daß 70% und somit die

Hauptkraft, die für die Geschwindigkeit im Kraulschwimmen verantwortlich ist, von den Armen ausgeht, im Vergleich zu 30%, die von den Beinen beigetragen werden (78). Armbruster et al. berichten jedoch über Werte von 85% für die Arme und 15% für die Beine (146). Auf Grund dieses relativ geringen Beitrages der Beine zur Gesamtleistung scheint ein besonders spezifisches Training zur Verbesserung der Beinkraft in erster Linie von nicht allzu großer Bedeutung zu sein. Vor allem, weil die verhältnismäßig große Muskelmasse der Beine einen zum Nutzen des Vortriebs unverhältnismäßig hohen Sauerstoffverbrauch hat (182). Doch diese Tatsache wiederum könnte man sich zu nutze machen, indem man durch Beintraining vor allem eine Verbesserung der Ökonomisierung der Beinarbeit, und somit einen geringeren Sauerstoffverbrauch in der Beinmuskulatur, bewirkt (105). Außerdem ist es allgemein anerkannt, daß die Beinarbeit zumindest bei Sprintleistungen einen relativ großen Beitrag leisten (63,122). Dennoch ist es nicht möglich, mit den Beinen allein annähernd so schnell zu schwimmen wie es in ganzer Lage möglich ist. So können nur etwa 60% der Geschwindigkeit im Verhältnis zur ganzen Lage erreicht werden (26).

Ein spezielles Training der Arme kann mit Hilfe eines Pull-Buoys, den man sich zwischen die Beine klemmt, und der so die Beinbewegung verhindert, oder durch die Benutzung von Paddles, die den Widerstand bei der Armbewegung durch die vergrößerte Abdruckfläche erhöhen, erzielen (33,182). Über kurze Distanzen bewirken diese Hilfsmittel vor allem eine Verbesserung des Wassergefühls und somit der Technik, in dem der Schwimmer bei gleicher Geschwindigkeit weniger Armzüge absolviert, somit ruhiger im Wasser liegt und dabei weniger Energie verloren geht (119,163,182). Außerdem kann durch die Paddles die Aufmerksamkeit auf spezielle Positionsreize gelenkt werden, so daß Positionsfehler leichter entdeckt werden. Dies gilt jedoch hauptsächlich für Anfänger, bei denen erst ein grobes Bewegungsmuster entwickelt ist. Bei Fortgeschrittenen haben Paddles kaum noch Effekte auf die Entwicklung von Bewegungsmustern (3). Beim Schwimmen mit Paddles über längere Distanzen, die bei alleiniger Benutzung der Arme nicht durchzuhalten wären oder bei höheren, nur mit Paddels zu erreichenden Geschwindigkeiten, wird die spezielle Armkraftausdauer trainiert, indem die vergrößerte Handfläche zu einem größeren Kraftaufwand in der Antriebsphase führt (162,163). Dabei gleichen die beanspruchten Muskeln und Bewegungsabläufe weitestgehend denen, der Schwimmbewegung ohne

Hilfsmittel, was eine spätere problemlose Übertragung auf die Technik der ganzen Lage ermöglicht (3,33,92,182). Dieses wird dadurch verwirklicht, daß mit Paddles die Geschwindigkeit bei gleicher Armzugfrequenz durch die vergrößerte Abdruckfläche erhöht wird (33,163,182). Dabei kommt es im Vergleich zum Schwimmen ohne Paddles, bei dem man nur die Hände benutzt, zusätzlich zu einem geringeren Energieverbrauch (VO_2) bei gleichen submaximalen Geschwindigkeiten (163), was darauf zurückzuführen ist, daß durch die größere Abdruckfläche der Hände bei gleicher Geschwindigkeit eine geringere Kraft aufgewendet werden muß, um das Wasser nach hinten zu drücken. Dies läßt auf eine größere Antriebseffizienz schließen, die besagt, daß von der aufgebrauchten Kraft des Schwimmers weniger Energie im Wasser verloren geht, und somit mehr Energie zum Vortrieb zur Verfügung steht (114,163). Damit können mit Paddles im Training höhere Geschwindigkeiten erreicht und längere Strecken geschwommen werden.

Das Schwimmen mit Pull-Buoy führt jedoch nicht zu einer speziellen Verbesserung der Armkraftausdauer, da durch den größeren Auftrieb der passive Widerstand verringert wird, was für den Schwimmer eine Erleichterung in der Gesamtbewegung bedeutet (67,11,182). Um aber zum Beispiel eine Vergrößerung der Glykogenspeicher und der funktionellen, sowie strukturellen Proteine zu erreichen und somit der Muskelkraft, muß es zu einer Muskelhypertrophie kommen, die am besten durch eine Widerstandskomponente im Ausdauertraining erreichbar ist (67,105).

Im Gegensatz zum Schwimmen nur mit den Armen ohne weitere Hilfsmittel wird jedoch durch die Unterstützung der Beine mit einem Pull-Buoy die Handhaltung und die Armbewegung dem Schwimmen in der ganzen Lage ähnlicher (67), und somit wird die Übertragung der erlernten Bewegungsabläufe auf die ganze Lage erleichtert.

1.3. Bedeutung der vorliegenden Studie

Bereits bestehende Studien, die sich mit dem Schwimmen mit Paddles oder ohne Paddles beschäftigt haben, wie zum Beispiel die Ausführungen von Ogita et al. (114) oder auch von Toussaint et al. (163), haben den wissenschaftlichen Grundstein zu den Erkenntnissen der Unterschiede zu diesem Thema gelegt.

Dennoch lassen sich unterschiedliche Ergebnisse in den einzelnen Untersuchungen feststellen. Toussaint et al. (162) berichtete davon, daß bei gleichen Geschwindigkeitsstufen das Schwimmen mit Paddles mit einem niedrigeren Energieverbrauch einhergeht. Die Studie von Bollens et al. (19) unterstützt diese These, in dem er herausgefunden hat, daß die elektrische Kontraktionsintensität bei ebenfalls gleichen Geschwindigkeiten beim Benutzen von Paddles bei allen getesteten Muskeln niedriger lag als beim Schwimmen ohne Hilfsmittel.

Ogita et al. (114) konnte dagegen keinen Unterschied hinsichtlich des Energieverbrauchs bei gleichen Geschwindigkeiten beim Schwimmen in ganzer Lage oder mit Paddles dokumentieren. Er begründete seine Ergebnisse mit einer beim Gebrauch von Paddles bestehenden höheren Vortriebseffizienz, die auch von Toussaint et al. (163) nachgewiesen wurde.

Ein weiteres grundlegendes Problem dieser Studien liegt darin, daß die Tests mit Unterstützung eines Pull-Buoys geschwommen wurden, so daß die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf das Schwimmtraining zu übertragen sind, da beim Training üblicherweise entweder in ganzer Lage oder mit Hilfe von Paddles oder nur mit einem Pull-Buoy geschwommen wird (11,33,185).

Auch Studien über die Benutzung eines Pull-Buoys beim Schwimmen haben bis jetzt nur sporadisch stattgefunden, wobei immer nur Teilaspekte des Einflusses des Pull-Buoys untersucht wurden.

So führte Holmer bereits 1974 eine Studie über die respiratorischen Parameter beim Schwimmen mit einem Pull-Buoy im Vergleich zur ganzen Lage oder zum Schwimmen nur mit den Beinen durch. Er erfaßte die spirometrischen Daten jedoch mit Hilfe eines Douglas-Sackes, so daß keine genauen Aussagen über den Verlauf des Energiestoffwechsels gemacht werden kann (67).

Weitere Studien, wie die von Ogita et al., beschäftigten sich ausschließlich mit der maximalen Sauerstoffaufnahme beim Schwimmen mit Pull-Buoy, mit Brett und in der ganzen Lage (110), während Ohkuwa et al. die drei Schwimmmethoden lediglich im Hinblick auf ihren Unterschied in der Laktatbildung untersuchte (115).

Tatsache aber ist, daß Pull-Buoy und Paddles häufig eingesetzte Hilfsmittel im Schwimmtraining sind, die dem Sportler zu weiteren Leistungssteigerungen führen sollen (11,33). Trotzdem wird nur wenig Aufmerksamkeit auf die gezielte Dosierung im Rahmen der Trainingssteuerung gelenkt. Die darüber hinaus oben bereits erwähnte bestehende Kontroversität der Ergebnisse bzw. deren Mangel bei schon durchgeführten Studien, ist der Anlaß für die Fortführung weiterer Studien in diese Richtung.

Außerdem zeugen die in der Literatur widergespiegelten unterschiedlichen Meinungen und Unsicherheiten der Autoren und Trainer bezüglich der Intensitätsbereiche und der Häufigkeit des Einsatzes der oben genannten Hilfsmittel im Training, von einem noch mangelhaften Wissensstand auf diesem Gebiet (11,33,47,49,182,185).

Durch die Anwendung der Gegenstromanlage des Olympiastützpunktes Hamburg-Kiel, die ähnlich wie der erstmals in der Literatur von Astrand (6) beschriebene Strömungskanal konstruiert ist, bei dem der Schwimmer auf der Stelle schwimmt, ist es möglich, schwimmsportartspezifische Testbedingungen zu simulieren. Dabei werden die expiratorischen Atemgase über eine Atemmaske abgeleitet, so wie es bei anderen Sportarten, zum Beispiel auf dem Laufband, der Ruderanlage oder dem Fahrradergometer schon länger durchführbar ist.

Somit können bei dem Schwimmer die respiratorischen Parameter des aktuellen Stoffwechselerhaltens online aufgezeichnet werden. Außerdem zeigen sich Abweichungen in der Technik sofort in einer Veränderung der respiratorischen Parameter.

Zusätzliche Laktatbestimmungen sollen weitere Erkenntnisse über metabolische Reaktionen und Anforderungen des Organismus beim Schwimmen mit Hilfsmitteln bringen.

1.4. Fragestellung

Deshalb war das Ziel dieser Studie, trainingsspezifische und –relevante Unterschiede häufig benutzter Hilfsmittel im Schwimmtraining bei Leistungssport betreibenden

Schwimmern durch identische Testabläufe mit Einsatz von Paddles, Pull-Buoy und in ganzer Lage in der Gegenstromanlage zu bestimmen. Die Intensitäts- oder Zeitvorgaben, die dem Schwimmer im Training mit Paddles gegeben werden, beruhen auf den Erfahrungswerten jahrelanger Trainertätigkeiten und sind bisher nicht wissenschaftlich belegt. Es wäre jedoch sicherlich, besonders für das Training von Spitzensportlern, von Nutzen, wenn eine fundierte wissenschaftliche Grundlage für den Einsatz von Handbrettern und Pull-Buoys bestehen würde, so daß man zum Beispiel eine spezifischere Trainingszeitvorgabe für das Schwimmen mit Paddles hätte, die aus den theoretisch erreichbaren Zeiten des Schwimmers in ganzer Lage zu berechnen wäre. Darüber hinaus wäre es wissenswert, ob der Pull-Buoy trotz Lageveränderung und sogar -verbesserung im Vergleich zur ganzen Lage eine größere lokale metabolische Belastung durch die kleinere beanspruchte Muskelmasse darstellt. Dies könnte im Rahmen des Trainingsprogramms zu einer insgesamt größeren lokalen Toleranz der Armmuskulatur auf eine belastungsinduzierte Laktatazidose führen.

2. Material und Methoden

2.1. Probanden

An der vorliegenden Vergleichsstudie nahmen insgesamt 22 Personen im Alter zwischen 14 und 36 Jahren (Alter: $19,7 \pm 6,0$ Jahre, Körpergröße: $177,8 \pm 7,3$ cm, Körpergewicht: $68,3 \pm 10,7$ kg, Körperfett: $15,3 \pm 3,4$ %, Trainingsjahre: $11,1 \pm 6,4$ Jahre, Trainingsumfang: $6,2 \pm 2,8$ Stunden/Woche) der Hamburger Vereine HSC, ETSV und Tri-Michels teil. Davon waren 8 weibliche Schwimmerinnen im Alter zwischen 14 und 28 Jahren (Alter: $19,0 \pm 5,2$ Jahre, Körpergröße: $172 \pm 3,5$ cm, Körpergewicht: $61,1 \pm 3,4$ kg, Körperfett: $17,1 \pm 2,2$ %, Trainingsjahre: $10,0 \pm 3,7$ Jahre) und 14 männliche Schwimmer im Alter von 14 bis 36 Jahren (Alter: $20,1 \pm 6,6$ Jahre, Körpergröße: $181,1 \pm 6,8$ cm, Körpergewicht: $72,4 \pm 11,3$ kg, Körperfett: $14,3 \pm 3,6$ %, Trainingsjahre: $11,7 \pm 7,5$ Jahre). Alle Teilnehmer kamen entweder aus dem reinen Schwimmsport (19) oder aus dem Triathlon (3).

Für die Teilnahme an der Studie war Vorbedingung, daß alle Teilnehmer in der Lage waren, eine 100m Kraulzeit auf der 25 Meter Bahn unter 1:08,00 Minuten (Frauen) bzw. unter 1:06,00 Minuten (Männer) zu schwimmen. Außerdem wurden in der Studie nur Probanden berücksichtigt, die mindestens 3 Geschwindigkeitsstufen ($\geq 1,10$ m/s) in der Gegenstomanlage absolvieren können.

Ferner war Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie, daß subjektiv keine gesundheitlichen Einschränkungen vorliegen und aufgrund der Gesundheitsatteste, die nicht älter als ein Jahr waren, keine manifeste Krankheit bekannt ist. Durch die Anamnese und eine orientierende körperliche Untersuchung wurden mögliche Kontraindikationen ebenfalls ausgeschlossen.

Außerdem durften nur solche Probanden an der Studie mitwirken, die regelmäßig am Trainingsbetrieb ihres Vereines teilnahmen (Durchschnittliche Trainingseinheiten/Woche: Gesamt: $3,4 \pm 1,4$ mal, davon Frauen: $4,2 \pm 1,4$ mal und Männer: $3,0 \pm 1,2$ mal).

Die Probanden wurden im Vorfeld der Studie eingehend über den Ablauf und das Ziel der

Untersuchung informiert, und dazu angehalten, sich am Tag vor der Untersuchung kohlenhydratreich zu ernähren und keine außergewöhnlichen körperlichen Belastungen einzugehen. Ferner wurde anamnestisch und durch Beurteilung des respiratorischen Quotienten eine Glykogenverarmung ausgeschlossen (128), so daß ein eventueller Glykogenmangel die Ergebnisse nicht verfälschen konnte. Vor Testbeginn gab jeder Schwimmer eine schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie ab. Die Teilnahme erfolgte auf freiwilliger Basis.

2.2. Versuchsablauf

Die Probanden absolvierten drei schwimmspezifische Stufentests in der Gegenstromanlage des Olympiastützpunktes Hamburg-Kiel, die im Aufbau dem von Astrand beschriebenen Strömungskanal sehr ähnelt (6).

Der Kanal ist 13 Meter lang, wovon 7 Meter zum Schwimmen nutzbar sind, 2,50 Meter breit und weist durchgehend eine Wassertiefe von 1,35 Metern auf (Abb.1). Die Wassertemperatur wurde während der Testdurchführung auf 26° C standardisiert. Die Strömungsgeschwindigkeit ist stufenlos von 0,4 m/s bis auf maximal 2,4 m/s per Hand zu steuern. Der Gegenstrom wird durch zwei Axialpumpen mit einer Motorleistung von jeweils 75 kW erzeugt. Die Drehzahl wird über entsprechende Frequenzwandler zwischen 17 und 50 Hz geregelt, um die Strömungsgeschwindigkeit an die jeweiligen Anforderungen exakt anpassen zu können. Die Pumpen haben eine Förderleistung von 1,3 m³/s bis 7,8 m³/s (116) und gewährleiten bei Strömungsgeschwindigkeiten von über 0,4 m/s eine vernachlässigbare geringe Verwirbelung des Wassers, die keinen Einfluß auf den menschlichen Organismus hat (137).

Die Strömungsgeschwindigkeit des Kanals wurde von der Schiffbautechnischen Versuchsanstalt Hamburg und der Technischen Universität Berlin an bestimmten Positionen auf die angegebenen Geschwindigkeiten geeicht (137).

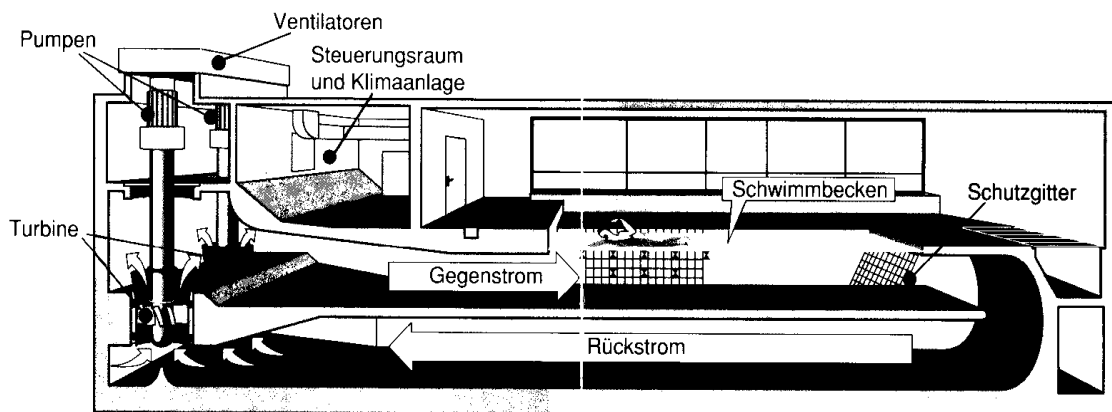


Abb. 1: Übersichtszeichnung der Gegenstromanlage am Olympiastützpunkt Hamburg-Kiel (1)

Über die gesamte Länge der Gegenstromanlage befindet sich eine fahrbare Brücke, so daß eine Erfassung spirometrischer Daten an jeder Stelle des Kanals möglich ist. Die Brücke beinhaltet die Kanalsteuerung, und auf ihr war ebenfalls der Stoffwechselmeßplatz angerndet (Abb. 2 und 3).



Abb. 2: Gegenstromanlage mit spirometrischem Meßplatz und Schwimmer



Abb. 3: Die Brücke mit spirometrischem Meßplatz und Schwimmer (mit Hilfsmittel Paddle)

Die Probanden mußten exakt an einer mit einem schwarzen Kreuz auf dem Beckenboden gekennzeichneten Stelle schwimmen, um zu jeder Zeit von einer genau definierten Wassergeschwindigkeit angeströmt zu werden (137).

Der Versuch bestand aus drei Testdurchgängen, die sich nur hinsichtlich der Benutzung verschiedener Hilfsmittel (Pull-Buoy (Abb. 4), Paddles (Abb. 5), ohne Hilfsmittel) unterschieden. Ein Testdurchgang beinhaltete neben einer gründlichen Anamnese und einer orientierenden körperlichen Untersuchung zum Ausschluß gesundheitlicher Kontraindikationen mit gleichzeitiger Bestimmung des prozentualen Körperfettanteils, die Bestimmung der Herzfrequenz, der Laktatwerte und die Zugfrequenzen im Verlauf eines standardisierten Stufentests mit Maske in der Gegenstromanlage, sowie die kontinuierliche Erfassung spirometrischer Daten.



Abb. 4: Schwimmer mit Pull-Buoy, Polar-Sporttester und Schwimmmaske (Unterwasserblick)



Abb. 5: Schwimmer mit Paddles, Polar-Sporttester und Schwimmmaske (Unterwasserblick)

Die Erhebung der **anamnestischen Daten** erfolgte mit einem standardisierten sportmedizinischen Fragebogen (s. Anlage 1), der auch besonderes Augenmerk auf frühere und derzeitige körperliche Aktivitäten legte.

Die **körperliche Untersuchung** umfaßte eine orientierende allgemeinmedizinische Untersuchung mit besonderer Berücksichtigung des Herz-Kreislauf- und des Atemsystems.

Der prozentuale Anteil des **Körperfettes** bezogen auf die Körpermasse wurde mit Hilfe einer Fettzange (Baty International; West Sussex, Großbritannien) mittels der Kalipermetrie nach Parizkova bestimmt, bei der die Hautfaltendickenmessung an 10 fixierten Stellen des Körpers stattfindet (118).

Jeder Schwimmer mußte jeweils einen standardisierten Stufentest in ganzer Lage, mit Hilfe von Hand Paddles (Handbrett Senior, Arena; Freiburg, Schweiz), oder unter Benutzung eines Pull-Buoys (Speedo; Los Angeles, USA) durchführen.

Die Paddles wurden am Handgelenk und am Mittelfinger fixiert, der Pull-Buoy wurde

zwischen die Oberschenkel geklemmt, wobei zusätzlich die Beine mit Hilfe eines Gurtes um die Fußgelenke fixiert wurden.

Der Einsatz der zu benutzenden Hilfsmittel erfolgte in randomisierter Reihenfolge.

Die drei Testdurchgänge wurden an zwei aufeinanderfolgenden Wochenenden an drei nicht zusammenhängenden Tagen durchgeführt, so daß von einem gleichen Trainingszustand des Probanden ausgegangen werden konnte. Die Schwimmer konnten ihre eigenen Schwimmbrillen und Badekappen tragen.

Der Stufentest begann mit einer zweiminütigen Adaptationsphase, bei der der Proband sich an einem Seil festhielt und sich in Ruhe von dem Wasserstrom im Strömungskanal bei einer Geschwindigkeit von 0,92 m/s umspülen ließ. Direkt anschließend wurde dann der Stufentest geschwommen, bei dem eine Stufe jeweils drei Minuten dauerte, um eine weitgehende Äquilibration der Laktatkonzentrationen im Verteilungsraum zu gewährleisten (57). Zur Standardisierung wurde eine Strömungsgeschwindigkeit bei der ersten Belastungsstufe von 0,92 m/s gewählt, die pro Stufe um 0,09 m/s erhöht wurde. Diese stufenförmige Erhöhung um 0,09 m/s wurde deshalb gewählt, um spätere Vergleichsuntersuchungen mit einem rampenförmigen Anstieg der Geschwindigkeiten um 0,03 m/s pro Minute zu ermöglichen.

Ein Testdurchgang wurde von dem Schwimmer bis zur maximalen Ausbelastung absolviert. Testabbruchkriterium war die subjektiv vollständige Erschöpfung des Probanden.

Als Schwimmstil wurde Kraul gewählt.

Das Ende einer Belastungsstufe wurde dem Schwimmer durch einen Pfiff signalisiert. Daraufhin ließen sich die Probanden an das Ende des Kanals treiben. Dort wurde während der einminütigen Pause jeweils eine Laktatprobe aus dem hyperämisierten rechten Ohr läppchen entnommen und die Strömungsgeschwindigkeit auf die nächst höhere Stufe eingestellt. Danach wurde der Schwimmer mit Hilfe einer Aluminiumstange mit Handgriff gegen die Strömung wieder auf seine Schwimmposition, die genau eine Minute nach dem Abpfiff erreicht wurde, gezogen. Die Herzfrequenzmessung erfolgte kontinuierlich. Die Armzugfrequenz wurde in der 3. Minute jeder Belastungsstufe bestimmt.

Die folgende Tabelle (Tab. 1) gibt eine Übersicht über die zeitliche Abfolge der registrierten Meßgrößen wieder.

MESS- PARA- METER	Geschwin- digkeit v (m/s)	Dauer (min)	Spiro- metrie	An- schließende Pause (min)	Herzfre- quenzmes- sung (Schläge/ min)	Laktatab- nahme (mmol/l)	Zugfre- quenz- messung (Z/min)
Vor Test- beginn	/	/	/	/	in Ruhe	in Ruhe	/
Adap- tation	0,92	2	konti- nuierlich	/	/	/	/
1. Stufe	0,92	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
2. Stufe	1,01	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
3. Stufe	1,10	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
4. Stufe	1,19	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
5. Stufe	1,28	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
6. Stufe	1,37	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
7. Stufe	1,46	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
8. Stufe	1,55	3	konti- nuierlich	1	die letzten 10sec	sofort in der Pause	2.-3. Minute
Nachbe- lastungs- phase	/	7	konti- nuierlich	7	4./7. Minute	4./7. Minute	/

Tab. 1: Versuchsablauf und zeitliche Abfolge der Registrierung der Meßgrößen

Der gesamte Test, der neben der Adaptationsphase und dem Stufentest noch eine sieben-

minütige Nachbelastungsphase beinhaltete, wurde mit einem Spirometriesystem erfaßt.

Dieses Spirometriesystem besteht aus einem stationären **Spirometriegerät** Oxycon Gamma (Firma Mijnhardt; AE Bunnik, Niederlande). Die Verbindung zum Schwimmer wird über einen Schlauch, mit einem Mundstück für den Probanden, hergestellt (Abb. 6). Diese Ventil-Mundstückmaske mit Beiß-Mundstück, die der Schwimmer zusammen mit einer Nasenklammer aufgesetzt hat, ähnelt der einer beim Lungenautomaten im Tauchsport benutzten Maske.

Der Schlauch hat ein Volumen von 2450 ml. Der expiratorische Schenkel ist 3,0 Meter und ist mit dem Spirometriesystem verbunden. Der inspiratorische Anteil des Schlauchsystems, der lediglich zur Einatmung der in dem Raum befindlichen Luft dient und keine Verbindung zum Oxycon-Gerät besitzt, hat eine Länge von 0,75 Metern. Durch den großen Durchmesser von 3,4 cm der Schläuche, ist der Widerstand des Schlauchsystems deutlich herabgesetzt. Das Mundstück, welches mit parallel angeordneten Ein- und Auslaßventilen zum Inspirations- bzw. Expirationsschlauch abgeschottet ist, hat einen Totraum von 30 ml und ist somit als unbedeutend einzustufen (165).



Abb. 6: Schlauchsystem der Ventil-Mundstückmaske

Das Spirometriegerät stand während der gesamten Testdauer auf der fahrbaren Brücke über dem Strömungskanal. Spirometrische Parameter wurden während des ganzen Testverlaufes und bis sieben Minuten nach Belastungsabbruch online aufgezeichnet und mit einem tragbaren Laptopcomputer 386/SX mit 4 MB RAM (CAF Computer Corporation, Taiwan 1991) gespeichert. Zur Auswertung der spirometrischen Daten wurde das Programm Oxycon Gamma (Version 2.04, Firma Mijnhardt, Niederlande 1992) benutzt. Hiermit ist es möglich, die maximale Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$) zu messen.

Zur Registrierung der spirometrischen Daten kam das offene Mischkammerverfahren zum Einsatz. Zur Auswertung kamen als Parameter der Sauerstoffverbrauch (VO_2), die Kohlendioxidproduktion (VCO_2), der respiratorische Quotient (RQ) und die Minutenventilation (VE-BTPS) zur Anwendung. Dabei wurden alle 5 Millisekunden die CO_2 - und O_2 -Konzentrationen gemessen. Davon wurden 8 Proben addiert und alle 40 Millisekunden mit dem korrespondierenden Volumen multipliziert. Die Konzentrationen wurden automatisch für Verzögerungs- und Phasenverschiebungen korrigiert. Jeder Atemzug wurde erfaßt. Zur nachträglichen Datenbearbeitung wurden die Durchschnittswerte alle 10 Sekunden ausgegeben.

Die Aufwärmzeit des Spirometriegerätes betrug vor jeder Messung mindestens 30 Minuten. Vor jedem Test wurde das Meßgerät automatisch volumenkalibriert und zusätzlich gegen ein Testgas (5,0% CO_2 , 15,0% O_2 , 80% N_2) kalibriert.

Die **Bestimmung der Laktatkonzentration** erfolgte aus dem Kapillarblut des hyperämisierten rechten Ohrläppchens in Ruhe, sofort nach jeder Belastungsstufe bzw. bei Testabbruch, sowie in der vierten und siebten Minuten nach Belastungsende (Vergl. Tab.1). Das Kapillarblut wurde durch einen Einstich mit einer Solofix^R Blutlancette (Braun Petzold GmbH; Melsungen, BR Deutschland) gewonnen und mittels einer 20µl EBIO/ESAT-End-zu-End-Kapillare (Eppendorf-Netheler-Hinz-GmbH; Hamburg, BR Deutschland) entnommen und sofort in EBIO/ESAT-Probengefäße mit 1000µl Systemlösung für Laktatbestimmung (Firma Eppendorf-Netheler-Hinz-GmbH; Hamburg, BR Deutschland) im Hämolysat inkubiert. Die Laktatproben wurden nach dem enzymatisch-amperometrischen Meßprinzip mit einem EBIO 6666 Laktatanalysegerät (Version 4,02;

Firma Eppendorf-Netheler-Hinz-GmbH; Hamburg, BR Deutschland) bestimmt.

Das Laktatanalysegerät wurde vor jeder Messung gegen einen Laktatstandard von 10mmol/l und 90,1mg/dl kalibriert. Außerdem wurden vor jedem Analyseset drei Standards (2,5mmol/l, 5,0mmol/l und 10,0mmol/l) zur Kontrolle des Meßgerätes untersucht.

Die **Herzfrequenz** wurde ebenfalls in Ruhe, sofort nach jeder Belastungsstufe bzw. bei Testabbruch, sowie in der vierten und siebten Minuten nach Belastungsende (Vergl. Tab.1) aufgezeichnet. Die Messung erfolgte über einen Polar Accurex PlusTM-Sport-Tester (Polar Elactro GmbH; Groß-Gerau, Deutschland), der aus einem Thoraxgurt zur Ableitung der Herzfrequenz, sowie einem Empfänger, der wie eine Armbanduhr getragen wurde, bestand.

Die **Armzugfrequenz** des Schwimmers wurde während der letzten Minute jeder Belastungsstufe bestimmt. Dafür wurde eine digitale Sport Timer-Handstopuhr (Firma Schütt; Marburg, Deutschland) benutzt, die aus drei Bewegungszyklen die Zugfrequenz pro Minute berechnet. Die Meßwerte wurden in einem Versuchsprotokoll notiert (s. Anlage 2)

2.3. Statistische Methoden

Die statistische Evaluation erfolgte mit dem Programm Statistica (Version 5.1, Statsoft; Tulsa, USA: 1997). Für die graphische Darstellung diente das Programm Excel (Version 7.0, Microsoft Corporation; Stanford, USA: 1997).

Für die biomathematisch-statistische Auswertung dienten die Mittelwerte der Stichprobe ($\bar{x}$) und die Standardabweichung (s) als Ausgangsbasis zur Überprüfung der Grundgesamtheit.

Der Kolmogoroff-Smirnoff-Test und der Test nach David , Pearson und Stephens wurden zur Prüfung auf Normalverteilung angewandt.

Bei den unabhängigen Stichproben (männliche bzw. weibliche Probanden) fand bei normalverteilten Ausgangsdaten der t-Test für unabhängige Stichproben Anwendung, und bei nicht normalverteilten Grundgesamtheiten wurden die Stichproben mittels des U-Tests nach Wilcoxon, Mann und Whitney evaluiert.

Für den Vergleich von Mittelwerten der drei Testdurchgänge wurde die Varianzanalyse (MANOVA) angewendet. Bei sich daraus ergebenden Signifikanzunterschieden wurde der weiter führende Tukeys Honest-Significant-Difference-Test (HSD) durchgeführt, der das Signifikanzniveau zwischen zwei Testabläufen angibt.

Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde ein Niveau von $\alpha = 5\%$ ($p < 0,05$) festgelegt. Folgende Schranken und Symbole wurden bei der Beurteilung der Ergebnisse der statistischen Prüfverfahren verwandt:

n.s.	$p > 0,05\%$	= Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha > 5\%$	nicht signifikant
*	$p < 0,05\%$	= Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 5\%$	signifikant
**	$p < 0,01\%$	= Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 1\%$	sehr signifikant
***	$p < 0,001\%$	= Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 0,1\%$	hoch signifikant

2.4. Kritik der Methoden

Die Erhebung anthropometrischer Daten, sowie die Erfassung persönlicher Bestzeiten, der Hauptschwimmlage und der Vorbelastung durch vorhergehendes Training, basieren auf den subjektiven Angaben der Probanden. Auf Grund der oft schwierigen Selbsteinschätzung muß in einigen Fällen von deutlichen Schätzungsfehlern ausgegangen werden.

Außerdem muß berücksichtigt werden, daß, obwohl die Probanden zu einer ausgewogenen kohlenhydratreichen Ernährung angehalten wurden, es durch ihr Eßverhalten, ihre Lebensweise und ihre Vorbelastung durch sportliche Aktivitäten vor den Testdurchgängen möglicherweise zu einer Beeinflussung der erhobenen Meßgrößen führen konnten, die auf eine eventuelle Glykogenverarmung des Schwimmers zurückzuführen wäre. Jedoch lagen die in Ruhe erhobenen respiratorischen Daten, insbesondere die der RQ-Meßwerte, in einem Bereich, der eine Glykogenverarmung weitestgehend ausschließen läßt, was durch die Anamnese zusätzlich unterstützt wurde.

Bei allen Testdurchgängen wurde eine maximale Ausbelastung angestrebt, die das Abbruchkriterium darstellen sollte, und die als Grundlage für die qualitative Beurteilung verschiedener Parameter dienen sollte. Dieses Kriterium beruhte jedoch auf einer rein subjektiven Einschätzung der Probanden und hing stark von deren aktuellen motivationalen Zustand ab. Eigene Beobachtungen, die von den Meßergebnissen der Herzfrequenz und der respiratorischen Parameter gestützt wurden, ließen bei einigen Schwimmern eine geringere Ausbelastung vermuten. Dieses beeinträchtigt jedoch nicht die Vergleichbarkeit der submaximalen Stufen.

In seltenen Fällen kann es durch mangelhaftes Umschließen des Mundstückes mit den Lippen zu einem Wassereintritt in das Expirationssystem gekommen sein. Die sich somit aufbauende Wassersäule über dem Auslaßventil kann zu einem erhöhten Expirationswiderstand führen.

Durch Verwendung einer vom Arbeitskreis Sport- und Bewegungsmedizin der Universität Hamburg speziell für diese Zwecke konzipierten Maske (23,24,25) wurde eine Vermeidung dieses Problems angestrebt. Darüber hinaus wurde der Schwimmer darauf hingewiesen, das Mundstück bewußt zu umschließen.

Bei der Herzfrequenzmessung mit dem Polar-Sport-Tester kann es teilweise zu fehlenden oder falschen Aufzeichnungen kommen, da durch die Anströmung des Thoraxgurtes ein mangelhafter Kontakt der ableitenden Elektroden zur Haut entstehen kann. In diesem Fall wurde die Pulsfrequenz in den ersten 10 Sekunden der Pause, und somit etwas verzögert, manuell an der Arteria radialis am Handgelenk bestimmt. Bei den Frauen ergab sich dieses Problem nicht, da der Thoraxgurt durch den Badeanzug einen besseren Halt bekam.

Das Probandengut stellt bezüglich des Alters, der Leistungsfähigkeit, des Trainingsumfanges, des Einsatzes von Hilfsmitteln im Training und der individuellen Spezialisierung auf lange bzw. kurze Strecken eine relativ heterogene Auswahl dar. Dies kann zu Problemen bei einem interindividuellen Vergleich der Meßparameter führen, da die oben erwähnten Kriterien unter anderem zu einer Beeinflussung der Größe des Energieverbrauchs beim Schwimmen beitragen (29). Durch die Durchführung eines intraindividuellen Vergleichs wurde diesem Problem jedoch entgegengesteuert.

Die Testdurchgänge wurden zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt, und eine eventuelle Gewöhnung an die Umstände der Versuchsdurchführung (Maske, Strömungskanal, etc.) ist nicht auszuschließen. Dies könnte zu einem unterschiedlichen Leistungsstand des Schwimmers bei den drei Stufentests führen. Aus diesem Grund wurden die Versuche in kurzen Zeitabständen absolviert, und die Benutzung der Hilfsmittel wurde randomisiert.

Die Eichung der Strömungsgeschwindigkeit erfolgte bei einem festgelegten Wasserstand. Trotzdem ergaben sich an unterschiedlichen Stellen des Kanals Differenzen (137). Ferner konnte es zu einem Anstieg des Wasserstandes bei zunehmender Belastungsdauer kommen. Diesem wurde durch eine regulatorische Senkung des Wasserspiegels weitestgehend entgegengewirkt.

Eine maximale Präzision der Geschwindigkeit und somit der Versuchsbedingungen wurde dadurch erlangt, indem die Probanden immer auf derselben, speziell markierten Stelle schwammen.

3. Ergebnisse

3.1. Ergebnisdarstellung

Bei der Ergebnisdarstellung fanden nur die Probanden Berücksichtigung, die in allen drei Testdurchgängen mindestens 3 Geschwindigkeitsstufen absolviert haben. Insgesamt wurden somit die Ergebnisse von 22 Studienteilnehmern (14 männliche und 8 weibliche) ausgewertet.

Weiterhin wurden, um eine statistische Aussagefähigkeit zu erhalten, bei der Auswertung der Meßparameter nur die Geschwindigkeitsstufen berücksichtigt, die mindestens von 10 Probanden absolviert wurden (ganze Lage und Paddles je 6 Geschwindigkeitsstufen, Pull-Buoy 4 Geschwindigkeitsstufen).

Sämtliche Stichproben waren normalverteilt.

Zur übersichtlichen Darstellung wurde zuerst der Verlauf der einzelnen Hilfsmittel und zur deutlicheren Präsentation der statistischen Ergebnisse zusätzlich die Hilfsmittel im paarweisen Vergleich graphisch dargestellt.

3.2. Geschwindigkeitsstufen

Während des Testdurchgangs, bei dem die Probanden kein Hilfsmittel benutzten, konnten alle 22 Teilnehmer (14 Männer, 8 Frauen) die 4. Stufe bei einer Geschwindigkeit von 1,19 m/s beenden. Davon absolvierten weitere 20 Schwimmer (12 Männer, 8 Frauen) die 5. Stufe (1,28 m/s), 17 Teilnehmer (10 Männer, 7 Frauen) die 6. Stufe (1,37 m/s) und 5 Probanden (4 Männer, 1 Frau) beendeten auch noch die 7. Stufe (1,46 m/s).

Beim Schwimmen mit Paddles erreichten ebenfalls alle 22 Studienteilnehmer die 4. Stufe, wovon weitere 20 (13 Männer, 7 Frauen) Stufe 5, 17 (11 Männer, 6 Frauen) Stufe 6 und 6 Schwimmer (5 Männer, 1 Frau) Stufe 7 zu Ende schwammen.

Mit Hilfe des Pull-Buoys absolvierten alle 22 Probanden die 3. Geschwindigkeitsstufe (1,10 m/s), nur 18 Schwimmer (11 Männer, 7 Frauen) konnten die 4. Stufe durchführen. Davon konnten 8 Teilnehmer (4 Männer, 4 Frauen) auch noch die 5. Stufe erreichen. Die 6.

Stufe wurde nur noch von einem männlichen Probanden beendet.

Die folgenden Diagramme geben diese Leistungsverteilung mit den unterschiedlichen Hilfsmitteln wieder (Abb. 7, 8 und 9).

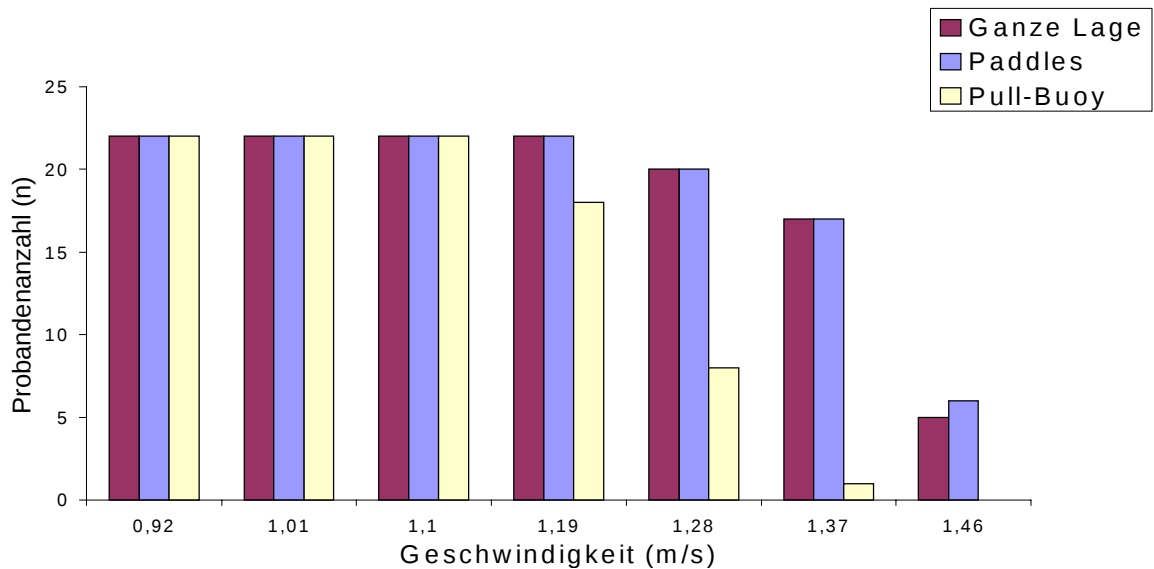


Abb. 7: Erreichte Geschwindigkeitsstufen aller Probanden mit den unterschiedlichen Hilfsmitteln (ganze Lage, Paddles, Pull-Buoy).

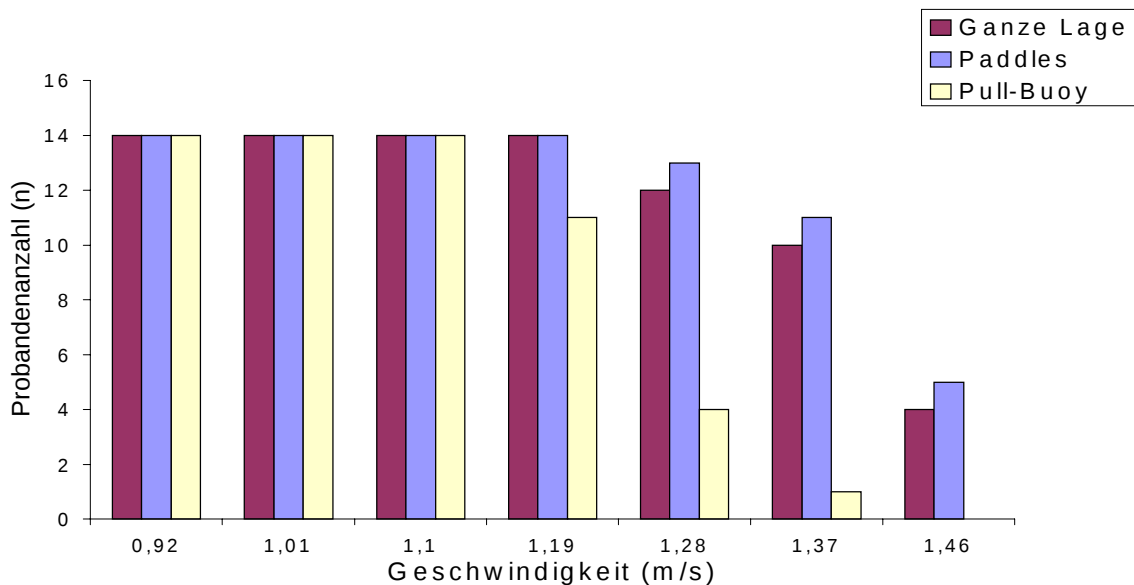


Abb. 8: Erreichte Geschwindigkeitsstufen der männlichen Probanden mit den unterschiedlichen Hilfsmitteln (ganze Lage, Paddles, Pull-Buoy).

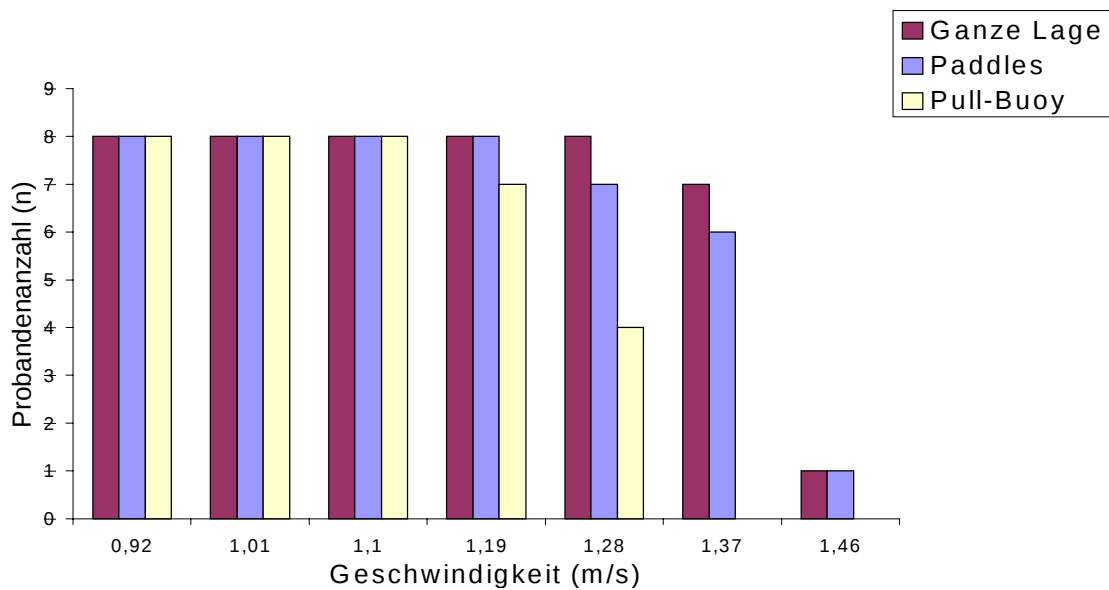


Abb. 9: Erreichte Geschwindigkeitsstufe der weiblichen Probanden mit den unterschiedlichen Hilfsmitteln (ganze Lage, Paddles, Pull-Buoy).

3.3. Respiratorische Parameter

3.3.1. Sauerstoffaufnahme

Während man beim Vergleich der einzelnen Geschwindigkeitsstufen aller Probanden feststellen kann, daß die Sauerstoffaufnahme beim Schwimmen in ganzer Lage höher als mit Hilfe von Paddles oder Pull-Buoy liegt (Abb. 11 und Abb. 13), und die gewonnenen Meßwerte beim Schwimmen mit Paddles ebenfalls größer als die mit Hilfe des Pull-Buoys sind (Abb.12), findet man in Ruhe sowie in der ersten und zweiten Nachbelastungsphase keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den einzelnen Hilfsmitteln (Abb.10). Die einzelnen Meßergebnisse werden in der folgenden Tabelle wiedergegeben (Tab. 2).

Hilfsmittel	ohne (ganze Lage) O₂-Aufnahme (ml/min)	Paddles O₂-Aufnahme (ml/min)	Pull-Buoy O₂-Aufnahme (ml/min)
Ruhe	641,87 ± 169,05	664,45 ± 167,76	616,68 ± 136,29
1.Stufe 0,92 m/s	1802,64 ± 351,15	1764,09 ± 389,33	1635,45 ± 403,75
2.Stufe 1,01 m/s	2033,09 ± 374,54	1987,77 ± 442,08	1823,95 ± 417,78
3.Stufe 1,10 m/s	2276,05 ± 415,02	2231,95 ± 439,82	2150,32 ± 491,00
4.Stufe 1,19 m/s	2631,00 ± 440,32	2484,56 ± 429,49	2359,06 ± 442,01
5.Stufe 1,28 m/s	2926,35 ± 522,53	2819,29 ± 378,77	_____
6.Stufe 1,37 m/s	3370,47 ± 543,60	3256,53 ± 538,17	_____
4.Nachatmungs- minute	664,18 ± 137,34	614,91 ± 336,10	591,04 ± 151,30
7.Nachatmungs- minute	418,73 ± 91,72	482,77 ± 207,99	422,27 ± 134,65

Tab. 2: Sauerstoffaufnahmevolumina auf den verschiedenen Belastungsstufen (Ruhephase, Geschwindigkeitstufen und Nachbelastungsphasen) während der drei Testdurchgänge.

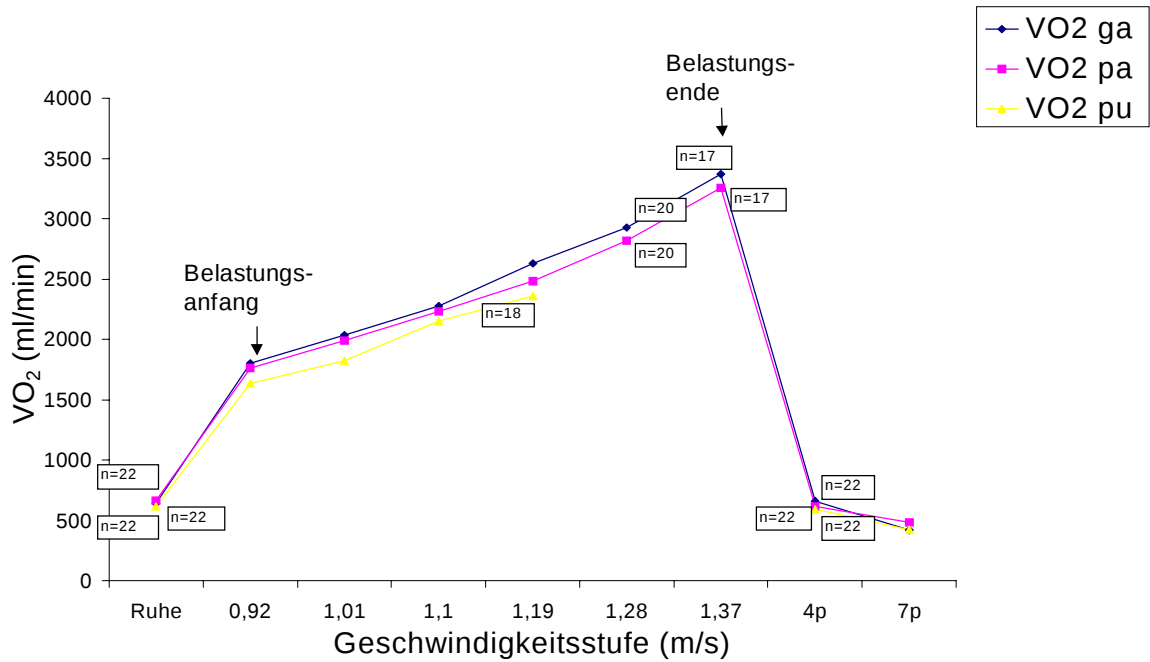


Abb. 10: Sauerstoffaufnahme in den drei Testdurchgängen mit Angabe der Probandenanzahl bezogen auf die einzelnen Belastungsstufen (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu).

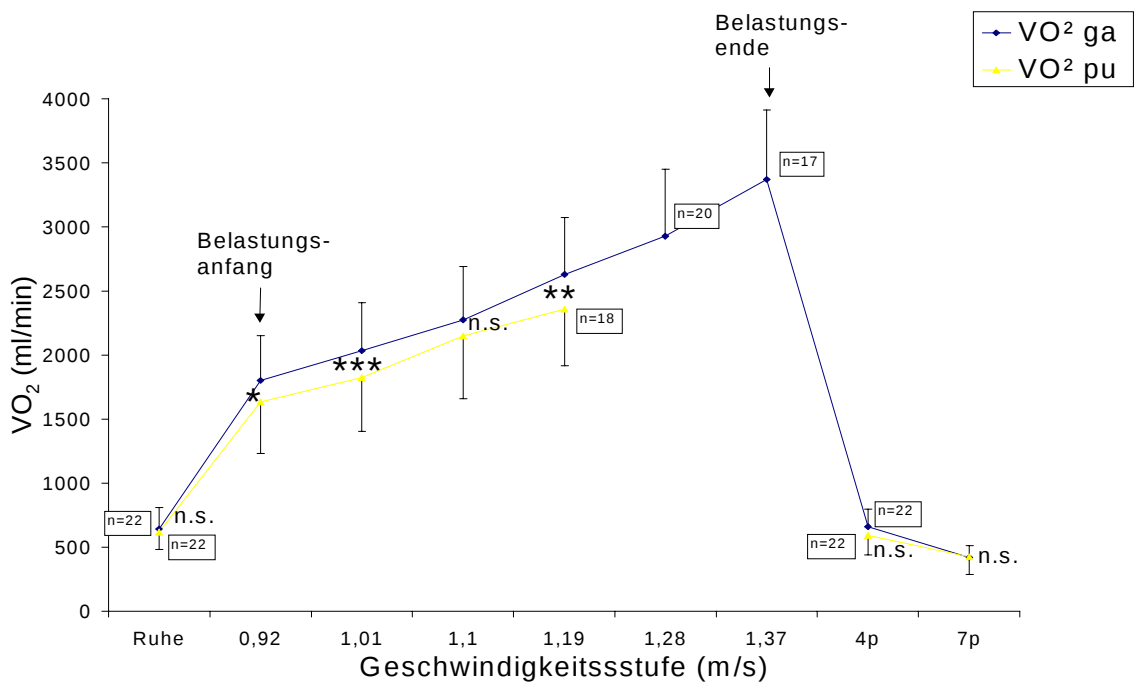


Abb.11: Vergleich der Sauerstoffaufnahmevolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

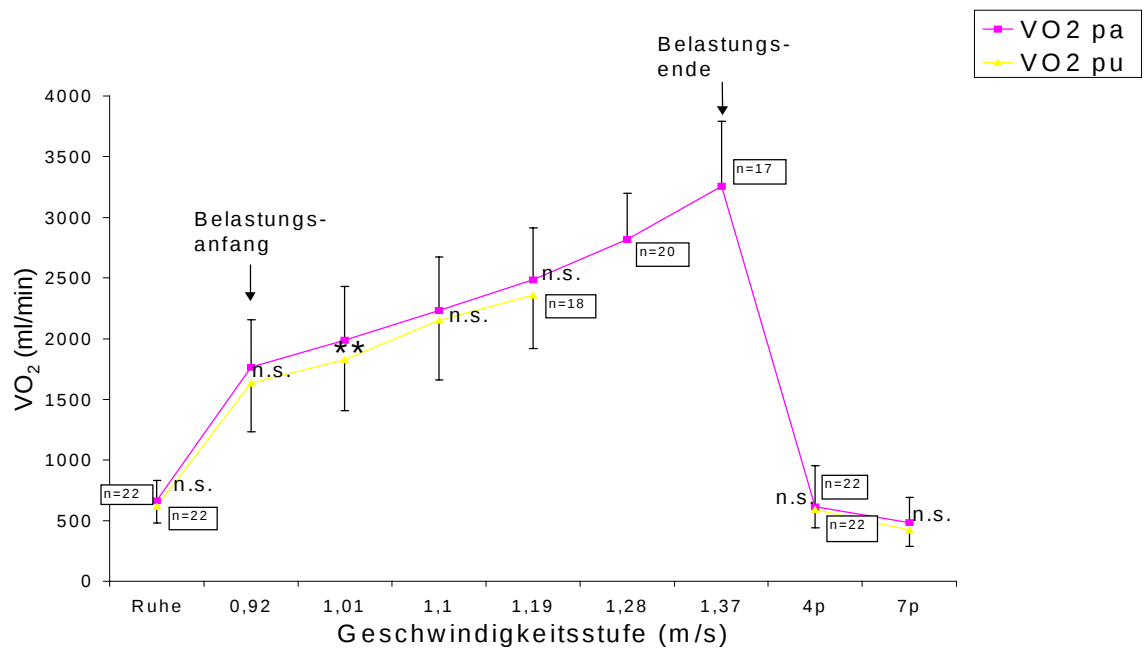


Abb. 12: Vergleich der Sauerstoffaufnahmeverolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy. Die Signifikanzzeichen (n.s., *, **, ***) beziehen sich auf den Vergleich der Hilfsmittel auf der jeweiligen Geschwindigkeitsstufe.

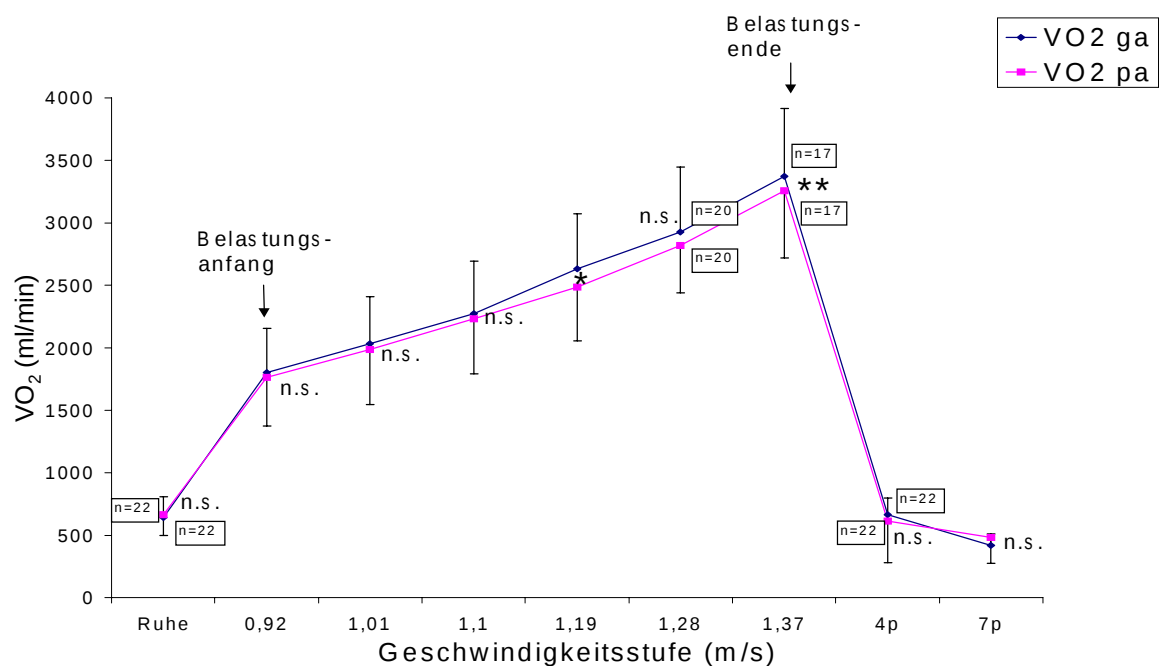


Abb. 11: Vergleich der Sauerstoffaufnahmeverolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Paddles.

Beim Betrachten der Meßergebnisse der Sauerstoffaufnahme zum Zeitpunkt der vollständigen Ausbelastung in den verschiedenen Testdurchgängen finden sich zwischen dem Hilfsmittel Pull-Buoy (4. Stufe: $2359,06 \pm 442,01$ ml/min) im Vergleich zu den Paddles (6. Stufe: $3256,53 \pm 538,17$ ml/min) und der ganzen Lage (6. Stufe: $3370,47 \pm 543,60$ ml/min) hoch signifikante Unterschiede ($p < 0,001$), die im folgendem Diagramm wiedergegeben werden (Abb. 14). Der Unterschied zwischen ganzer Lage und Paddles war dagegen nicht signifikant ($p > 0,05$) (6. Stufe ga: $3370,47 \pm 543,60$ ml/min vs.. 6. Stufe pa: $3256,53 \pm 538,17$ ml/min).

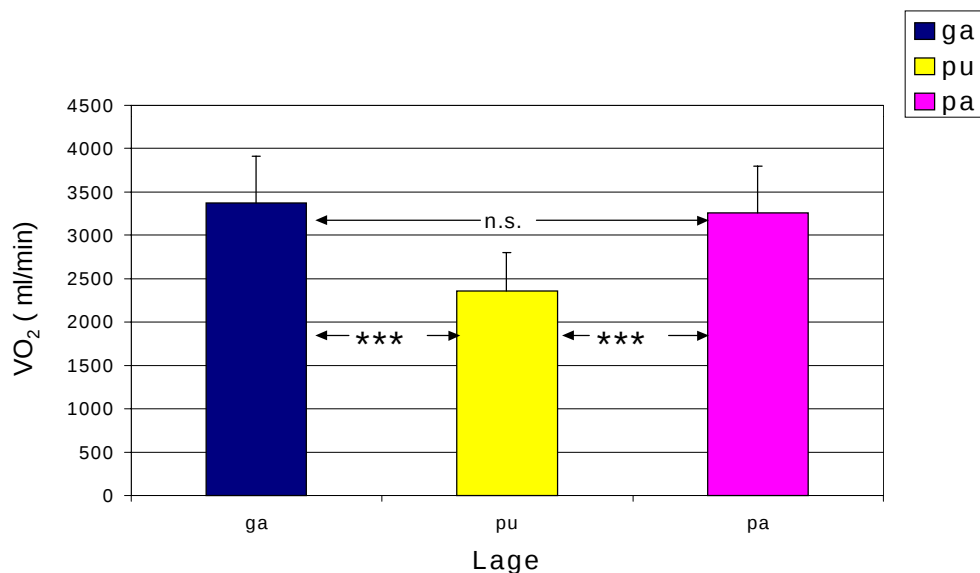


Abb. 14: Sauerstoffaufnahmeverolumina zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung (ganze Lage = ga, Pull-Buoy = pu, Paddles = pa).

Beim Vergleich der Meßwerte zwischen den Männern und Frauen gibt es bei der Sauerstoffaufnahme (Tab. 3) signifikante ($p < 0,01$, $p < 0,001$) Abweichungen. Tendenziell erreichten die Männer höhere Werte als die Frauen (Abb. 15 – Abb. 17). Der Verlauf der Sauerstoffaufnahmeverolumina über die Geschwindigkeitsstufen war zwischen den beiden Geschlechtern in den drei Testdurchgängen nicht signifikant ($p > 0,05$).

Zeitpunkt	ganze Lage (m) O₂-Auf- nahme (ml/min)	ganze Lage (w) O₂-Auf- nahme (ml/min)	Pull-Buoy (m) O₂-Auf- nahme (ml/min)	Pull-Buoy (w) O₂-Auf- nahme (ml/min)	Paddles (m) O₂-Auf- nahme (ml/min)	Paddles (w) O₂-Auf- nahme (ml/min)
Ruhe	669,35	593,75	677,36	510,50	671,00	653,00
0,92 m/s	± 175,00	± 157,16	± 114,65	± 105,20	± 159,46	± 192,28
1.Stufe	2001,57	1454,5	1840,36	1276,88	1912,64	1504,13
0,92 m/s	± 282,84	± 60,65	± 352,08	± 167,11	± 409,27	± 149,33
2.Stufe	2232,57	1684,00	2027,57	1467,63	2169,14	1670,38
1,01 m/s	± 323,10	± 90,10	± 385,52	± 139,91	± 457,72	± 127,60
3.Stufe	2478,43	1921,88	2408,79	1698,00	2401,64	1935,00
1,10 m/s	± 384,10	± 132,58	± 419,08	± 172,19	± 451,17	± 209,59
4.Stufe	2886,00	2230,29	2606,45	1970,29	2674,27	2186,43
1,19 m/s	± 367,92	± 131,03	± 370,44	± 190,55	± 443,35	± 159,24
5.Stufe	3198,60	2537,43	————	————	2981,50	2587,57
1,28 m/s	± 496,01	± 243,01	————	————	± 381,14	± 241,22
6.Stufe	3650,7	2917,83	————	————	3477,11	2925,67
1,37 m/s	± 513,07	± 259,54	————	————	± 574,72	± 252,05
4. Nachat- mungsmi- nute	662,18 ± 137,34	616,75 ± 147,45	591,05 ± 151,30	513,00 ± 150,32	614,91 ± 336,10	631,75 ± 442,19
7. Nachat- mungsmi- nute	418,72 ± 91,72	381,38 ± 33,85	422,27 ± 134,65	332,75 ± 83,68	482,77 ± 207,99	425,88 ± 294,21

Tab. 3: Sauerstoffaufnahme (ml/min) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Belastungsstufen.

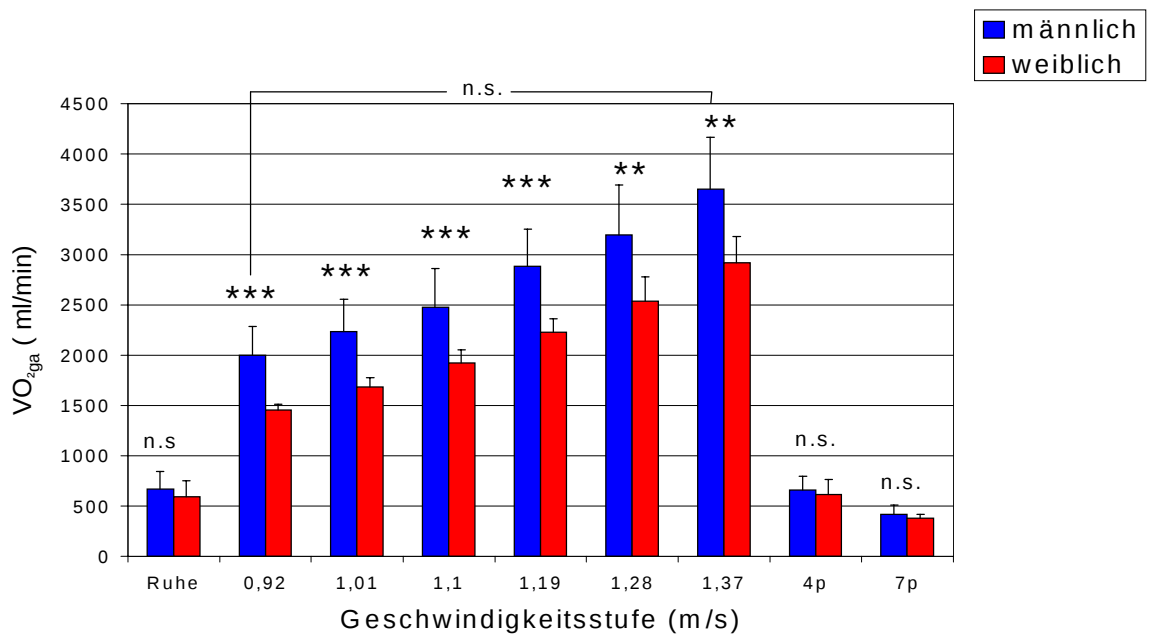


Abb. 15: Unterschied der absoluten Sauerstoffaufnahmeverolumina beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden. Das Signifikanzzeichen in der Blockklammer vergleicht den Verlauf der Belastungsstufen zwischen männlich und weiblich.

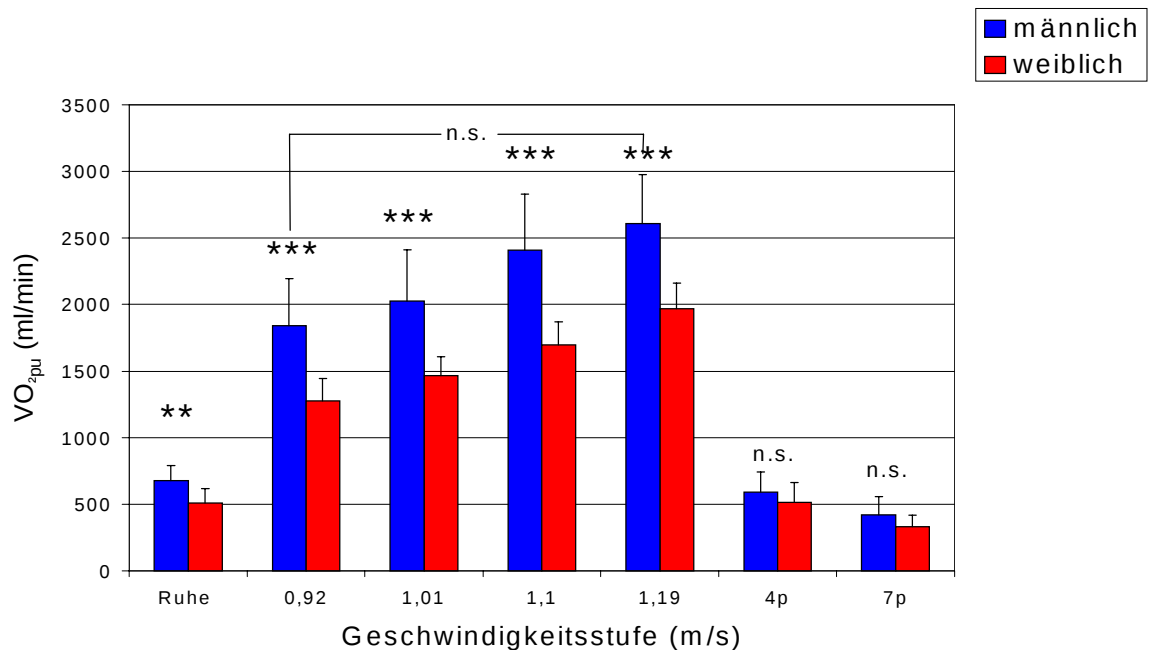


Abb. 16: Unterschied der absoluten Sauerstoffaufnahmeverolumina beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

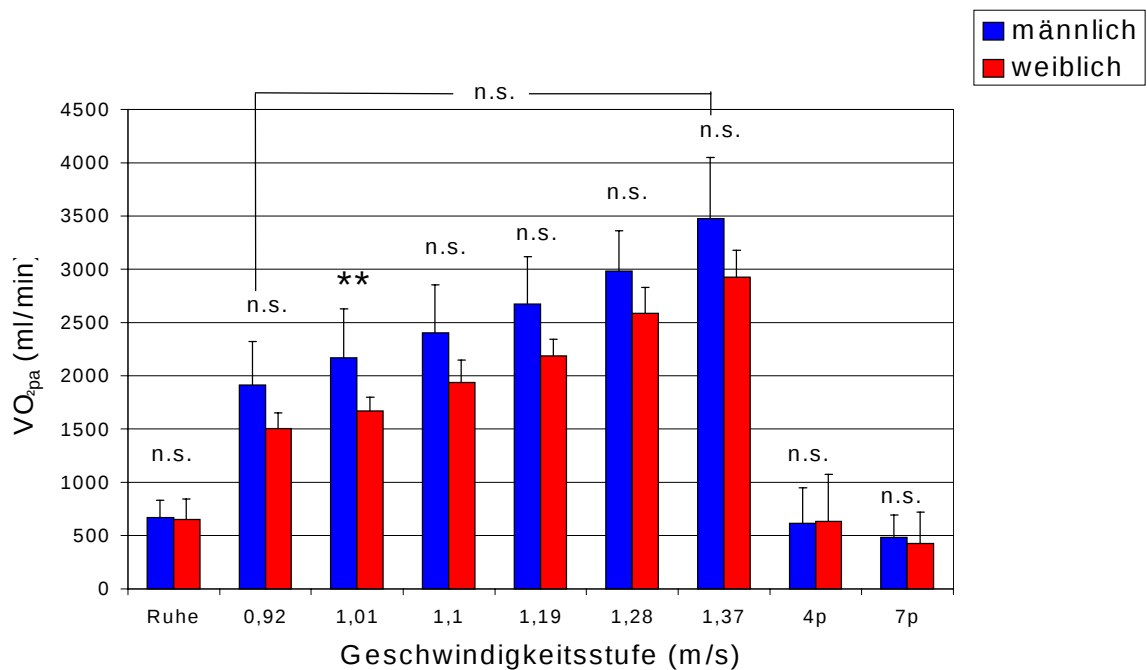


Abb. 17: Unterschied der absoluten Sauerstoffaufnahmevolumina beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

Die folgenden Abbildungen (Abb. 18 – 20) geben die relativen Sauerstoffaufnahmevolumina bezogen auf das Körpergewicht (KG in kg) wieder, bei denen insgesamt kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden konnte. Der Verlauf der relativen Sauerstoffaufnahmevolumina bezogen auf das Körpergewicht über die Geschwindigkeitsstufen war zwischen den beiden Geschlechtern in den drei Testdurchgängen nicht signifikant ($p > 0,05$).

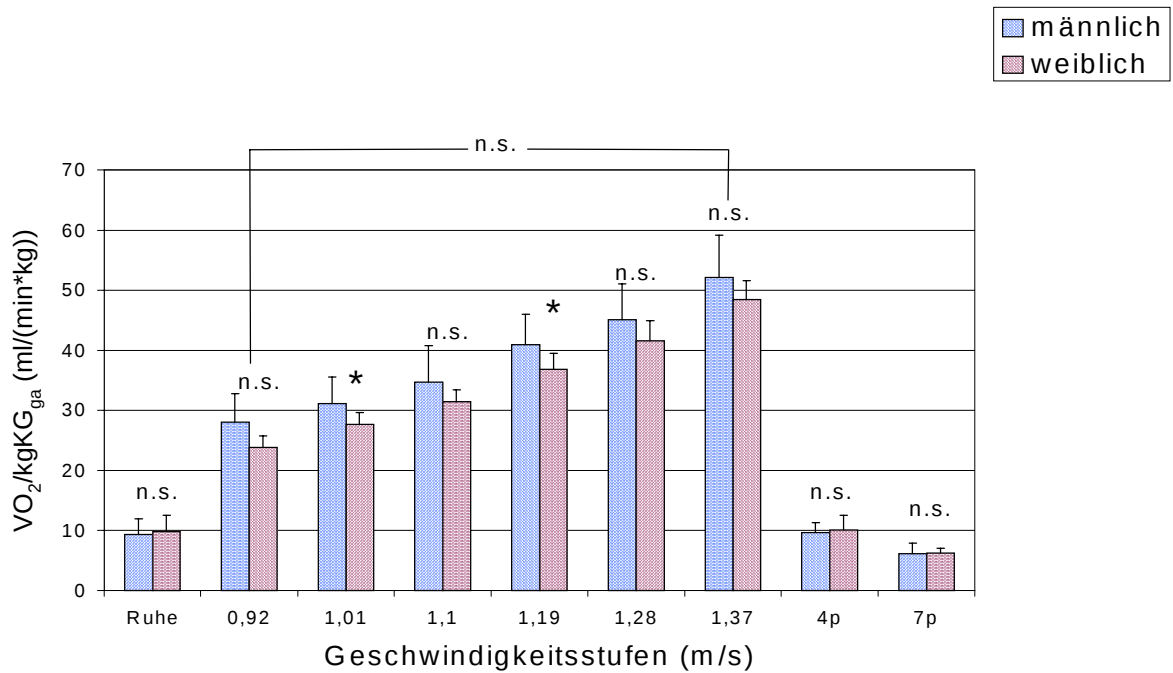


Abb. 18: Unterschied der relativen Sauerstoffaufnahmeverolumina (pro kgKG) beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

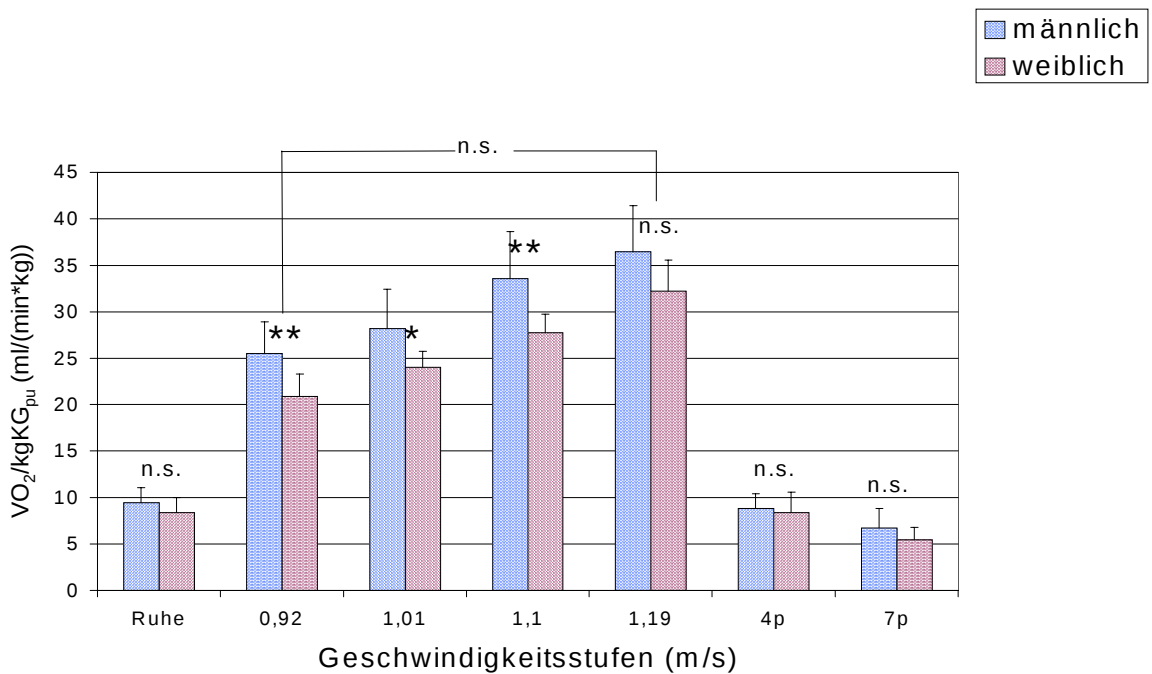


Abb. 19: Unterschied der relativen Sauerstoffaufnahmeverolumina (pro kgKG) beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

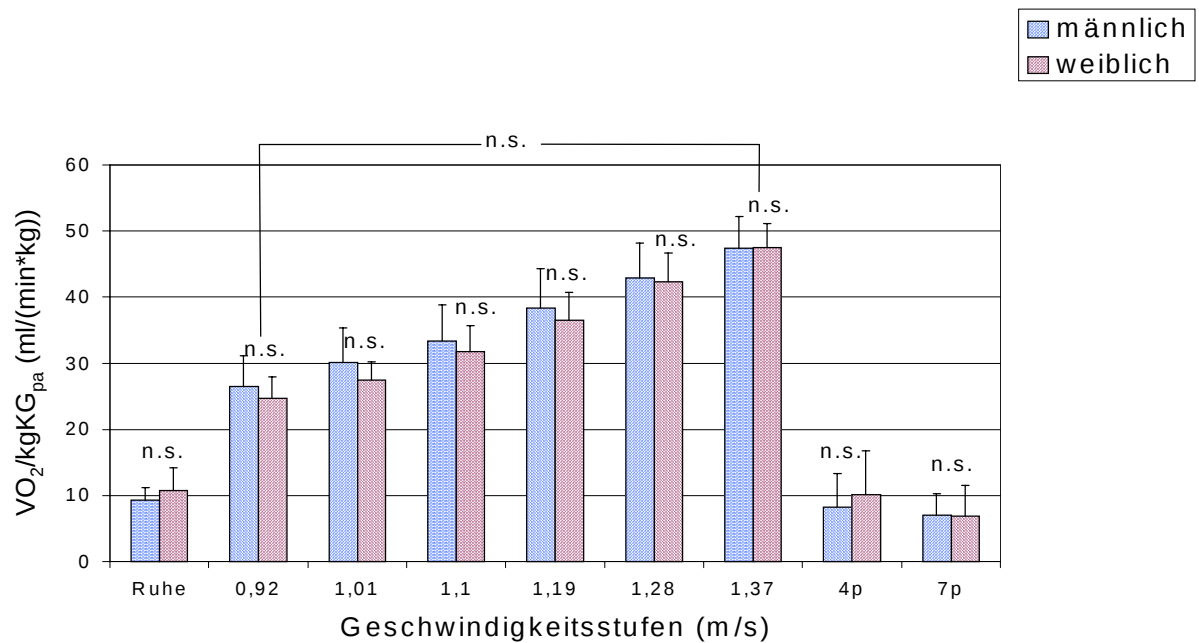


Abb. 20: Unterschied der relativen Sauerstoffaufnahmeverolumina (pro kgKG) beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

3.3.2. Kohlendioxydabgabe

Auch bei der Kohlendioxydabgabe sind hoch signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) zum Zeitpunkt des Testabbruchs und somit der maximalen Ausbelastung zwischen Pull-Buoy ($2447,44 \pm 615,81$ ml/min) und Paddles ($3307,67 \pm 537,43$ ml/min) oder ganze Lage ($3455,29 \pm 565,81$ ml/min) nachzuweisen (Abb. 21). Zwischen der ganzen Lage und Paddles besteht dagegen kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) ($3455,29 \pm 565,81$ ml/min vs.. $3307,67 \pm 537,43$ ml/min).

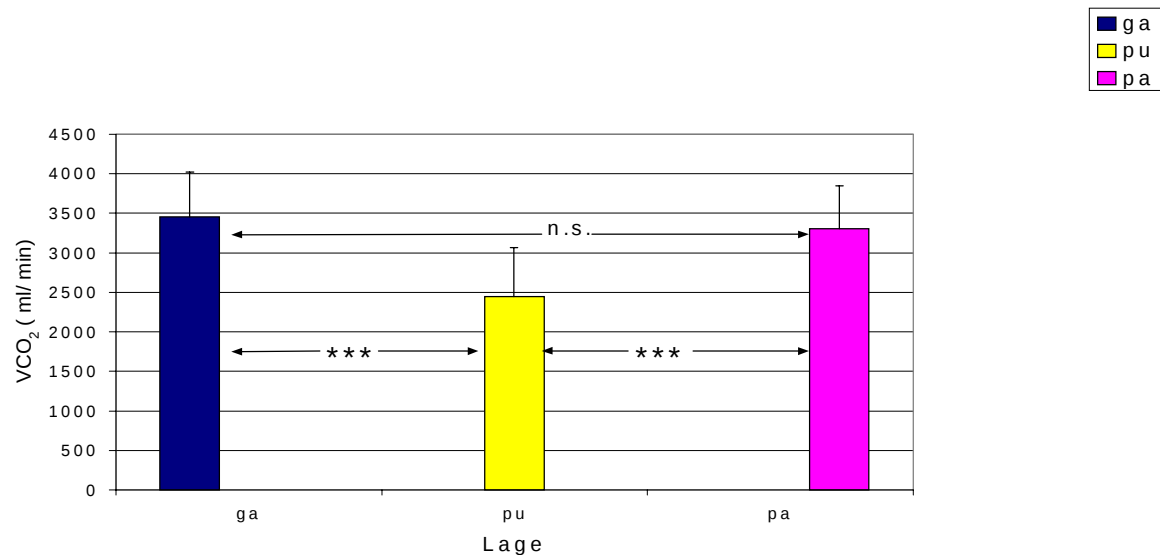


Abb. 21: Kohlendioxydabgabevolumen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung (ganze Lage = ga, Pull-Buoy = pu, Paddles = pa).

Bei der Evaluation der Meßergebnisse der Kohlendioxydabgabe kann aber ansonsten weder in der Ruhephase, auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen, noch in den Nachatmungsphasen ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) zwischen dem Schwimmen in ganzer Lage, mit Paddles oder mit Pull-Buoy festgestellt werden (Abb. 22 – 25).

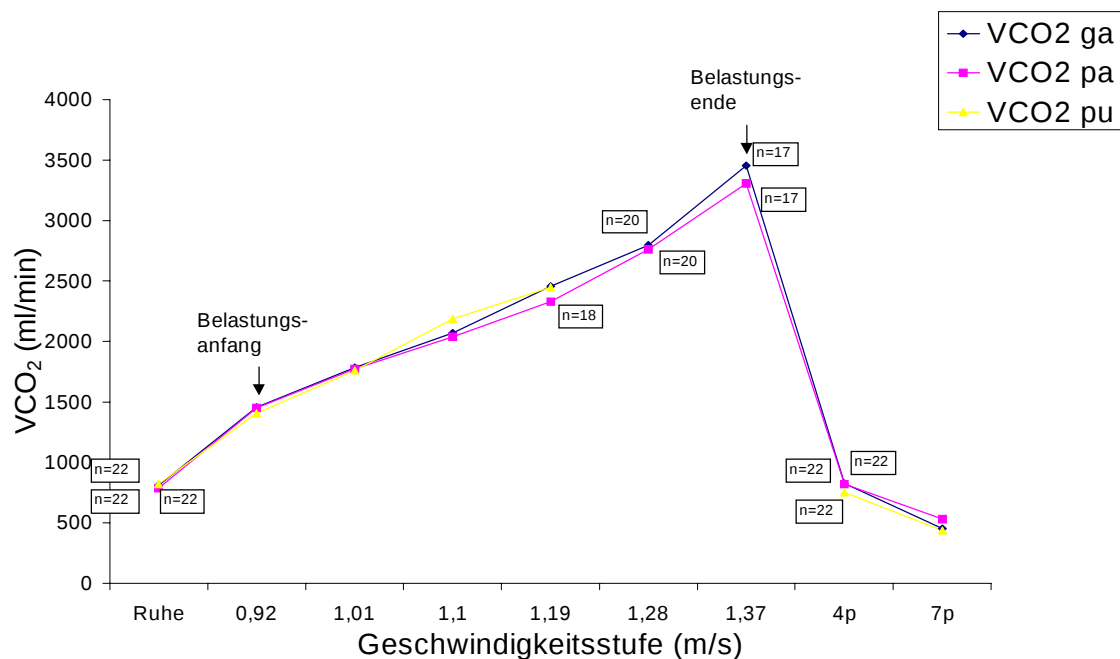


Abb. 22: Kohlendioxydabgabe in den drei Testdurchgängen mit Angabe der Probandenanzahl bezogen auf die einzelnen Belastungsstufen (ganze Lage= ga, Paddles= pa, Pull-Buoy= pu).

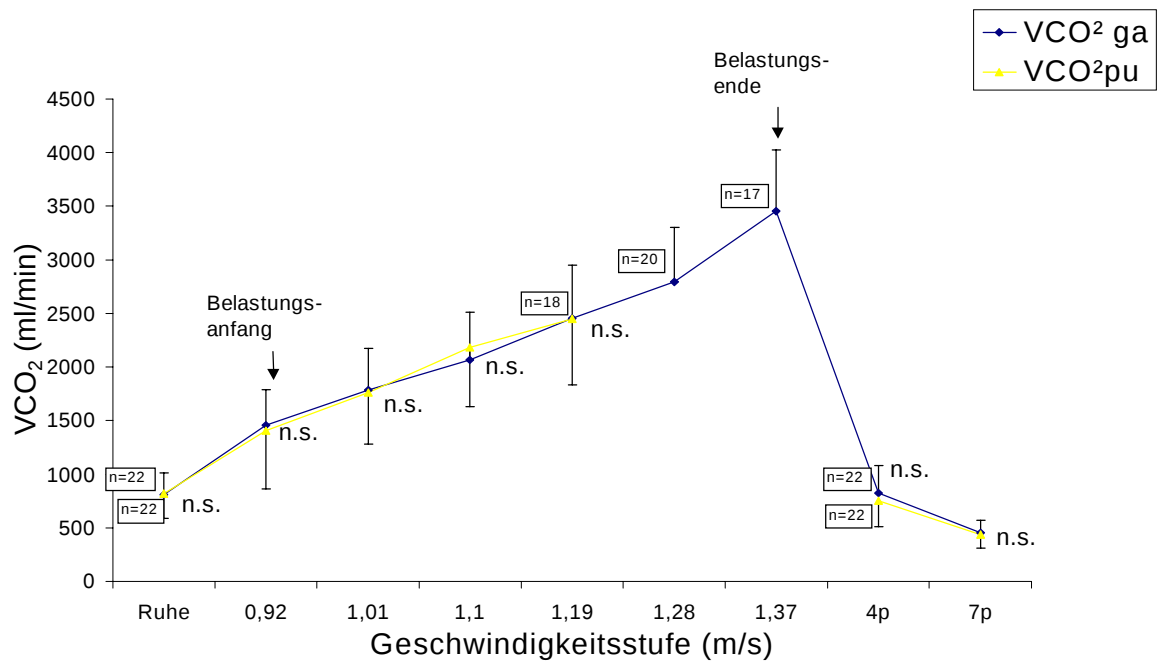


Abb. 23: Vergleich der Kohlendioxydabgabevolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

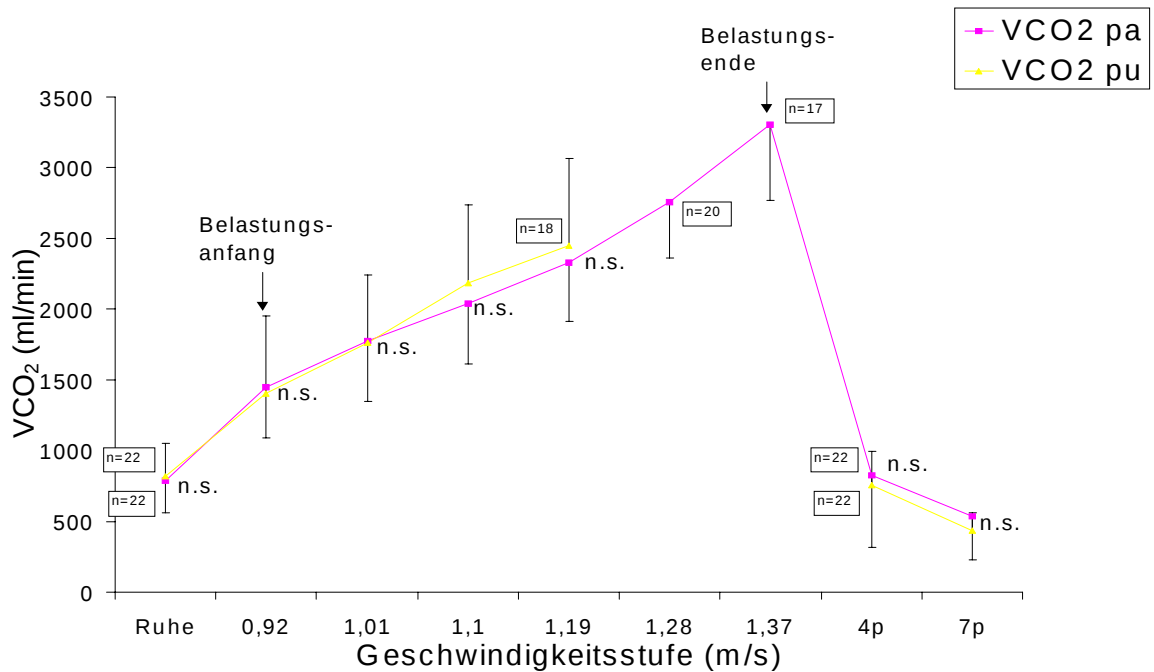


Abb. 24: Vergleich der Kohlendioxydabgabevolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy.

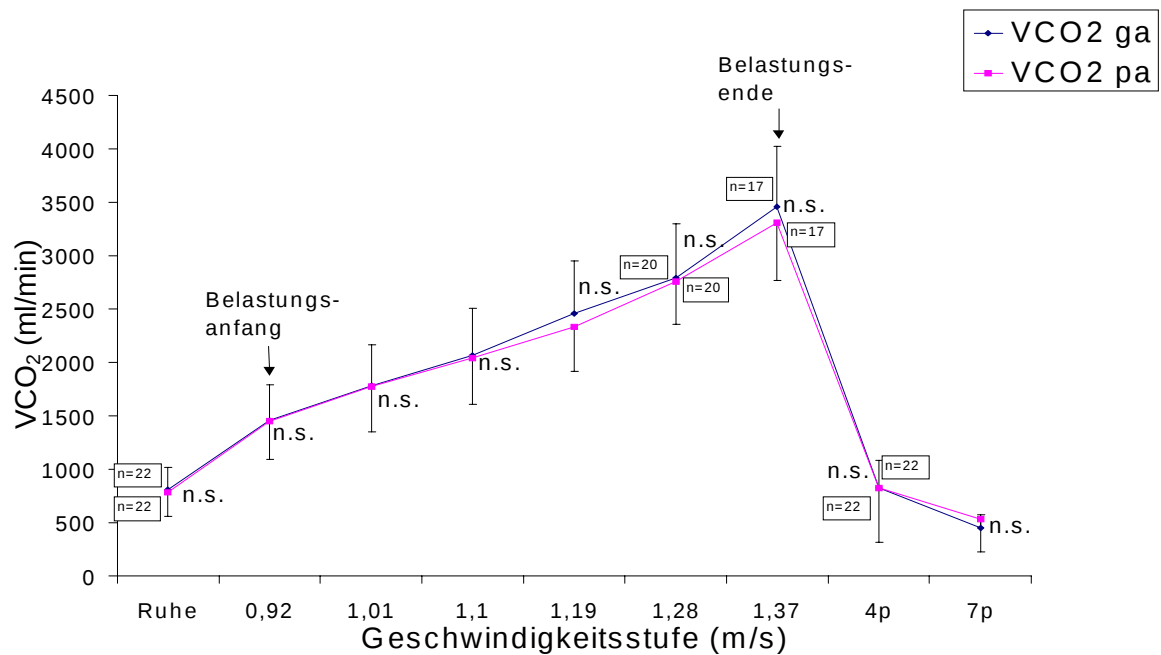


Abb. 25: Vergleich der Kohlendioxydabgabevolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen Paddles und ganzer Lage.

Die einzelnen Meßwerte der Kohlendioxydabgabevolumina werden in Tabelle 4 wiedergegeben.

Zeitpunkt	Ganze Lage VCO ₂ (ml/min)	Paddles VCO ₂ (ml/min)	Pull-Buoy VCO ₂ (ml/min)
Ruhe-Phase	811,77 ± 205,11	785,59 ± 226,61	819,81 ± 231,26
0,92 m/s	1455,50 ± 333,09	1450,45 ± 362,24	1406,18 ± 544,05
1,01 m/s	1785,05 ± 385,32	1772,32 ± 422,94	1760,27 ± 478,09
1,10 m/s	2069,50 ± 438,99	2037,55 ± 425,33	2184,91 ± 554,95
1,19 m/s	2457,50 ± 490,10	2330,06 ± 413,57	2447,44 ± 615,81
1,28 m/s	2795,06 ± 505,93	2759,53 ± 398,73	—————
1,37 m/s	3455,29 ± 565,81	3307,67 ± 537,43	—————
1. Nachatmung	826,00 ± 256,57	822,05 ± 493,99	754,23 ± 243,12
2. Nachatmung	454,09 ± 118,35	532,81 ± 306,83	436,18 ± 123,72

Tab. 4: Darstellung der Kohlendioxydabgabevolumina aller Probanden auf den einzelnen Belastungsstufen in den drei verschiedenen Testdurchgängen.

Auch bei der Kohlendioxydabgabe lassen sich auf den Belastungsstufen signifikante ($p < 0,01$, $p < 0,001$) Abweichungen zwischen den Meßwerten der Männer und Frauen feststellen (Tab. 5). Tendenziell erreichten die Männer auch hierbei höhere Werte als die Frauen (Abb. 26 – Abb. 28). Der Verlauf der Kohlendioxydabgevolumina über die Geschwindigkeitsstufen war zwischen den beiden Geschlechtern in den drei Testdurchgängen nicht signifikant ($p > 0,05$).

Zeitpunkt	ganze Lage (m) CO₂-Abgabe	ganze Lage (w) CO₂-Abgabe	Paddles (m) CO₂-Abgabe	Paddles (w) CO₂-Abgabe	Pull-Buoy (m) CO₂-Abgabe	Pull-Buoy (w) CO₂-Abgabe
Ruhe	882,00 ± 213,95	688,88 ± 118,65	841,64 ± 251,04	687,50 ± 140,47	912,50 ± 234,69	657,63 ± 104,49
0,92 m/s	1616,71 ± 312,39	1173,38 ± 93,16	1535,86 ± 415,26	1301,00 ± 182,44	1659,36 ± 465,35	963,13 ± 365,07
1,01 m/s	1962,64 ± 370,75	1474,25 ± 129,06	1915,36 ± 470,19	1522,00 ± 116,42	1965,07 ± 483,14	1401,88 ± 146,66
1,10 m/s	2253,86 ± 449,16	1746,88 ± 128,54	2172,14 ± 460,46	1802,00 ± 222,06	2434,21 ± 535,03	1748,63 ± 224,57
1,19 m/s	2699,00 ± 478,00	2078,00 ± 157,49	2472,09 ± 434,43	2106,86 ± 273,78	2772,27 ± 463,46	1937,00 ± 468,02
1,28 m/s	3037,50 ± 500,19	2450,29 ± 262,56	2812,40 ± 399,65	2684,00 ± 416,03	————	————
1,37 m/s	3717,40 ± 557,00	3080,17 ± 363,76	3440,22 ± 559,66	3108,83 ± 478,01	————	————
4. Nachat- mungs- minute	826,00 ± 256,57	792,75 ± 236,42	822,05 ± 504,49	795,25 ± 601,52	754,23 ± 243,12	580,38 ± 196,73
7. Nachat- mungs- minute	454,09 ± 118,35	426,50 ± 76,21	532,81 ± 306,83	484,88 ± 449,75	436,18 ± 123,72	321,63 ± 82,53

Tab. 5: Kohlendioxydabgabe (ml/min) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Belastungsstufen.

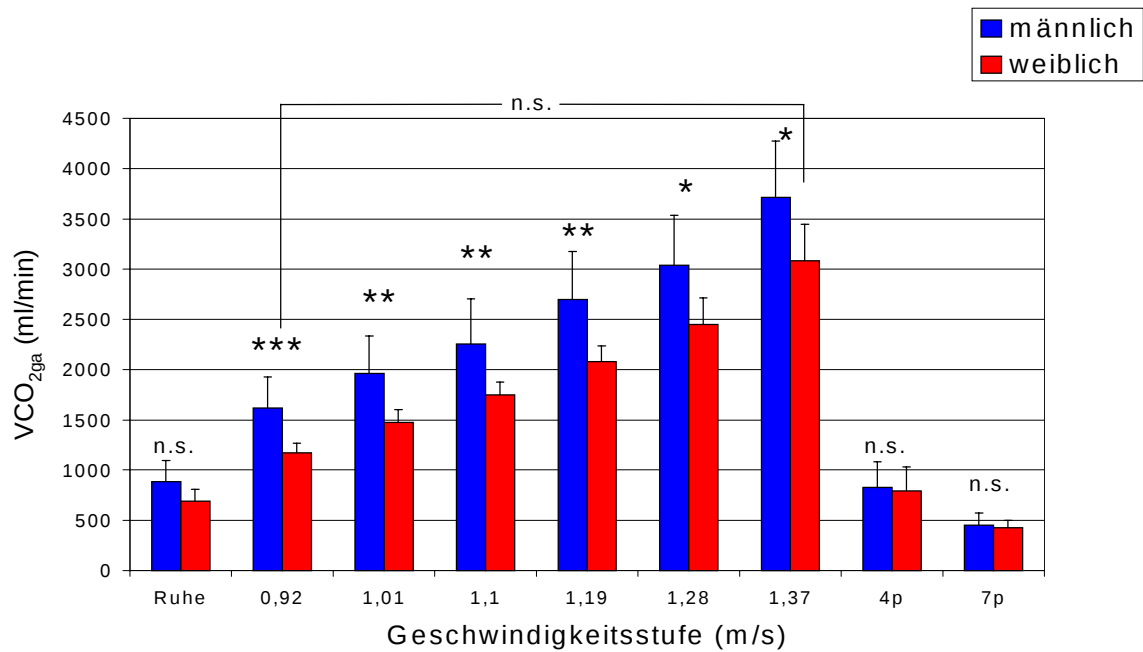


Abb. 26: Unterschied der absoluten Kohlendioxidausgabevolumina beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

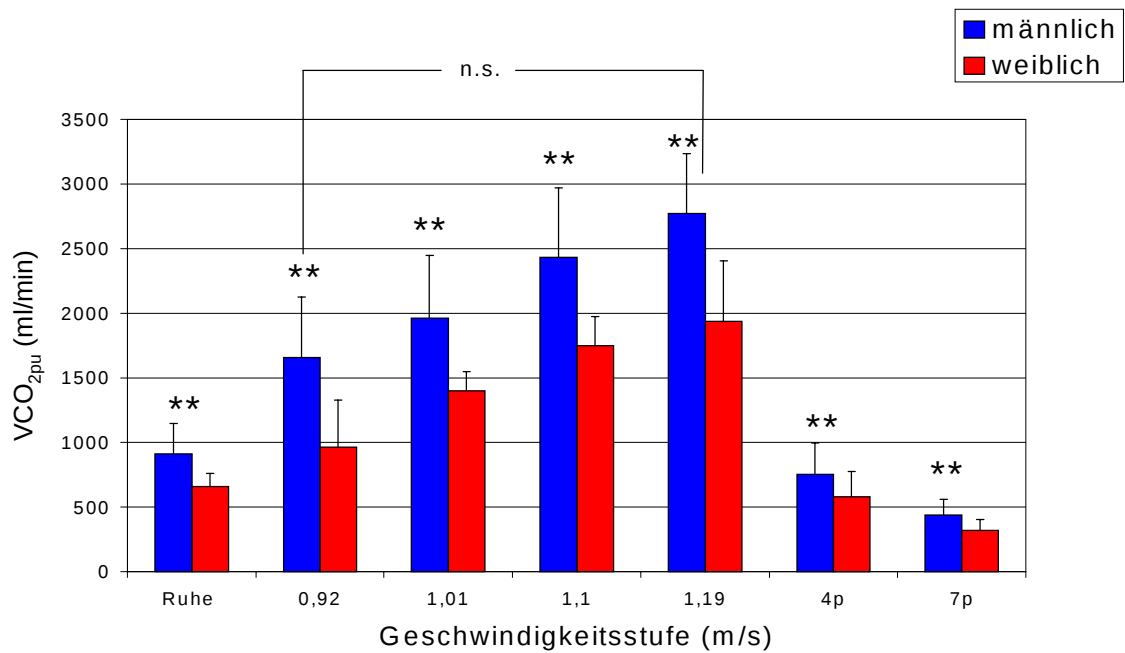


Abb. 27: Unterschied der absoluten Kohlendioxidausgabevolumina beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

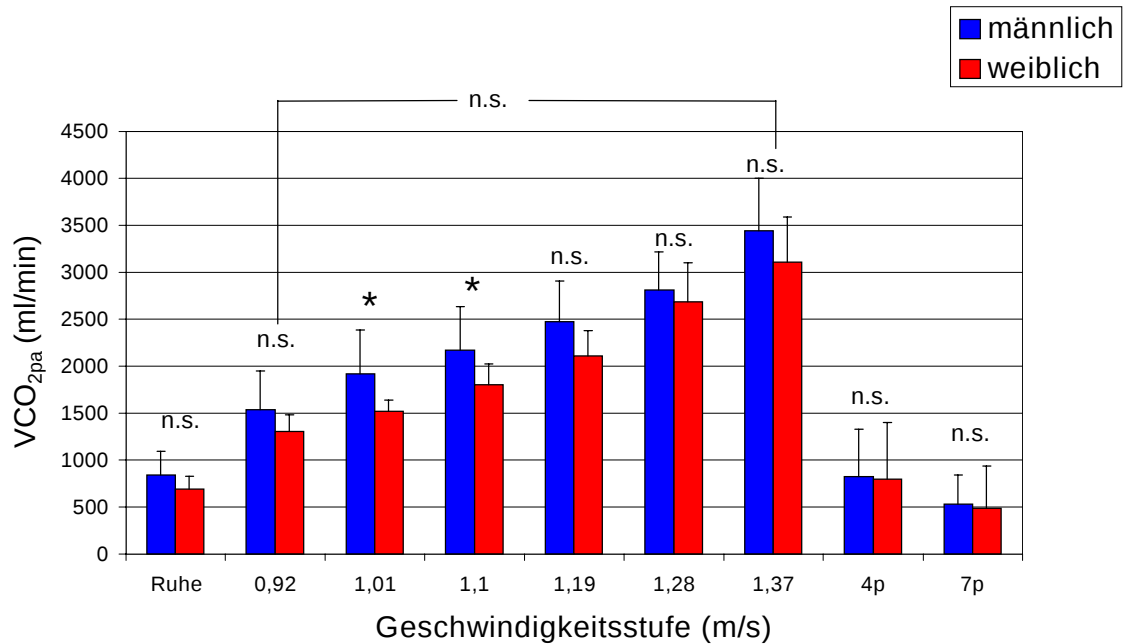


Abb. 28: Unterschied der absoluten Kohlendioxydabgabevolumina beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

Nach Anpassung der Kohlendioxydabgabe-Werte an das Körpergewicht (KG) der Probanden (CO_2/KG) lassen sich wie auch bei der Sauerstoffaufnahme prinzipiell keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) mehr feststellen (Abb.29 – Abb.31). Auch der Verlauf der relativen Kohlendioxydabgabevolumina über die Geschwindigkeitsstufen war zwischen den beiden Geschlechtern in den drei Testdurchgängen nicht signifikant ($p > 0,05$).

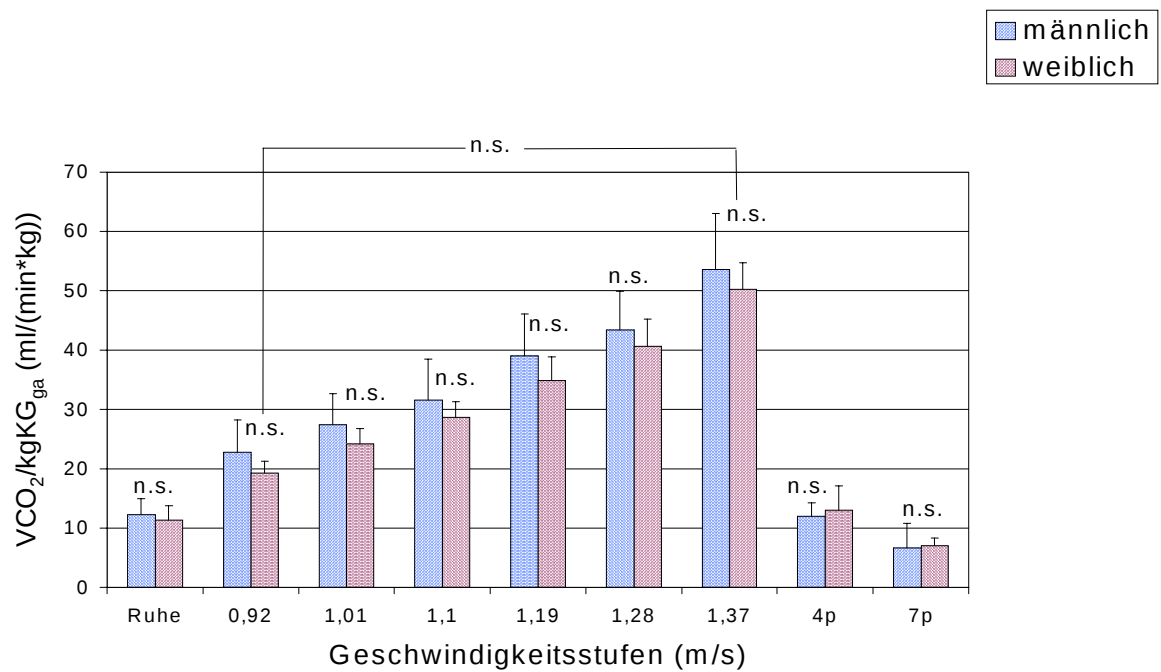


Abb. 29: Unterschiede der relativen Kohlendioxydabgabevolumina (pro kgKG) in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

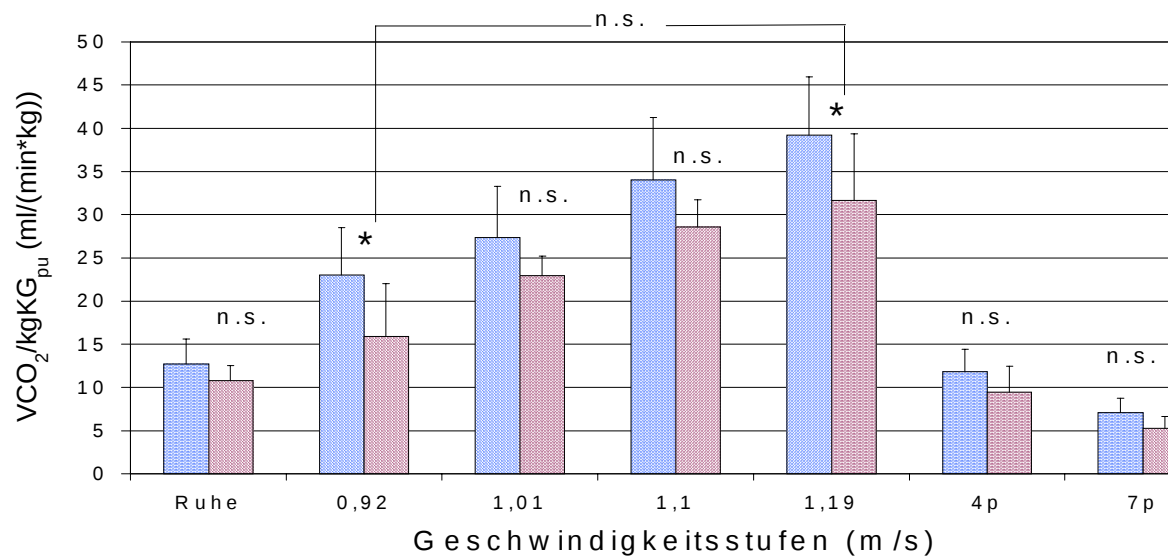


Abb. 30: Unterschiede der relativen Kohlendioxydabgabevolumina (pro kgKG) mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

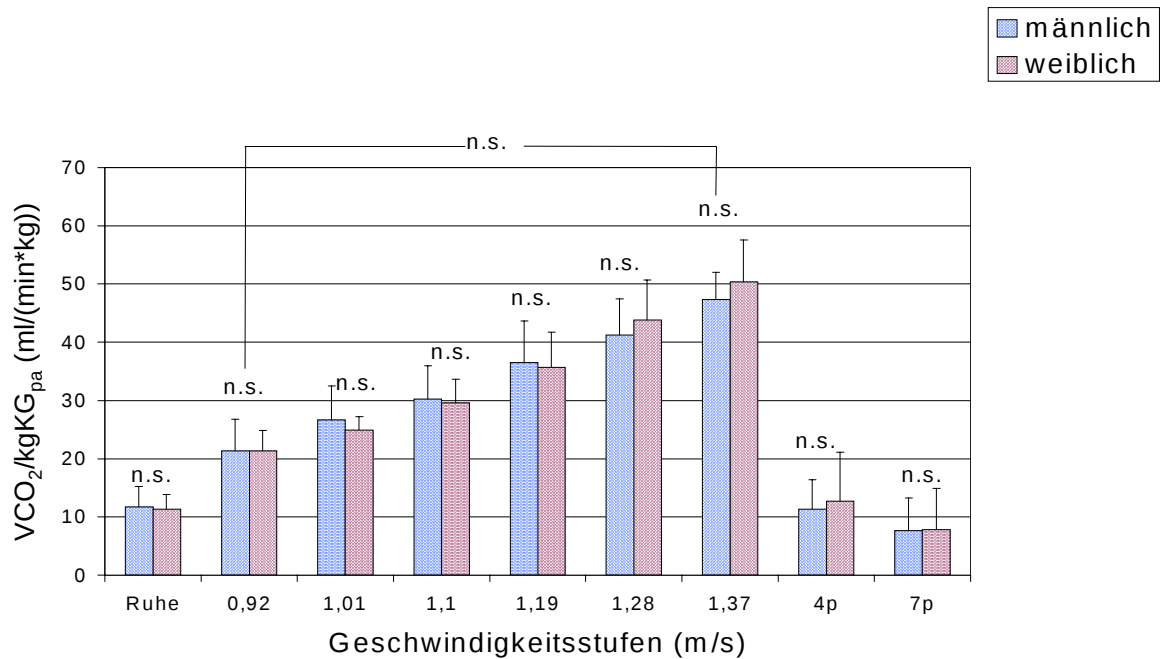


Abb. 31: Unterschiede der relativen Kohlendioxidabgabevolumina (pro kgKG) mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

3.3.3. Respiratorischer Quotient

Die Kurve des respiratorischen Quotienten beim Schwimmen mit Pull-Buoy liegt in allen Geschwindigkeitsstufen signifikant ($p < 0,05$) bis hoch signifikant ($p < 0,001$) über denen des Schwimmens ohne Hilfsmittel oder denen mit Paddles (Abb. 33 – Abb. 34).

Das Schwimmen ohne Hilfsmittel unterscheidet sich in keiner Stufe signifikant ($p > 0,05$) vom Schwimmen mit Paddles (Abb. 35).

In der Ruhephase, sowie in der 1. und 2. Nachatmungsphase ist kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den Meßergebnissen der respiratorischen Quotienten (Tab. 6) der drei Testabläufe festzustellen (Abb. 32).

Testmethode	Ganze Lage	Paddles	Pull-Buoy
RQ in Ruhe	$1,29 \pm 0,28$	$1,20 \pm 0,27$	$1,34 \pm 0,28$
0,92 m/s RQ	$0,82 \pm 0,08$	$0,83 \pm 0,08$	$0,89 \pm 0,10$
1,01 m/s RQ	$0,88 \pm 0,05$	$0,89 \pm 0,06$	$0,96 \pm 0,07$
1,10 m/s RQ	$0,91 \pm 0,05$	$0,92 \pm 0,05$	$1,02 \pm 0,08$
1,19 m/s RQ	$0,94 \pm 0,06$	$0,94 \pm 0,05$	$1,06 \pm 0,06$
1,28 m/s RQ	$0,96 \pm 0,05$	$0,99 \pm 0,07$	—
1,37 m/s RQ	$1,03 \pm 0,06$	$1,03 \pm 0,10$	—
RQ in der 4. Nachatmungs-minute	$1,25 \pm 0,20$	$1,37 \pm 0,28$	$1,27 \pm 0,18$
RQ in der 7. Nachatmungs-minute	$1,10 \pm 0,15$	$1,08 \pm 0,17$	$1,04 \pm 0,14$

Tab. 6: Meßwerte der respiratorischen Quotienten der drei Testdurchgänge auf den einzelnen Belastungsstufen.

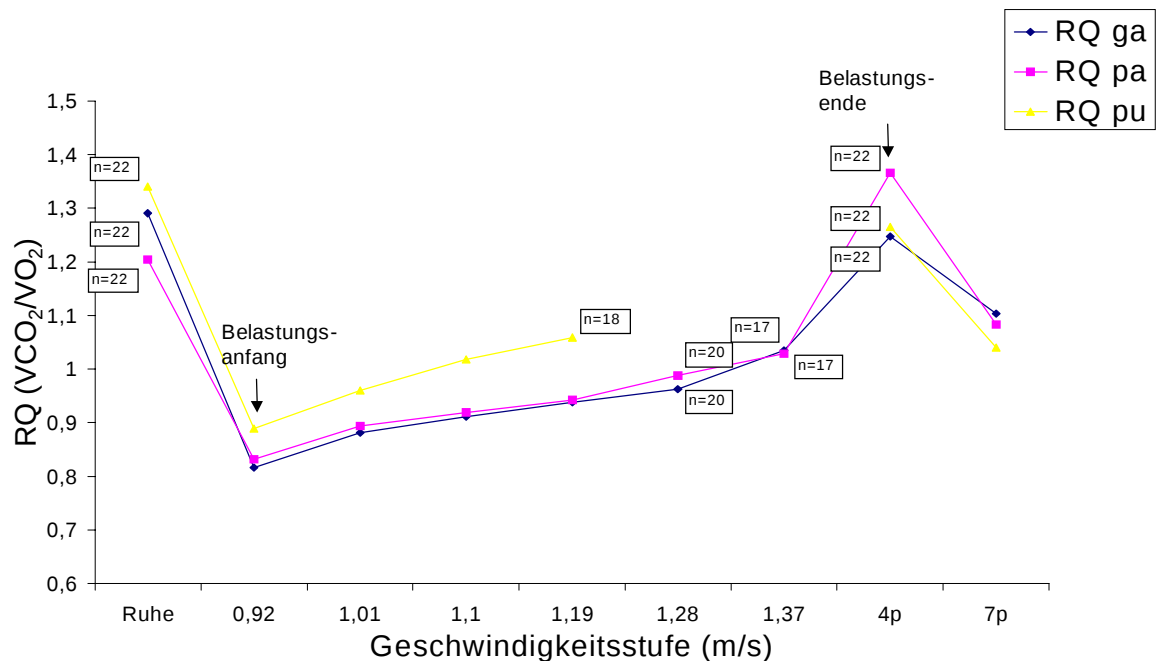


Abb. 32: Respiratorischer Quotient in den drei Testdurchgängen mit Angabe der Probandenanzahl bezogen auf die einzelnen Belastungsstufen (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu).

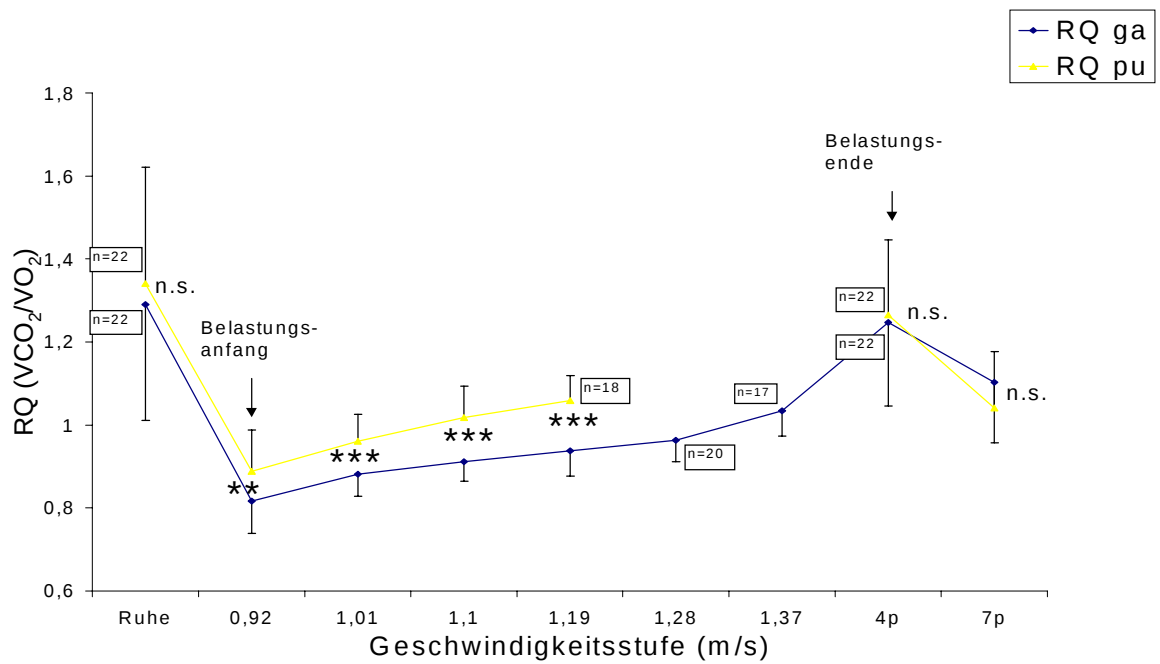


Abb. 33: Vergleich der respiratorischen Quotienten auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

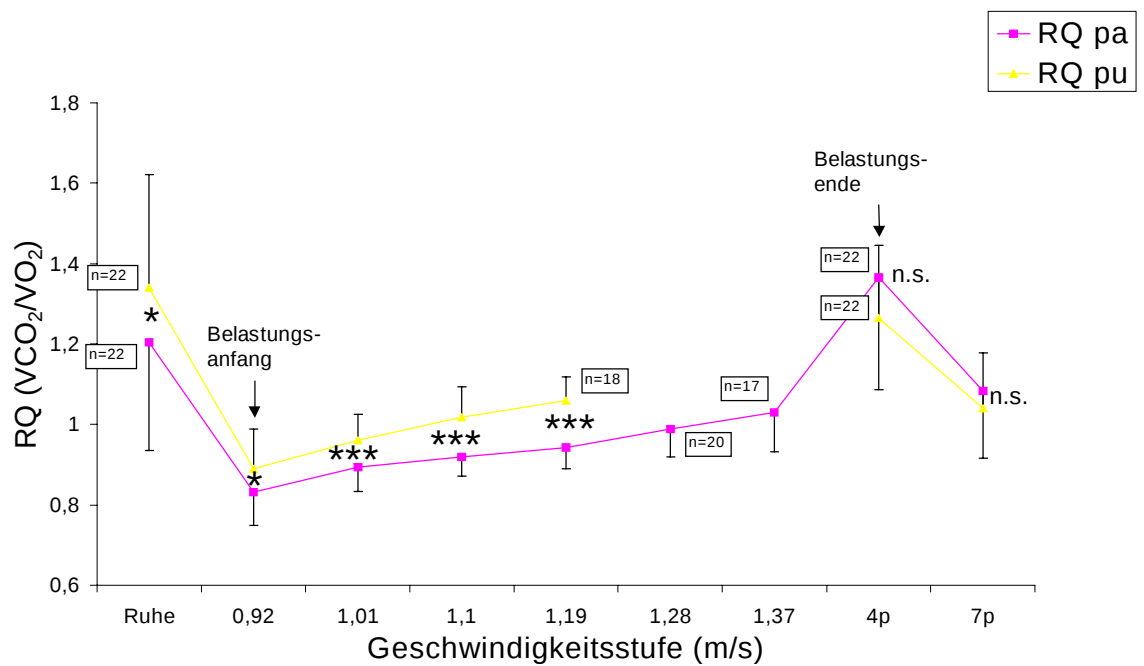


Abb. 34: Vergleich der respiratorischen Quotienten auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy.

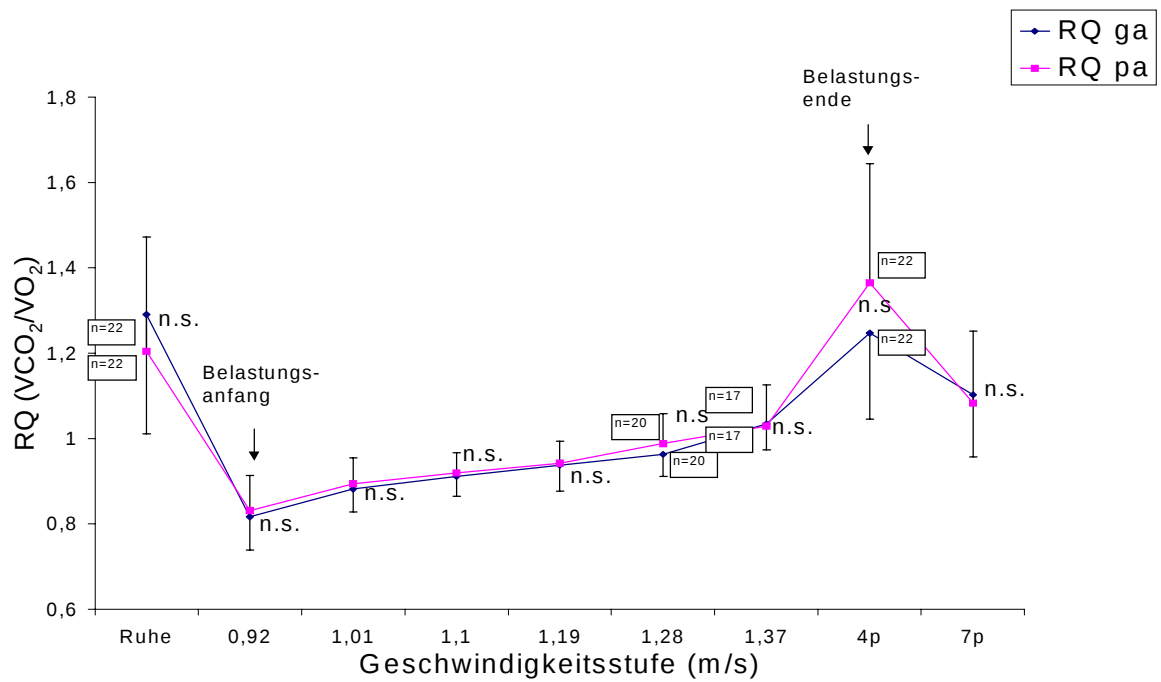


Abb. 35: Direkter Vergleich der respiratorischen Quotienten auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Paddles.

Beim Vergleich der Meßergebnisse des respiratorischen Quotienten zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung läßt sich zwischen keinem der drei Testabläufe ($ga = 1,03 \pm 0,06$; $pa = 1,03 \pm 0,10$; $pu = 1,06 \pm 0,06$) ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) feststellen (Abb. 36).

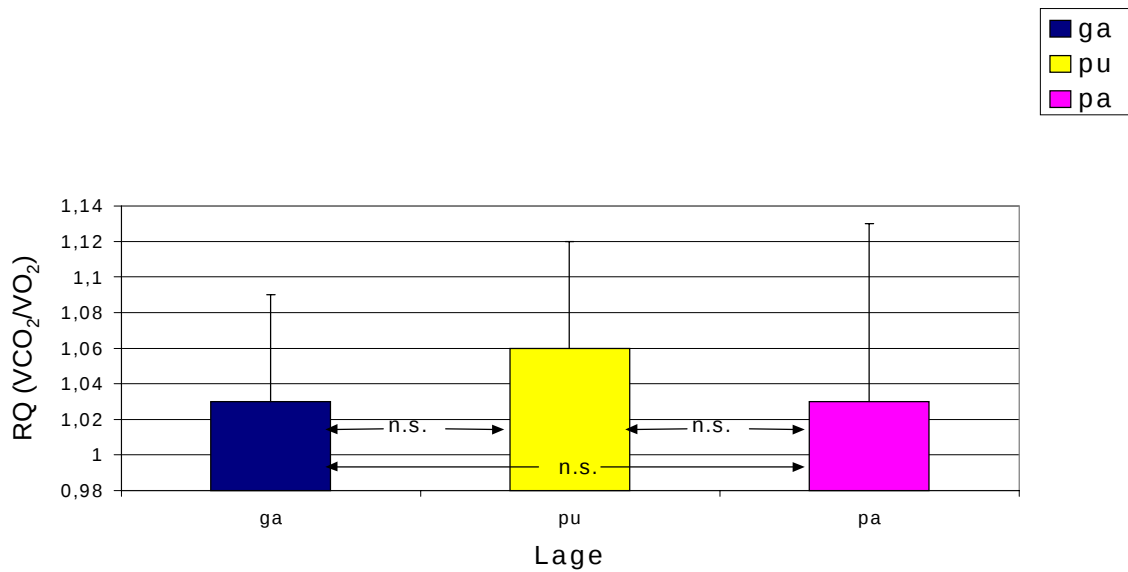


Abb. 36: Respiratorischer Quotient zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung (ganze Lage = ga, Pull-Buoy = pu, Paddles = pa).

Zwischen den Meßergebnissen der männlichen und weiblichen Probanden (Tab. 7) besteht hinsichtlich des respiratorischen Quotienten im direkten Vergleich und im Verlauf prinzipiell kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) (Abb. 37 – Abb. 39). Eine Ausnahme stellen nur die 5. Geschwindigkeitsstufe beim Schwimmen mit Paddles und die 1. Nachbelastungsphase mit Pull-Buoy dar, in denen ein signifikanter ($p < 0,05$) bzw. ein sehr signifikanter ($p < 0,01$) Unterschied festgestellt werden kann.

Zeitpunkt	ganze Lage (m)	ganze Lage (w)	Pull-Buoy (m)	Pull-Buoy (w)	Paddles (m)	Paddles (w)
Ruhe RQ	1,35 ± 0,31	1,18 ± 0,18	1,36 ± 0,34	1,31 ± 0,13	1,27 ± 0,30	1,09 ± 0,17
0,92 m/s RQ	0,82 ± 0,09	0,80 ± 0,05	0,90 ± 0,12	0,87 ± 0,06	0,81 ± 0,09	0,86 ± 0,06
1,01 m/s RQ	0,89 ± 0,05	0,87 ± 0,06	0,96 ± 0,07	0,96 ± 0,05	0,89 ± 0,06	0,91 ± 0,05
1,10 m/s RQ	0,91 ± 0,05	0,91 ± 0,04	1,01 ± 0,08	1,04 ± 0,07	0,91 ± 0,05	0,94 ± 0,04
1,19 m/s RQ	0,95 ± 0,06	0,91 ± 0,06	1,06 ± 0,07	1,05 ± 0,05	0,93 ± 0,05	0,96 ± 0,06

Zeitpunkt	ganze Lage (m)	ganze Lage (w)	Pull-Buoy (m)	Pull-Buoy (w)	Paddles (m)	Paddles (w)
1,28 m/s RQ	0,96 ± 0,04	0,96 ± 0,07	_____	_____	0,96 ± 0,05	1,03 ± 0,08
1,37 m/s RQ	1,03 ± 0,06	1,06 ± 0,06	_____	_____	1,00 ± 0,07	1,07 ± 0,12
4. Nachat- mungsmi- nute RQ	1,25 ± 0,20	1,28 ± 0,16	1,27 ± 0,18	1,13 ± 0,10	1,37 ± 0,28	1,33 ± 0,20
7. Nachat- mungsmi- nute RQ	1,10 ± 0,15	1,12 ± 0,20	1,04 ± 0,14	0,98 ± 0,09	1,08 ± 0,17	1,08 ± 0,20

Tab. 7: Respiratorische Quotienten (RQ) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden in den drei Testdurchgängen auf den einzelnen Belastungsstufen.

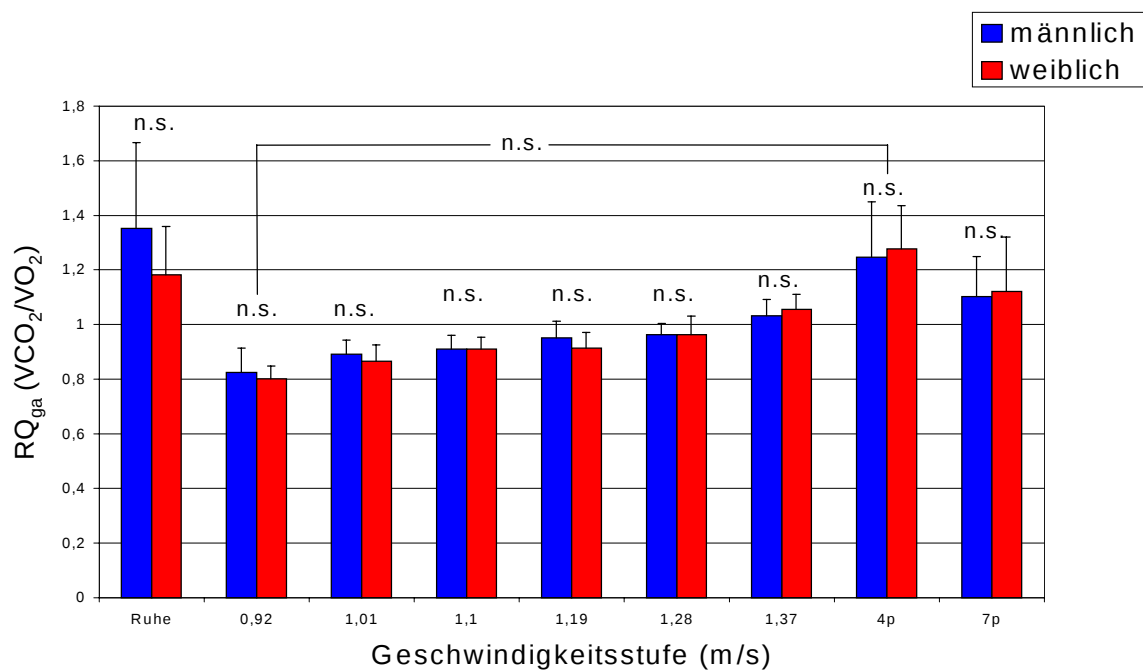


Abb. 37: Unterschied des respiratorischen Quotienten (RQ) beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

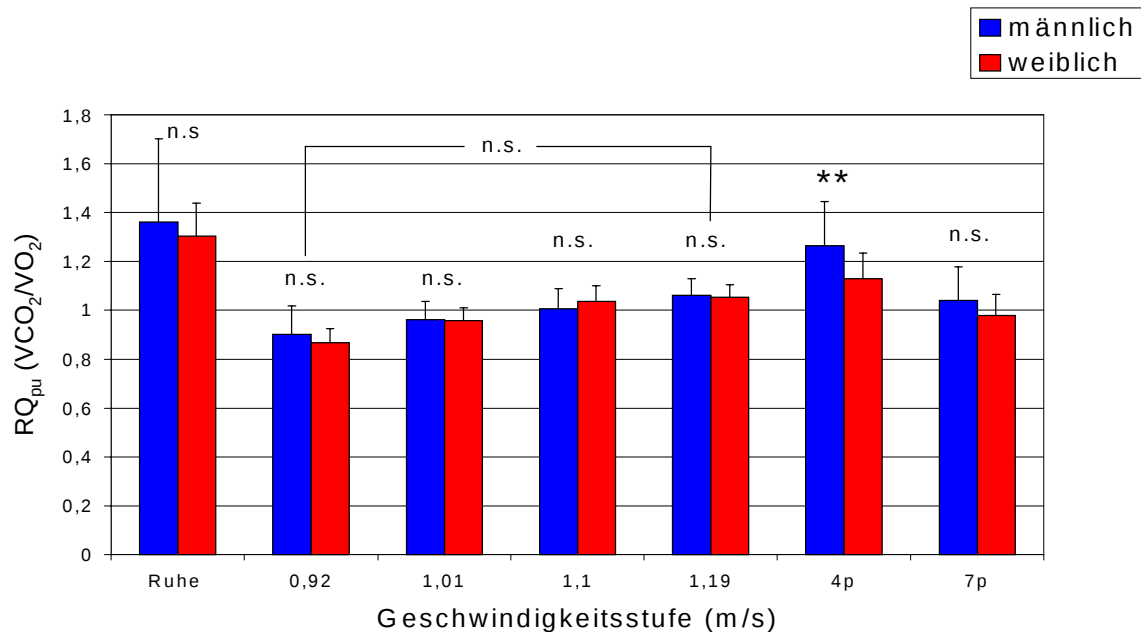


Abb. 38: Unterschied des respiratorischen Quotienten (RQ) beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

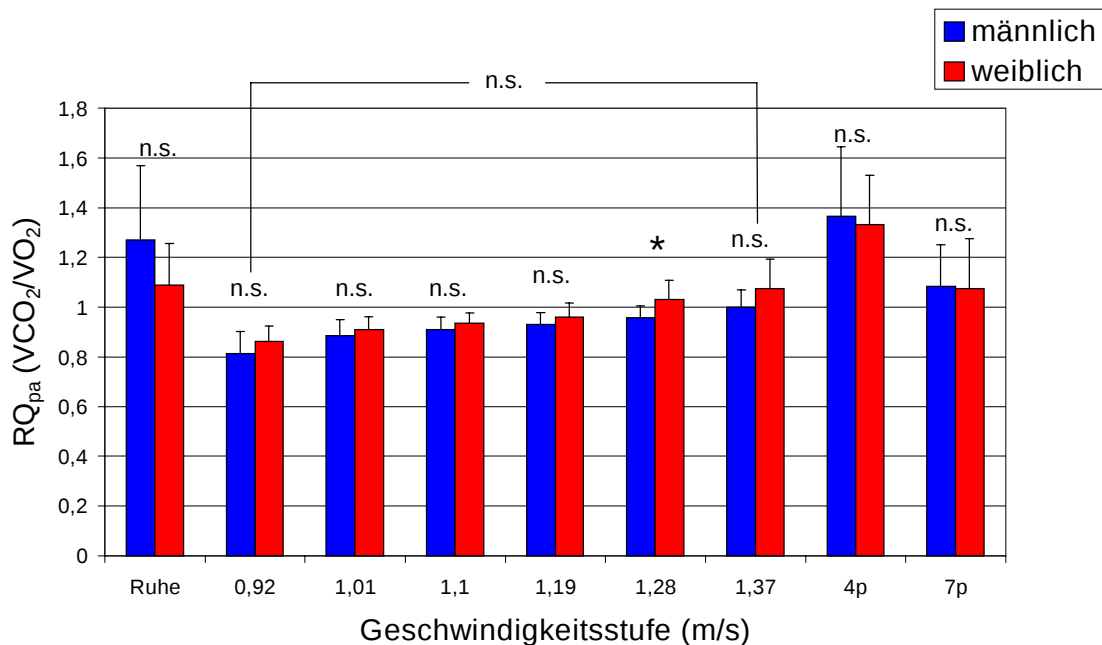


Abb. 39: Unterschied des respiratorischen Quotienten (RQ) beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

3.3.4. Atemminutenvolumen

Während des gesamten Versuchsdurchlaufs lassen sich prinzipiell keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen dem Hilfsmittel Pull-Buoy, den Paddles oder der ganzen Lage in Bezug auf das Atemminutenvolumen feststellen (Abb. 40 – 43).

Tendenziell befinden sich aber die Werte beim Schwimmen mit Pull-Buoy in den höheren Geschwindigkeitsstufen (ab 3. Stufe) über denen der ganzen Lage oder denen der Paddles, während die Meßergebnisse der ganzen Lage über denen der Paddles liegen. Dabei besteht in der 4. Geschwindigkeitsstufe ein signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied zwischen dem Schwimmen mit Pull-Buoy und mit Paddles ($63,49 \pm 16,46$ l/min vs. $55,52 \pm 12,75$ l/min).

In den Nachbelastungsphasen findet sich eine genau umgekehrte Rangfolge der Meßwerte (Paddles > ganze Lage > Pull-Buoy), und in der 1. Nachatmungsphase läßt sich ein sehr signifikanter ($p < 0,01$) Unterschied zwischen dem Hilfsmittel Pull-Buoy und den Paddles feststellen ($29,89 \pm 11,29$ l/min vs. $39,92 \pm 12,75$ l/min) (Abb. 42).

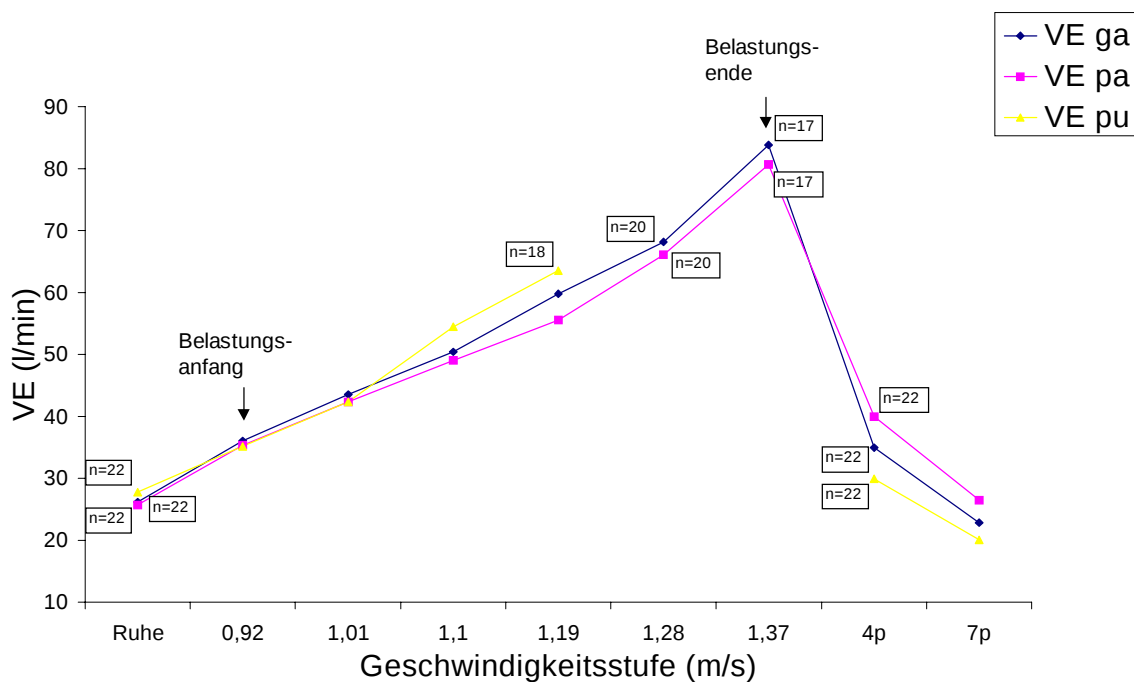


Abb. 40: Atemminutenvolumen in den drei Testdurchgängen mit Angabe der Probandenanzahl bezogen auf die einzelnen Belastungsstufen (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu).

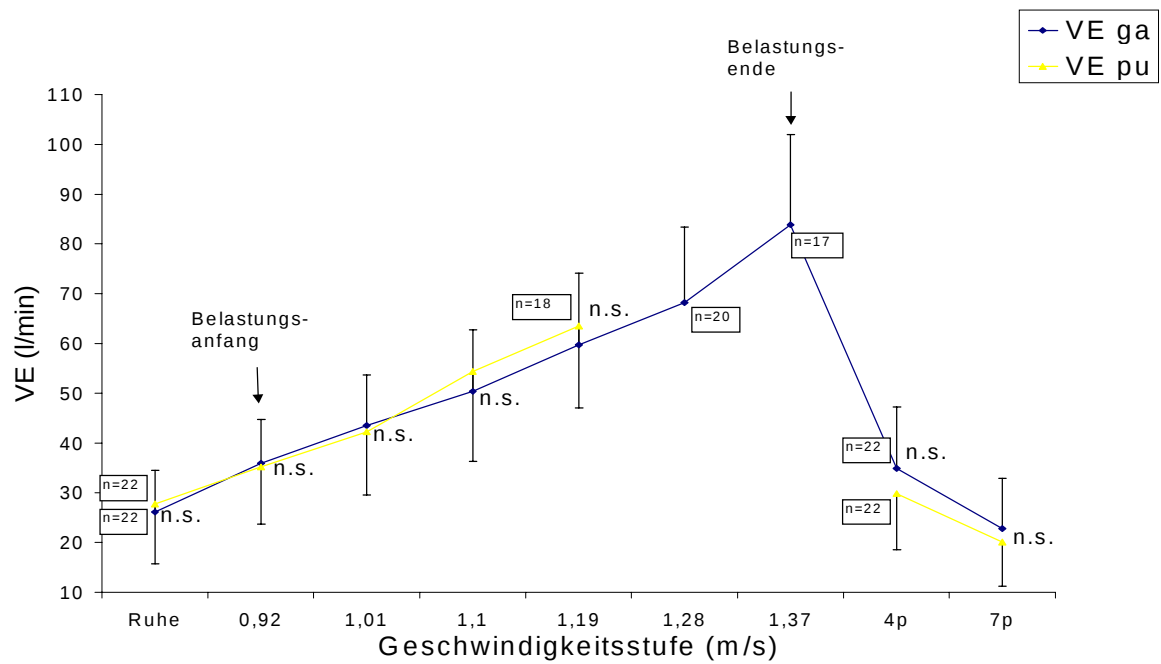


Abb. 41: Vergleich der Atemminutenvolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

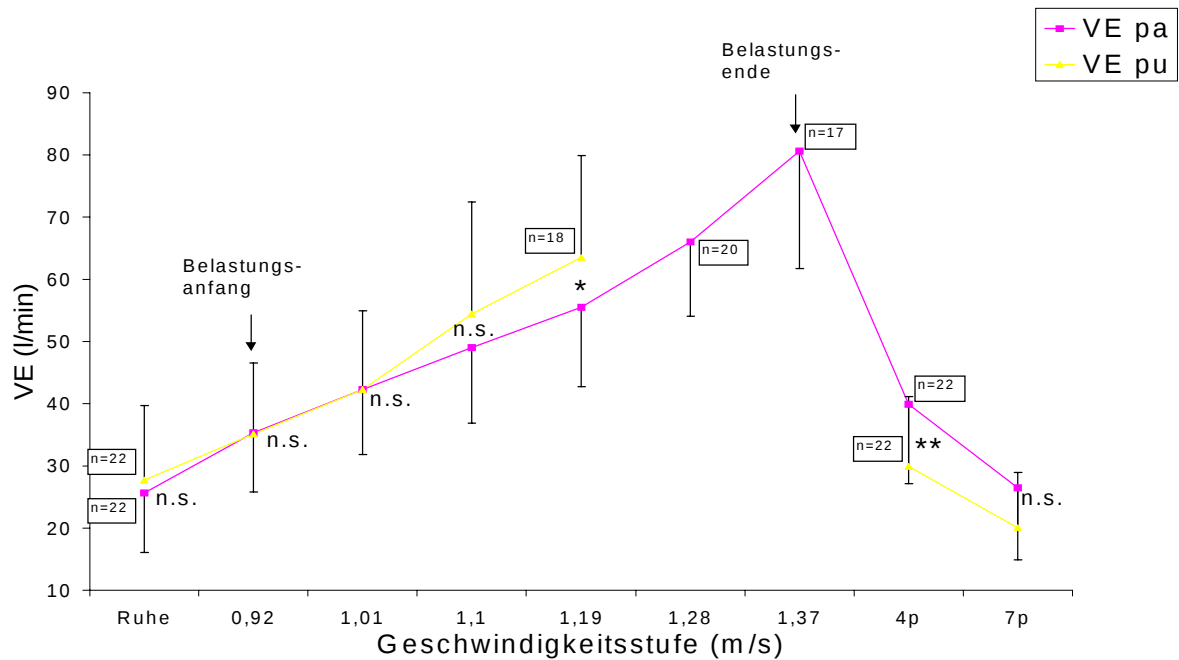


Abb. 42: Vergleich der Atemminutenvolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy.

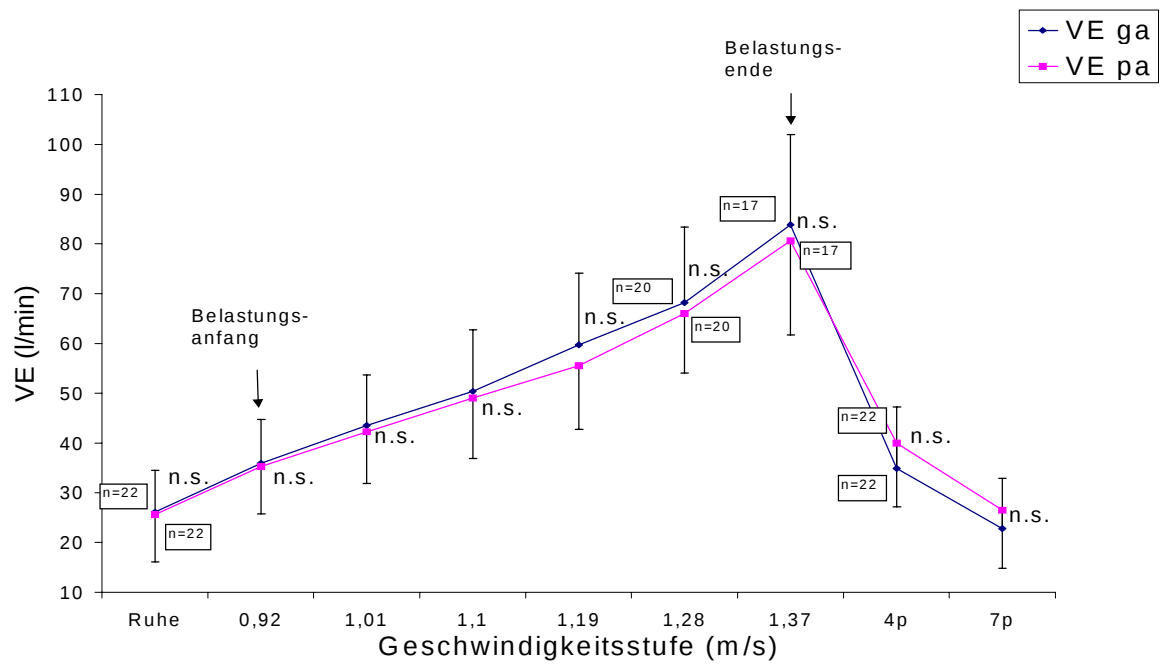


Abb. 43: Direkter Vergleich der Atemminutenvolumina auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Paddles.

Die einzelnen Meßergebnisse der Atemminutenvolumina sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

Zeitpunkt	Ganze Lage VE (l/min)	Paddles VE (l/min)	Pull-Buoy VE (l/min)
Ruhe-Phase	26,15 ± 8,38	25,69 ± 9,54	27,71 ± 11,97
0,92 m/s	35,99 ± 8,77	35,31 ± 9,53	35,15 ± 11,45
1,01 m/s	43,51 ± 10,21	42,29 ± 10,46	42,29 ± 12,71
1,10 m/s	50,36 ± 12,45	48,99 ± 12,09	54,40 ± 18,06
1,19 m/s	59,73 ± 14,44	55,52 ± 12,75	63,49 ± 16,55
1,28 m/s	68,18 ± 15,20	66,04 ± 11,96	—————
1,37 m/s	83,82 ± 18,15	80,61 ± 18,89	—————
1. Nachbelastungs- phase	34,95 ± 12,31	39,92 ± 12,75	29,89 ± 11,29
2. Nachbelastungs- phase	22,80 ± 10,11	26,49 ± 11,62	20,09 ± 8,86

Tab. 8: Darstellung der einzelnen Atemminutenvolumina aller Probanden in den drei verschiedenen Testdurchgängen auf den einzelnen Belastungsstufen.

Bei den Atemminutenvolumina, die zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung des Probanden erfaßt wurden, findet man einen hoch signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) zwischen dem Meßergebnis des Schwimmens mit Pull-Buoy ($63,49 \pm 16,46$ l/min) verglichen mit den Testdurchläufen ohne Hilfsmittel ($83,82 \pm 18,15$ l/min) und mit Paddles ($80,61 \pm 18,89$ l/min) (Abb. 44). Bei der Benutzung der Paddles konnte kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) zum Schwimmen in ganzer Lage gefunden werden.

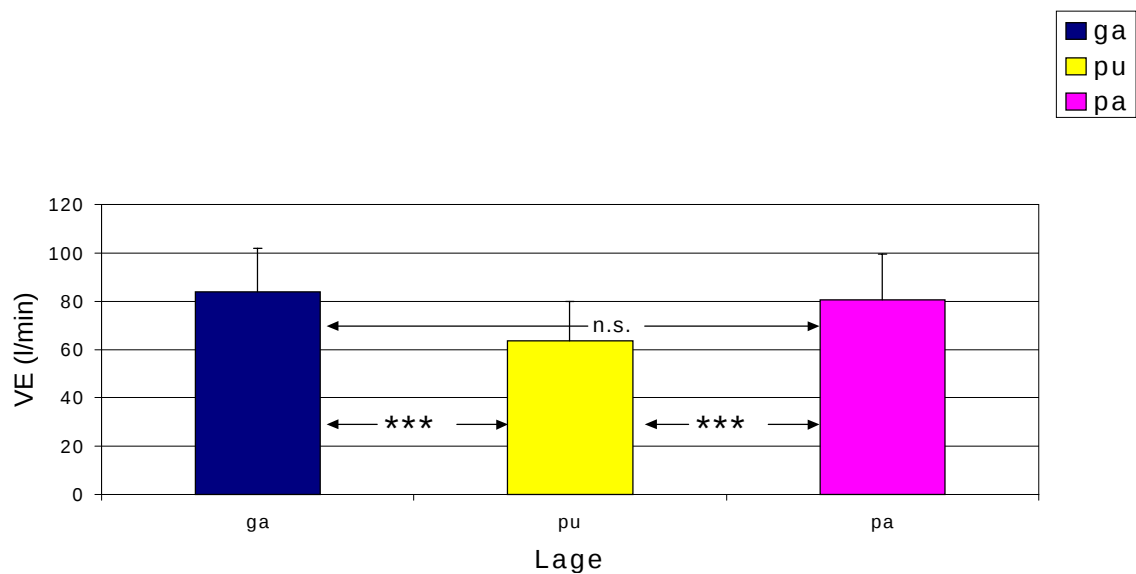


Abb. 44: Atemminutenvolumen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung (ganze Lage = ga, Pull-Buoy = pu, Paddles = pa).

Die Atemminutenvolumina der männlichen und weiblichen Probanden unterscheiden sich nur auf den niedrigen Geschwindigkeitsstufen (0,92 m/s, 1,01 m/s) (Abb. 45 –Abb. 47) signifikant ($p < 0,05$) voneinander (Tab. 9). Der Verlauf der Atemminutenvolumina über die Geschwindigkeitsstufen war zwischen den beiden Geschlechtern in den drei Testdurchgängen nicht signifikant ($p > 0,05$).

Zeitpunkt	ganze Lage (m) VE (l/min)	ganze Lage (w) VE (l/min)	Pull-Buoy (m) VE (l/min)	Pull-Buoy (w) VE (l/min)	Paddles (m) VE (l/min)	Paddles (w) VE (l/min)
Ruhe	28,57 ± 9,12	21,90 ± 4,87	30,85 ± 14,13	22,63 ± 4,41	27,52 ± 10,55	22,70 ± 7,28
0,92 m/s	39,32 ± 9,04	30,16 ± 4,22	39,15 ± 12,77	28,65 ± 4,10	36,98 ± 11,32	32,60 ± 5,14

Zeitpunkt	ganze Lage (m) VE (l/min)	ganze Lage (w) VE (l/min)	Pull-Buoy (m) VE (l/min)	Pull-Buoy (w) VE (l/min)	Paddles (m) VE (l/min)	Paddles (w) VE (l/min)
1,01 m/s	47,01 ± 10,55	37,38 ± 6,21	46,76 ± 14,19	35,01 ± 4,34	45,05 ± 12,32	37,80 ± 3,88
1,10 m/s	54,06 ± 13,56	43,88 ± 6,90	59,82 ± 20,51	45,59 ± 8,25	51,63 ± 13,91	44,70 ± 7,24
1,19 m/s	64,60 ± 15,95	52,07 ± 7,38	69,06 ± 17,09	55,54 ± 12,60	57,74 ± 15,54	52,36 ± 7,19
1,28 m/s	70,93 ± 17,49	64,24 ± 11,27	—	—	65,94 ± 14,20	66,16 ± 9,42
1,37 m/s	86,67 ± 22,10	82,2 ± 9,19	—	—	83,84 ± 22,30	76,30 ± 13,87
4. Nachat- mungsmi- nute	34,95 ± 12,31	27,23 ± 7,41	29,89 ± 11,29	21,90 ± 9,20	39,91 ± 12,75	33,75 ± 13,09
7. Nachat- mungsmi- nute	22,80 ± 10,11	15,8 ± 2,84	20,09 ± 8,86	14,26 ± 7,87	26,49 ± 11,62	25,60 ± 13,67

Tab. 9: Atemminutenvolumina (VE) (l/min) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Belastungsstufen.

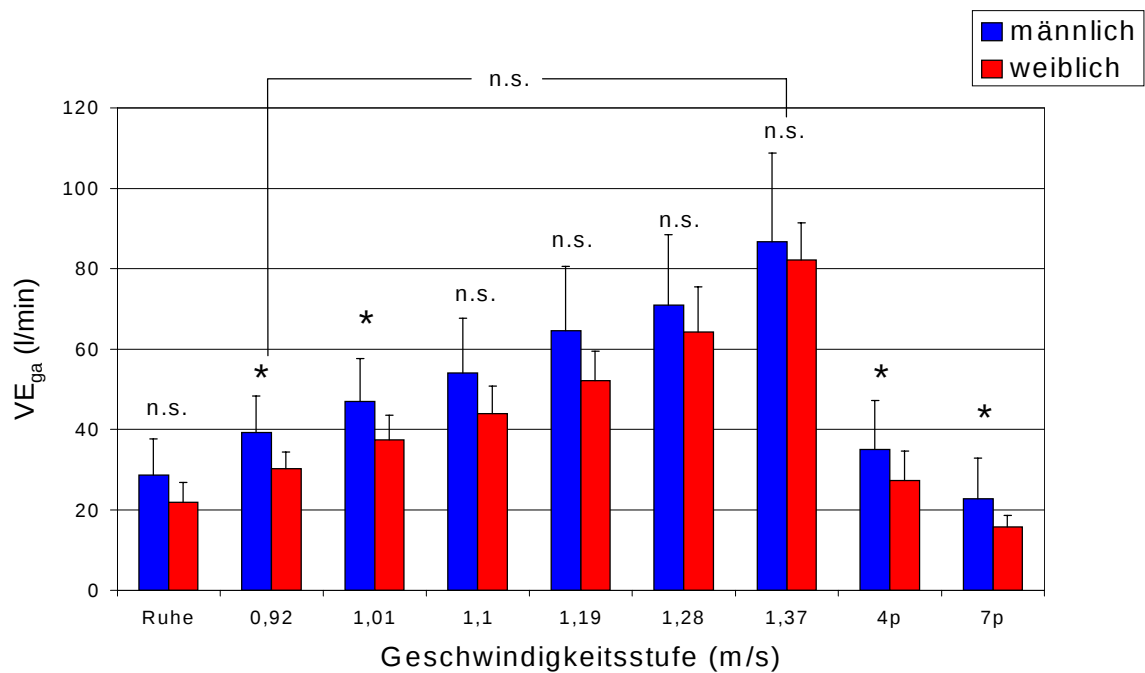


Abb. 45: Unterschied des absoluten Atemminutenvolumens (VE) beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

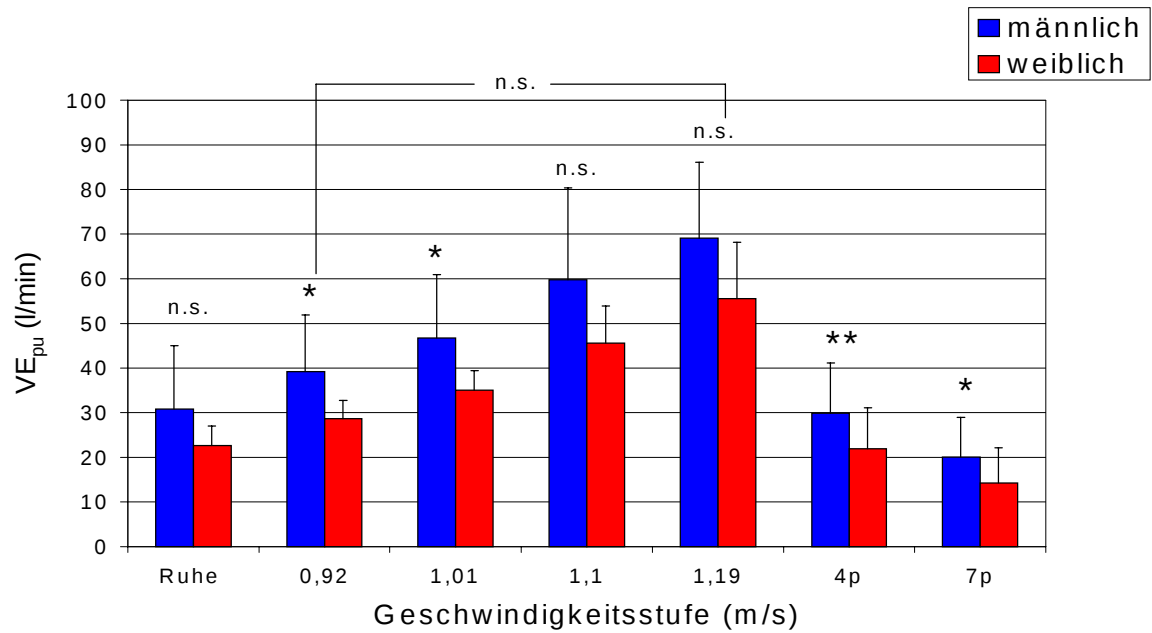


Abb. 46: Unterschied des absoluten Atemminutenvolumens (VE) beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

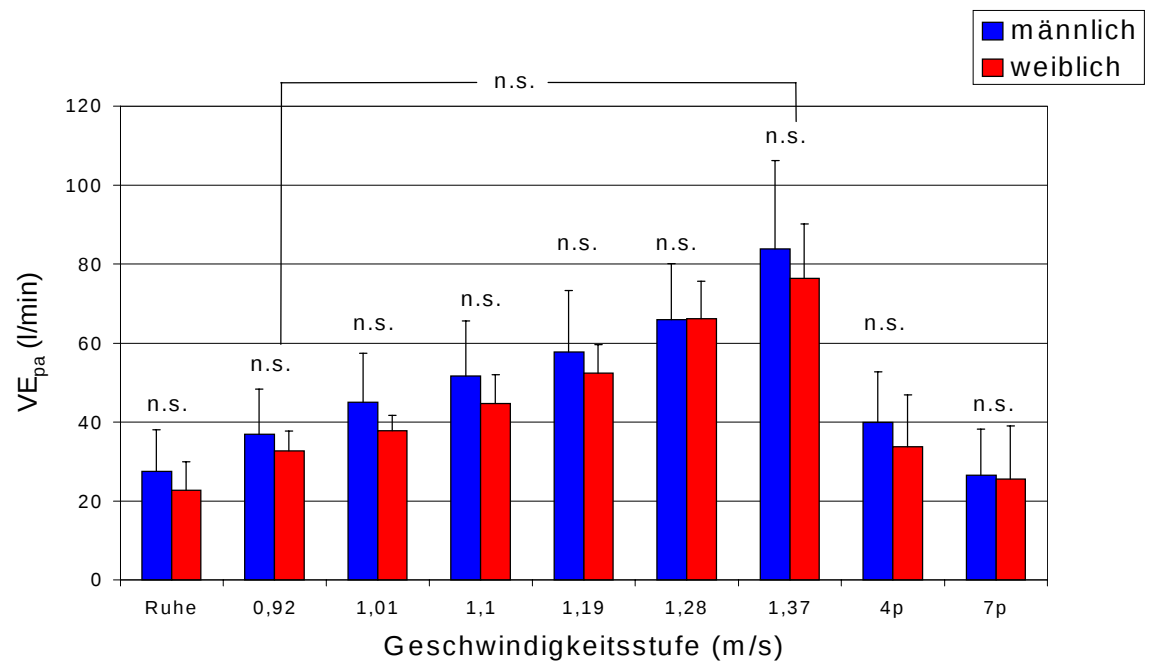


Abb. 47: Unterschied des absoluten Atemminutenvolumens (VE) beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

Nach Einbeziehung des Körpergewichts der Probanden in die Meßergebnisse der Atemminutenvolumina werden auf den einzelnen Stufen und im Verlauf prinzipiell keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern festgestellt (Abb. 48 – 50).

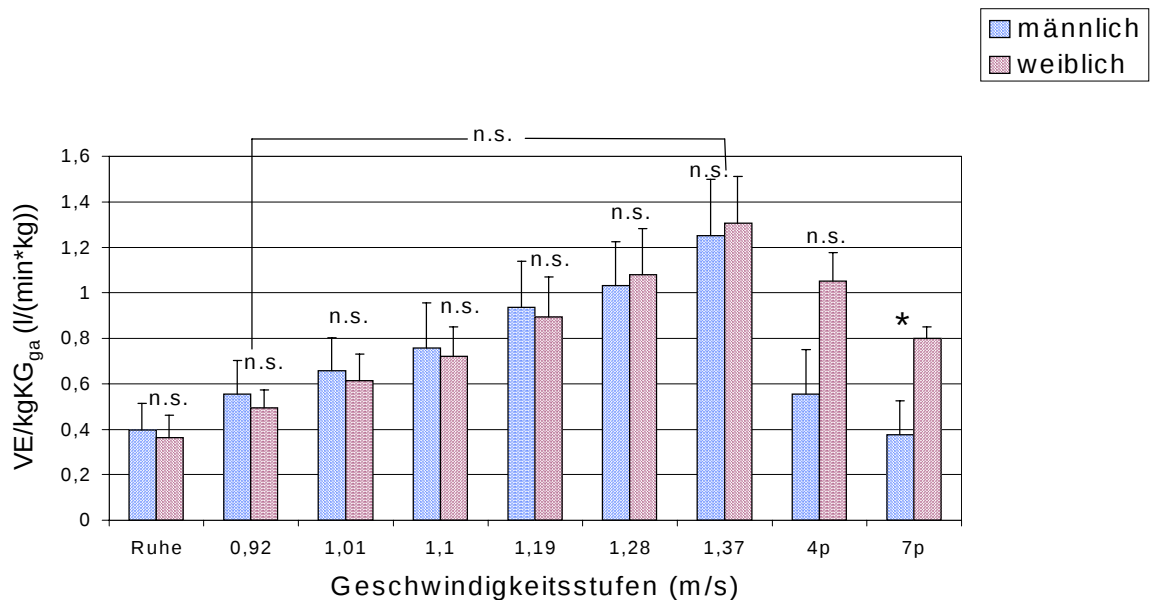


Abb. 48: Unterschied der relativen Atemminutenvolumina (pro kgKG) beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

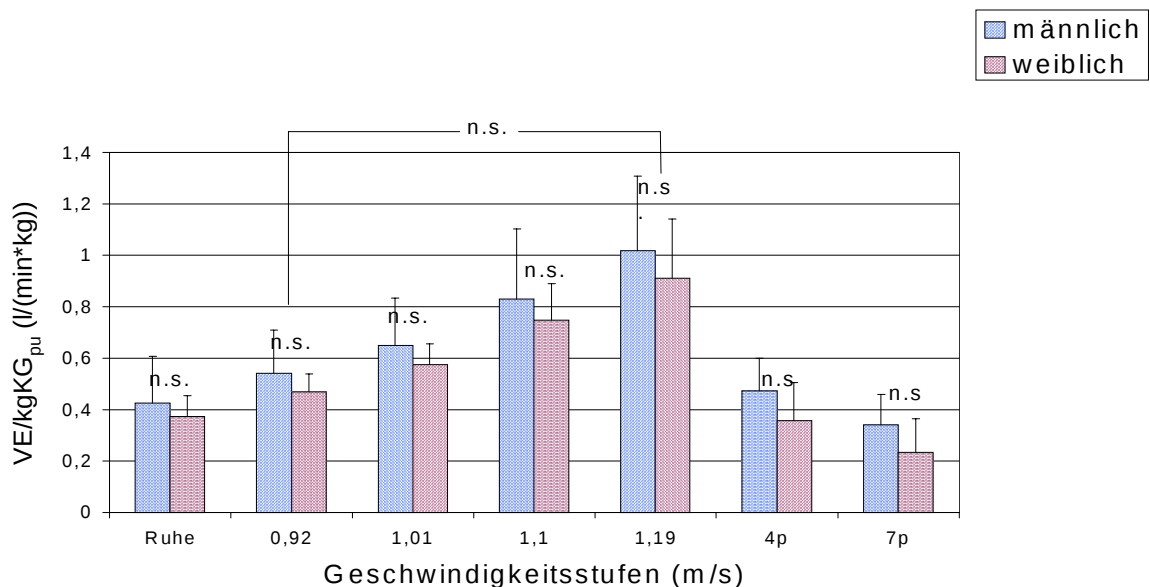


Abb. 49: Unterschied der relativen Atemminutenvolumina (pro kgKG) beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

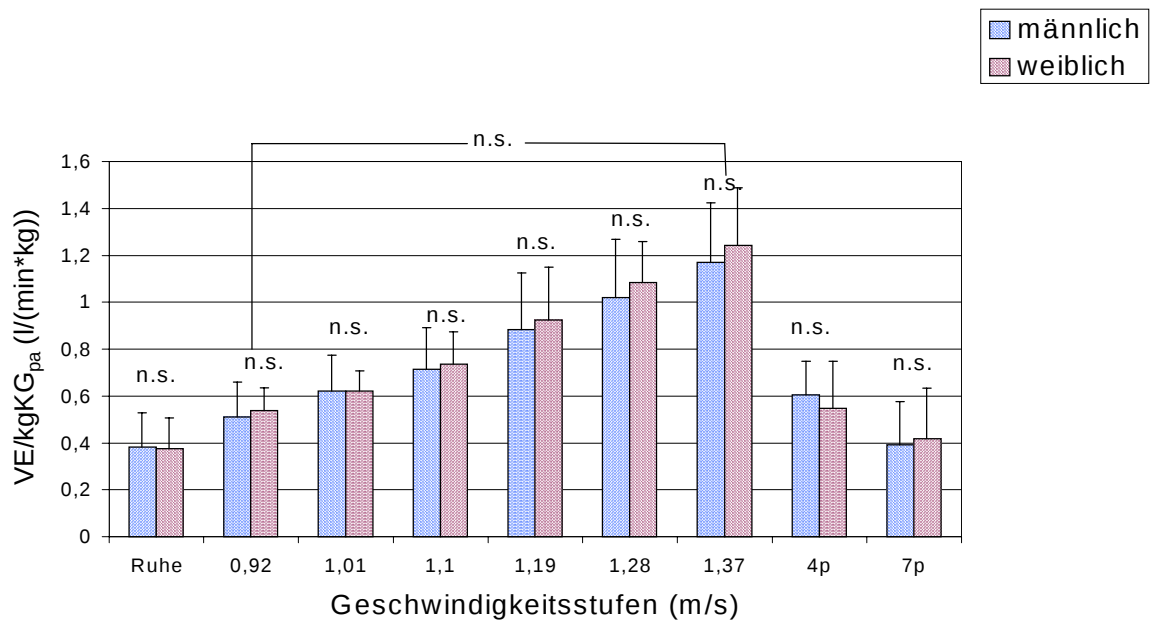


Abb. 50: Unterschied der relativen Atemminutenvolumina (pro kgKG) beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

3.4. Ökonomie

Bei der Ökonomie (dVO_2/dv) der drei Testabläufe Paddles, Pull-Buoy und ganze Lage lässt sich während der gesamten Belastungsphasen kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) finden (Tab. 10, Abb. 51 – 54). Jedoch liegt dVO_2/dv beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf niedrigeren Geschwindigkeitsstufen tendenziell unter den Werten für Paddles und der ganzen Lage (Abb. 51).

Zeitpunkt	Pull-Buoy (dVO_2/dv)	Ganze Lage (dVO_2/dv)	Paddles (dVO_2/dv)
0,92 m/s	1107,36 ± 364,45	1261,71 ± 344,17	1195,26 ± 392,47
1,01 m/s	2094,44 ± 1770,54	2560,61 ± 1600,16	2485,35 ± 1818,09
1,10 m/s	3626,26 ± 1395,74	2699,49 ± 1252,87	2713,13 ± 1688,10
1,19 m/s	3344,44 ± 1732,38	4824,69 ± 1731,55	3836,42 ± 2192,49
1,28 m/s	_____	3856,86 ± 2839,51	4323,53 ± 1873,48
1,37 m/s	_____	4934,64 ± 2503,37	4604,44 ± 2920,54

Tab. 10: Darstellung der Ökonomie aller Probanden auf den verschiedenen Belastungsstufen mit Hilfe der drei Hilfsmittel (Pull-Buoy, ganze Lage, Paddles).

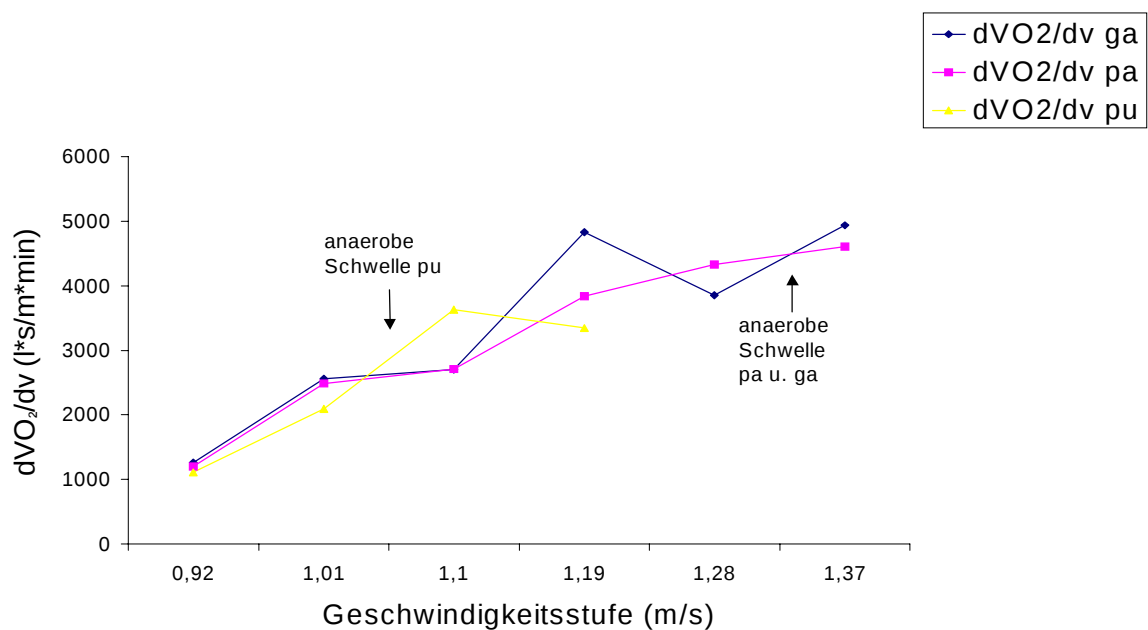


Abb. 51: Darstellung der Ökonomie in den drei Testdurchgängen mit Angabe der anaeroben Schwelle (RQ=1) bezogen auf die einzelnen Geschwindigkeitsstufen (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu).

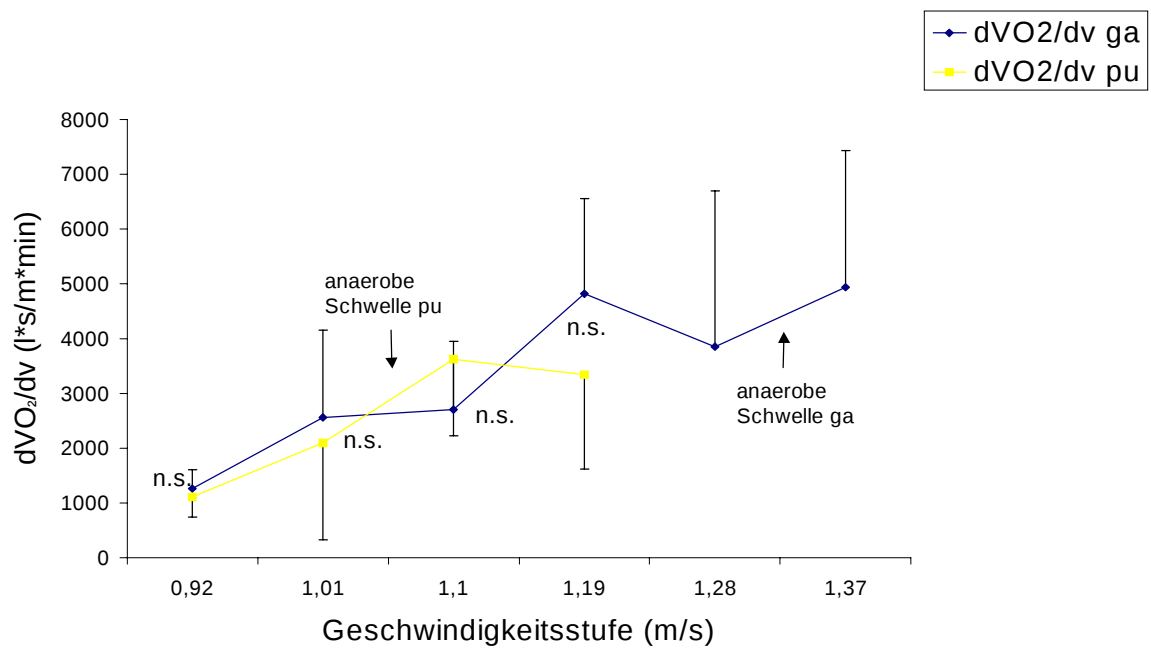


Abb. 52: Vergleich der Ökonomie auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

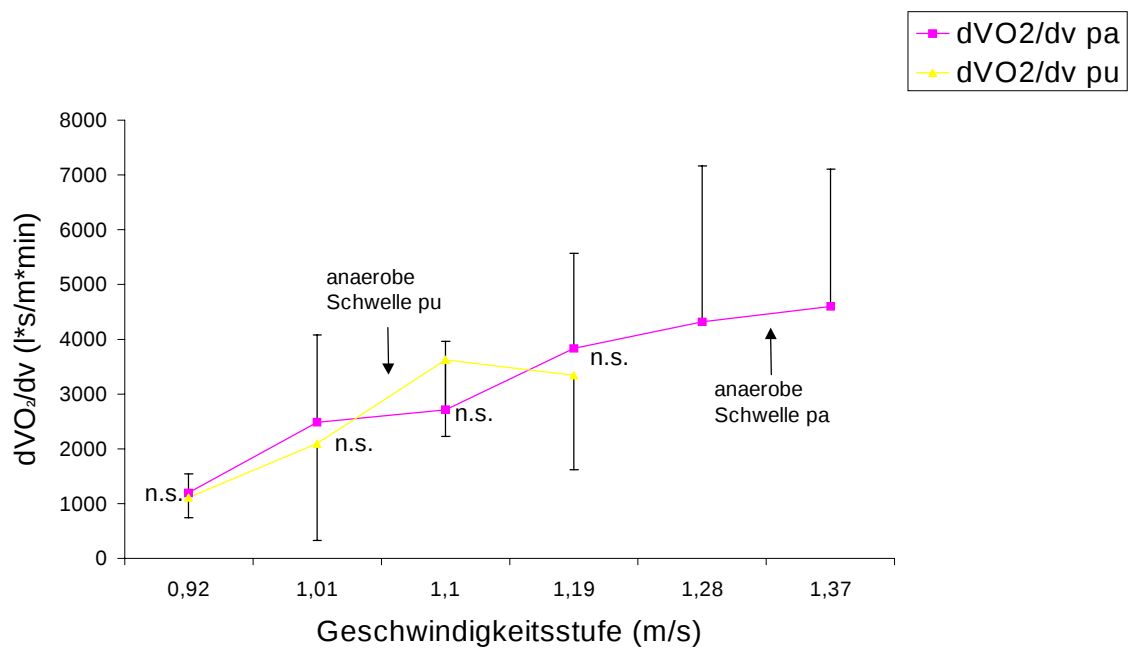


Abb. 53: Vergleich der Ökonomie auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy.

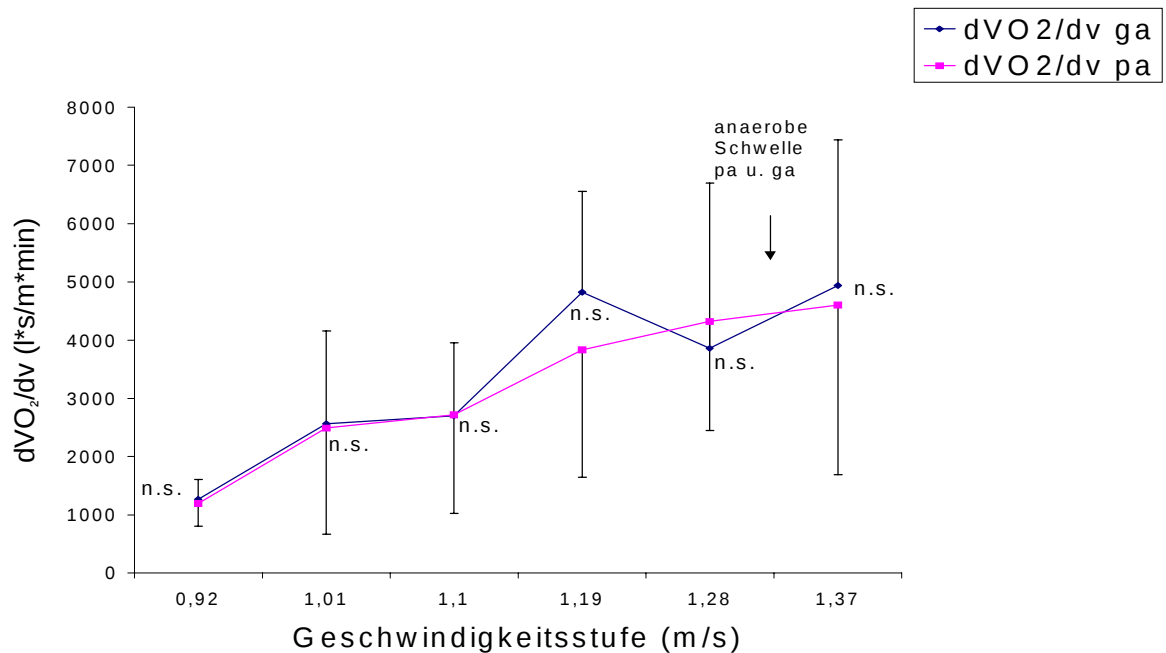


Abb. 54: Vergleich der Ökonomie auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen zwischen Paddles und ganzer Lage.

Beim Vergleich der Ökonomie der männlichen und weiblichen Probanden beim Schwimmen mit Paddles, Pull-Buoy und in der ganzen Lage (Tab. 11) ließen sich zwischen den beiden Geschlechtern auf der niedrigsten Geschwindigkeitsstufe bei allen drei Testdurchgängen ein sehr signifikanter Unterschied ($p < 0,01$) feststellen (Abb. 55-57). Auf den anderen Geschwindigkeitsstufen fand sich jedoch keine signifikante Differenz ($p > 0,05$) in der Ökonomie der beiden Geschlechter. Der Verlauf der Ökonomie über die Geschwindigkeitsstufen war zwischen den beiden Geschlechtern in den drei Testdurchgängen nicht signifikant unterschiedlich ($p > 0,05$).

Zeitpunkt	ganze Lage (m) dVO ₂ /dv (l*s/m*min)	ganze Lage (w) dVO ₂ /dv (l*s/m*min)	Pull-Buoy (m) dVO ₂ /dv (l*s/m*min)	Pull-Buoy (w) dVO ₂ /dv (l*s/m*min)	Paddles (m) dVO ₂ /dv (l*s/m*min)	Paddles (w) dVO ₂ /dv (l*s/m*min)
0,92 m/s	1448,06 ± 261,64	935,60 ± 192,94	1264,13 ± 319,62	833,02 ± 271,25	1349,61 ± 390,38	925,14 ± 219,18
1,01 m/s	2566,67 ± 1886,42	2550,00 ± 1035,66	2080,16 ± 2160,88	2119,44 ± 855,31	2850,00 ± 2092,17	1847,22 ± 1027,60
1,10 m/s	2731,75 ± 1393,21	2643,06 ± 1048,14	4235,71 ± 1226,87	2559,72 ± 1003,01	2583,33 ± 1971,80	2940,28 ± 1111,67
1,19 m/s	5675,75 ± 1486,51	3487,30 ± 1182,21	3457,58 ± 1669,80	3166,67 ± 1948,28	4190,90 ± 2531,68	3279,37 ± 1531,39
1,28 m/s	4167,78 ± 3413,21	3412,70 ± 1906,46	—	—	4230,00 ± 1472,09	4457,14 ± 2464,51
1,37 m/s	5023,33 ± 2068,17	4807,94 ± 3203,72	—	—	5190,12 ± 3397,95	3725,93 ± 1966,07

Tab. 11: Ökonomie der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen mit den verschiedenen Hilfsmitteln.

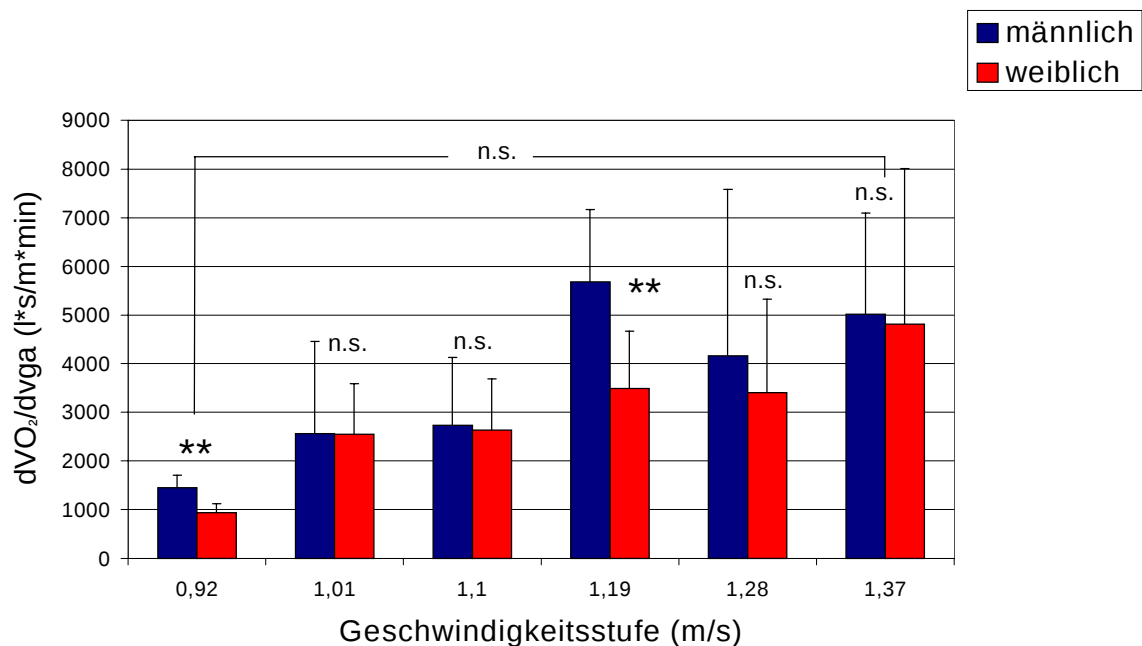


Abb. 55: Unterschied in der Ökonomie beim Schwimmen in ganzer Lage zwischen den männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen, sowie im Verlauf.

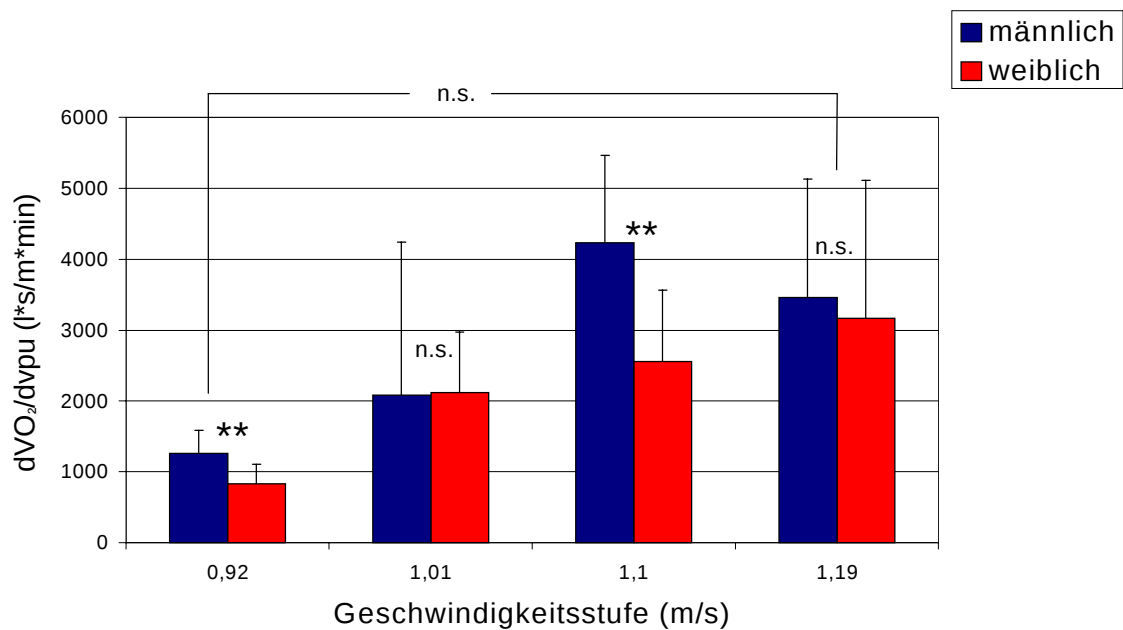


Abb. 56: Unterschied in der Ökonomie beim Schwimmen mit Pull-Buoy zwischen den männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen, sowie im Verlauf.

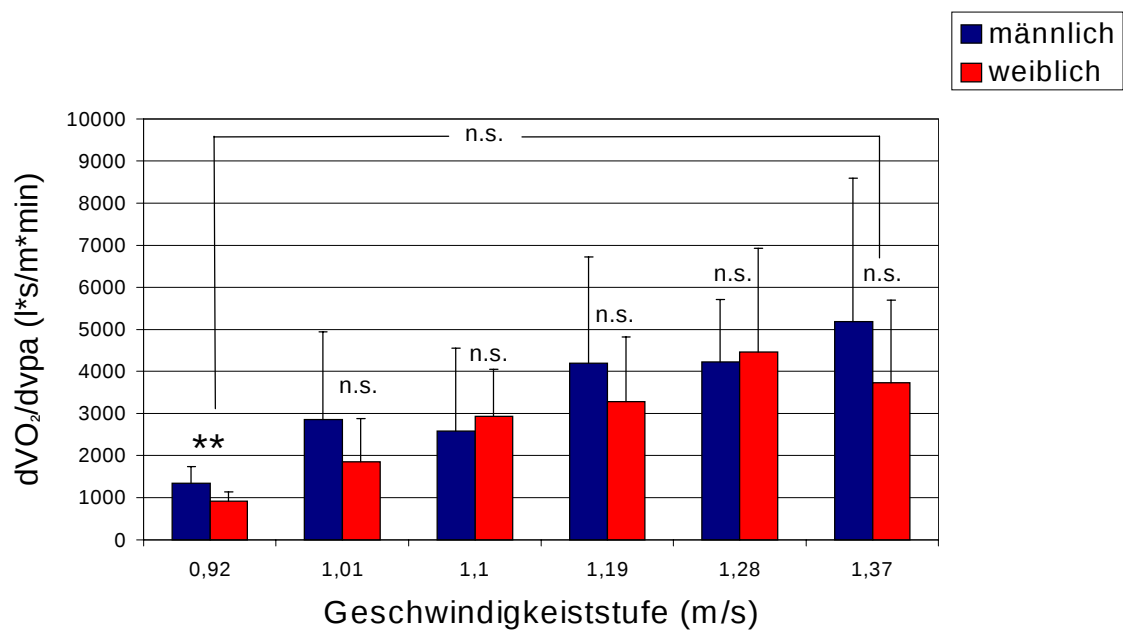


Abb. 57: Unterschied in der Ökonomie beim Schwimmen mit Paddles zwischen den männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen, sowie im Verlauf.

3.5. Laktatverhalten

Die Blutlaktatwerte bei Verwendung des Pull-Buoys liegen fast während des gesamten Versuchsablaufs signifikant ($p < 0,05$) bis hoch signifikant ($p < 0,001$) über denen der ganzen Lage oder denen beim Schwimmen mit Paddles. Die beiden letzteren Schwimmmethoden unterscheiden sich zu keinem Zeitpunkt signifikant ($p > 0,05$) voneinander (Abb. 58, Tab. 12).

Die Laktatkonzentrationen im Blut in Ruhe, sowie in der ersten und zweiten Nachbelastungsphase unterscheiden sich in keiner der drei Untersuchungen signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

Während der 1. bis 4. Geschwindigkeitsstufe liegen die Laktatkonzentrationen beim Schwimmen mit Pull-Buoy hoch signifikant ($p < 0,001$) (in der 1. Stufe gegenüber den Paddles signifikant ($p < 0,05$)) über den Ergebnissen der ganzen Lage oder denen der Paddles (Abb. 59 und 60).

Zwischen der ganzen Lage und den Paddles ist in keiner der Belastungsstufen ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festzustellen (Abb. 61). Die Meßwerte gibt die folgende Tabelle wieder (Tab. 12).

Hilfsmittel	ohne (ganze Lage)	Pull-Buoy	Paddles
Ruhe Laktatkonzentration (mmol/l)	$1,10 \pm 0,26$	$1,15 \pm 0,51$	$1,33 \pm 0,52$
0,92 m/s Laktatkonzentration (mmol/l)	$2,00 \pm 1,07$	$2,79 \pm 1,54$	$2,29 \pm 1,20$
1,01 m/s Laktatkonzentration (mmol/l)	$2,31 \pm 0,28$	$3,74 \pm 2,18$	$2,57 \pm 1,60$
1,10 m/s Laktatkonzentration (mmol/l)	$2,83 \pm 1,66$	$5,00 \pm 2,51$	$3,00 \pm 1,67$

Hilfsmittel	ohne (ganze Lage)	Pull-Buoy	Paddles
1,19 m/s Laktatkonzentration (mmol/l)	3,31 ± 1,50	6,44 ± 2,42	3,54 ± 1,54
1,28 m/s Laktatkonzentration (mmol/l)	4,34 ± 1,57	_____	4,67 ± 1,65
1,37 m/s Laktatkonzentration (mmol/l)	6,80 ± 2,01	_____	6,74 ± 2,34
4.Nachatmungs- minute Laktatkonzentration (mmol/l)	8,23 ± 1,97	7,76 ± 2,48	7,92 ± 2,39
7.Nachatmungs- minute Laktatkonzentration (mmol/l)	7,72 ± 2,02	7,15 ± 2,53	7,30 ± 2,48

Tab. 12: Laktatkonzentrationen auf den verschiedenen Belastungsstufen während der drei Testdurchgänge mit unterschiedlichen Hilfsmitteln (ganze Lage, Pull-Buoy, Paddles).

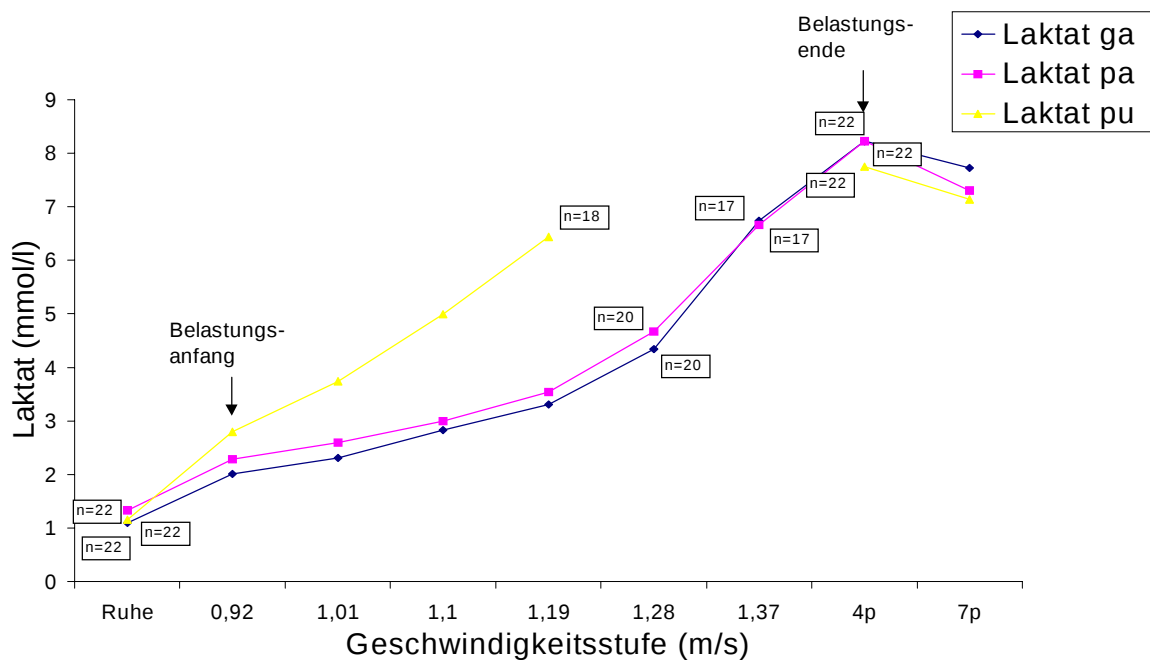


Abb. 58: Laktatkonzentrationen der drei Testdurchgänge mit Angabe der Probandenanzahl bezogen auf die einzelnen Belastungsstufen (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu).

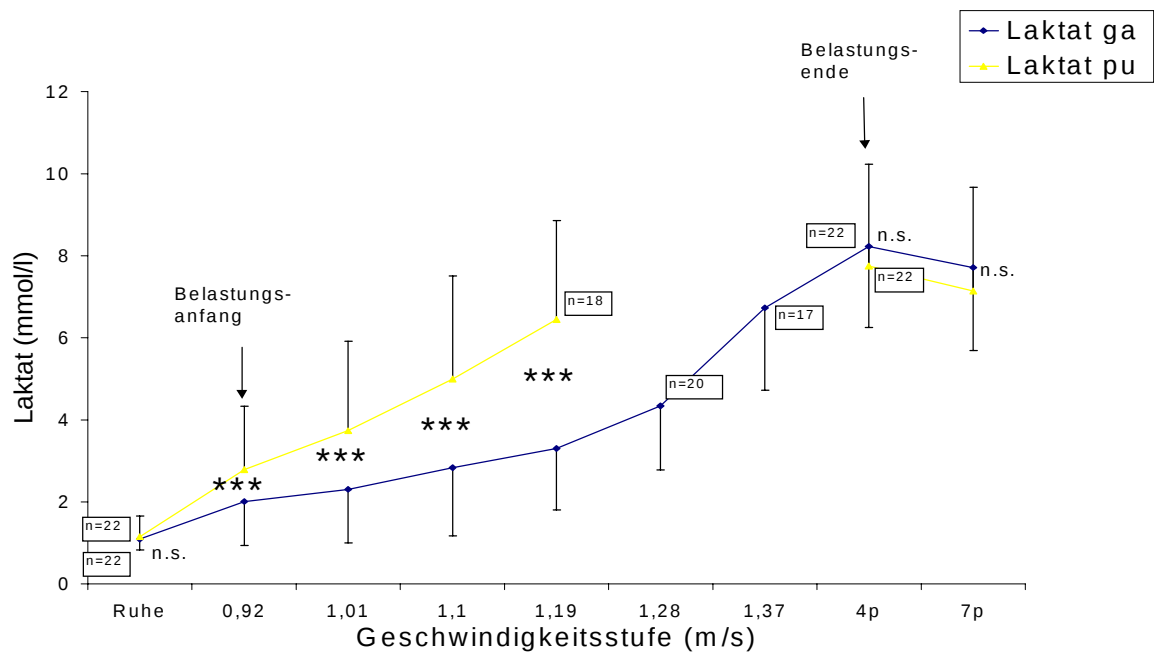


Abb. 59: Vergleich der Laktatkonzentrationen auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

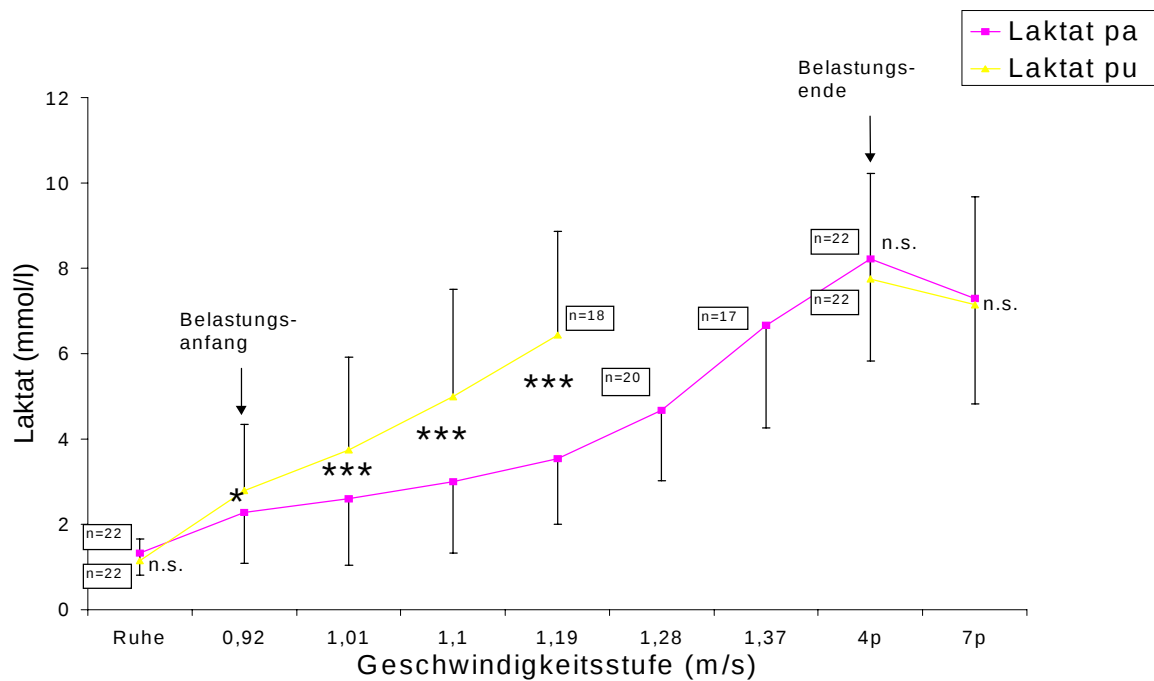


Abb. 60: Vergleich der Laktatkonzentrationen auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy.

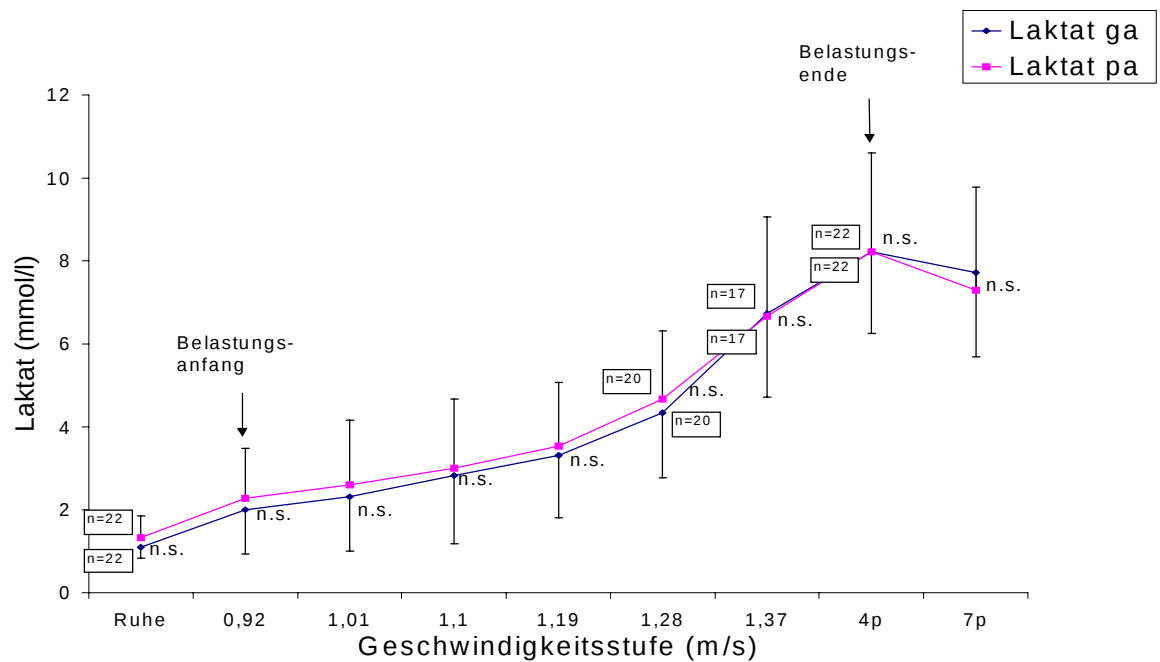


Abb. 61: Vergleich der Laktatkonzentrationen auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Paddles.

Vergleicht man die Laktatwerte auf der maximalen Belastungsstufe, bei der es zum Testabbruch kam (ganze Lage = Stufe 6 ($6,80 \pm 2,01$ mmol/l), Paddles = Stufe 6 ($6,74 \pm 2,34$ mmol/l), Pull-Buoy = Stufe 4 ($6,44 \pm 2,42$ mmol/l)), ist kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) in den Laktatkonzentrationen festzustellen (Abb. 62).

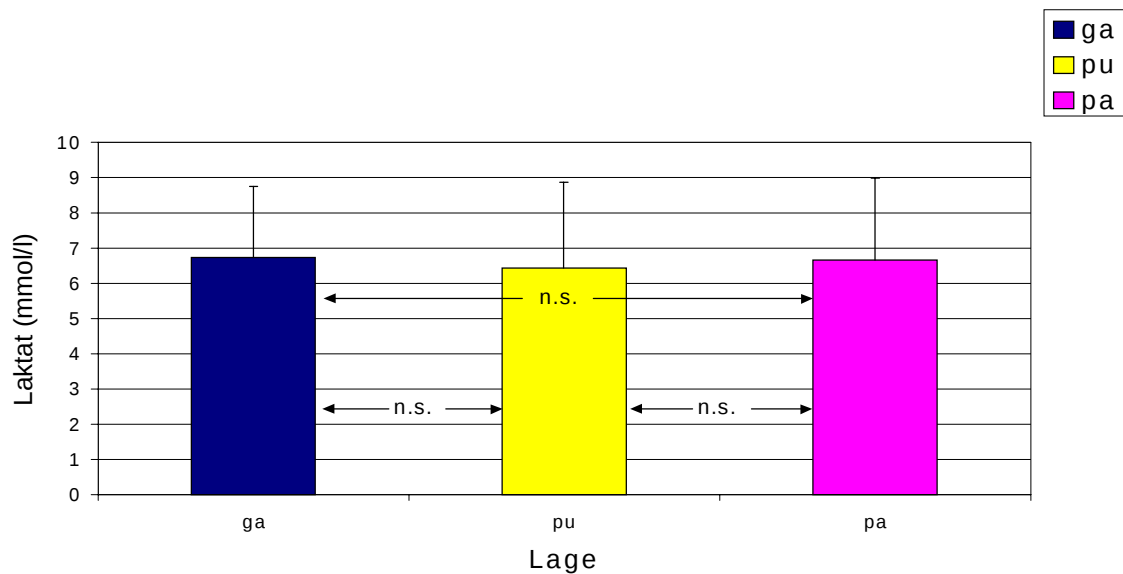


Abb. 62: Laktatkonzentrationen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung (ganze Lage = ga, Pull-Buoy = pu, Paddles = pa).

Die Meßergebnisse der gesamten Laktatproben der männlichen und weiblichen Probanden (Tab. 13) weichen auf den einzelnen Stufen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander ab (Abb. 63, 65) mit Ausnahme der 2. Nachbelastungsphase beim Schwimmen mit Pull-Buoy, bei der ein sehr signifikanter Unterschied ($p < 0,01$) zwischen den beiden Geschlechtern festzustellen ist (Abb. 64).

Der Verlauf der Laktatwerte über die Geschwindigkeitsstufen unterschied sich mit Pull-Buoy zwischen den beiden Geschlechtern signifikant ($p < 0,05$). Mit Paddles und in ganzer Lage fand sich hierbei keine signifikante Differenz ($p > 0,05$) (Abb 63-65).

Zeitpunkt	ganze Lage (m) Laktat (mmol/)	ganze Lage (w) Laktat (mmol/)	Pull-Buoy (m) Laktat (mmol/)	Pull-Buoy (w) Laktat (mmol/)	Paddles (m) Laktat (mmol/)	Paddles (w) Laktat (mmol/)
Ruhe	1,13 ± 0,26	1,03 ± 0,24	1,01 ± 0,60	1,05 ± 0,26	1,38 ± 0,60	1,25 ± 0,36
0,92 m/s	2,19 ± 1,21	1,70 ± 0,70	3,01 ± 1,72	2,40 ± 1,15	2,41 ± 1,39	2,07 ± 0,80
1,01 m/s	2,50 ± 1,43	1,98 ± 1,06	4,29 ± 2,40	2,78 ± 1,39	2,82 ± 1,80	2,20 ± 1,02
1,10 m/s	3,06 ± 1,86	2,43 ± 1,25	5,61 ± 2,71	3,92 ± 1,80	3,21 ± 1,84	2,64 ± 1,36
1,19 m/s	3,55 ± 1,71	2,93 ± 1,11	7,11 ± 2,69	5,38 ± 1,54	3,77 ± 1,70	3,17 ± 1,27
1,28 m/s	4,24 ± 1,62	4,47 ± 1,60	—	—	4,58 ± 1,74	4,79 ± 1,62
1,37 m/s	6,61 ± 1,92	7,00 ± 2,45	—	—	6,27 ± 2,17	7,25 ± 2,80

Zeitpunkt	ganze Lage (m) Laktat (mmol/)	ganze Lage (w) Laktat (mmol/)	Pull-Buoy (m) Laktat (mmol/)	Pull-Buoy (w) Laktat (mmol/)	Paddles (m) Laktat (mmol/)	Paddles (w) Laktat (mmol/)
4. Nachat- mungsmi- nute	8,22 ± 1,97	7,69 ± 1,22	7,76 ± 2,48	6,06 ± 1,41	8,22 ± 2,39	7,95 ± 2,23
7. Nachat- mungsmi- nute	7,72 ± 2,02	7,07 ± 1,18	7,15 ± 2,53	5,37 ± 1,51	7,30 ± 2,48	7,21 ± 2,19

Tab. 13: Laktatkonzentrationen der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Belastungsstufen mit den verschiedenen Hilfsmitteln.

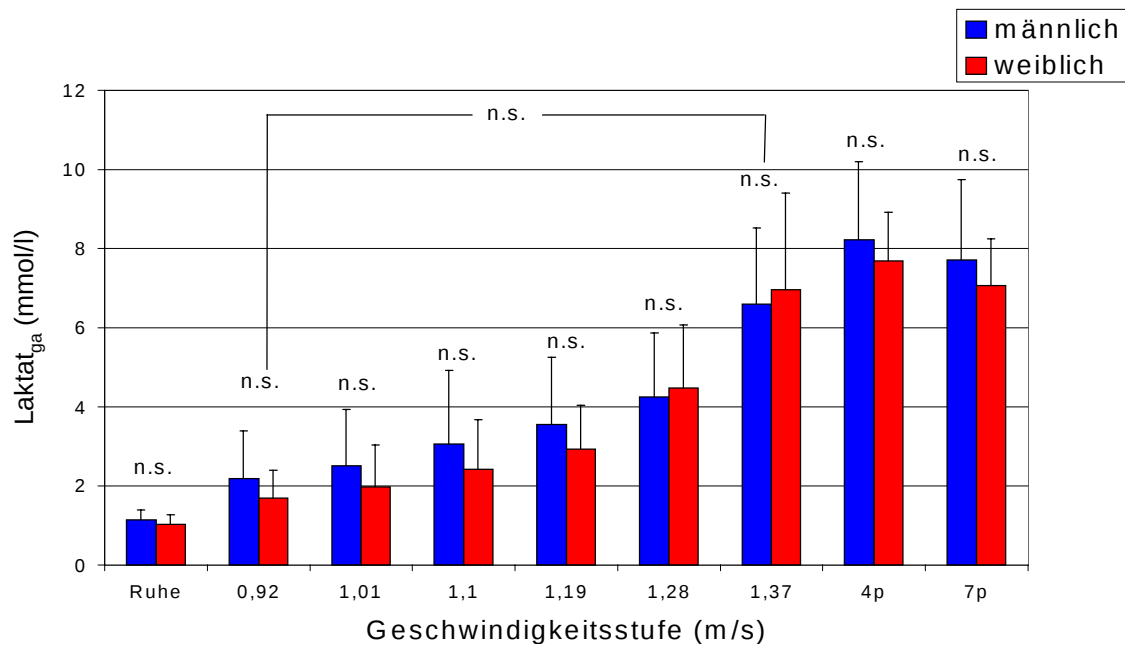


Abb. 63: Unterschied der Laktatkonzentration beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

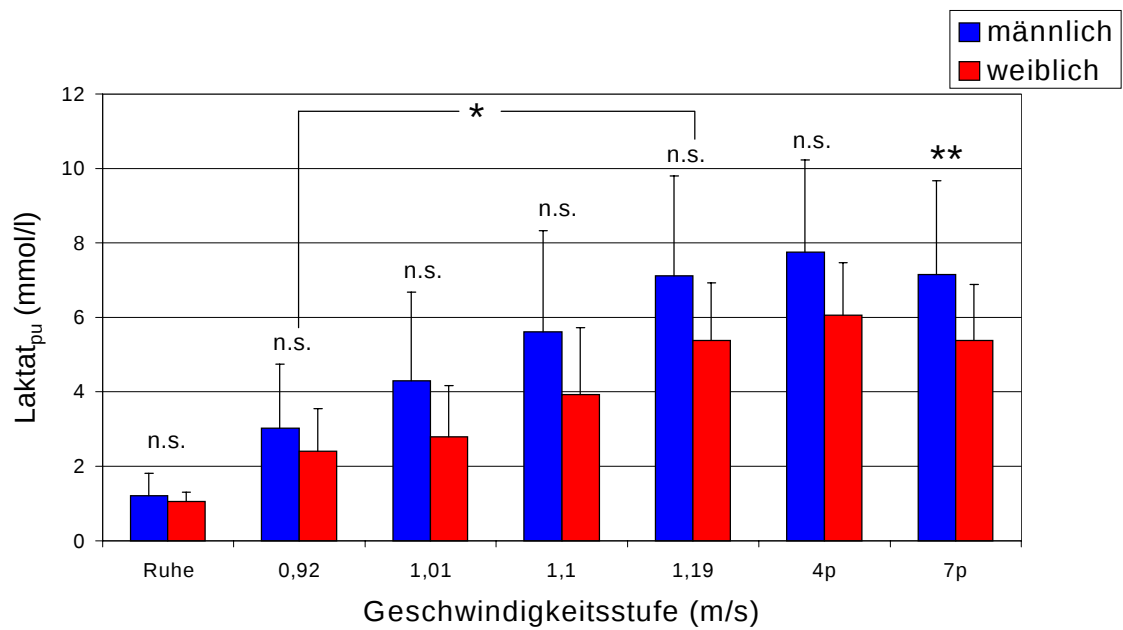


Abb. 64: Unterschied der Laktatkonzentration beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

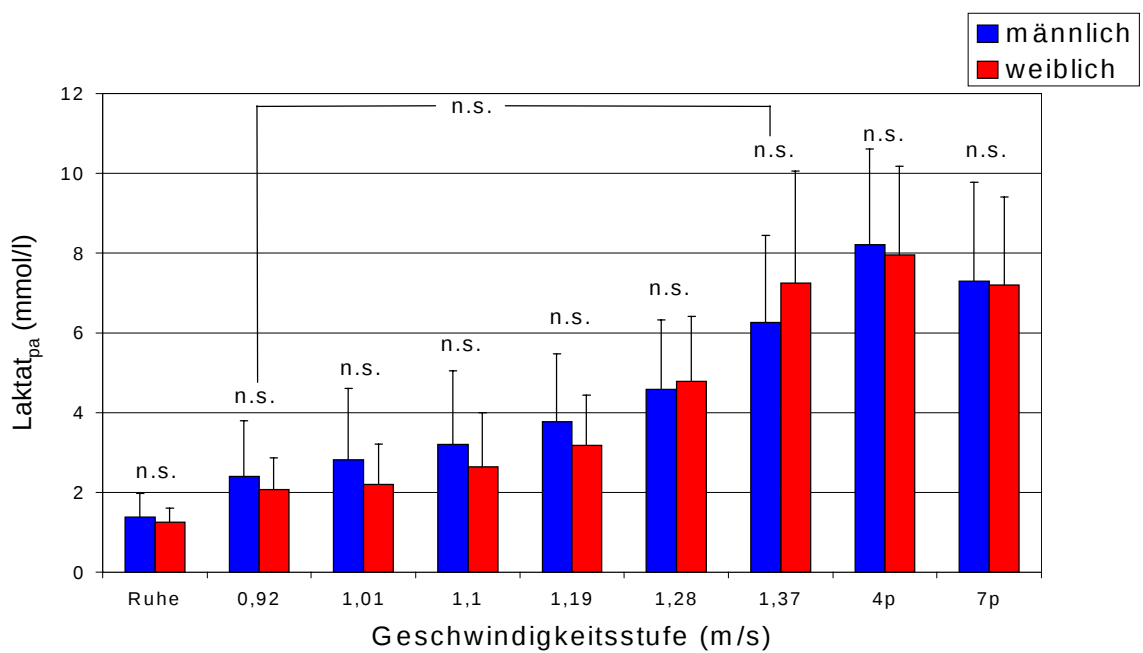


Abb. 65: Unterschied der Laktatkonzentration beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

Bei der Herzfrequenz lassen sich während der gesamten Geschwindigkeitsstufen keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen den drei Testabläufen finden (Tab. 14, Abb. 67) (Eine Ausnahme stellt die vierte Stufe zwischen dem Schwimmen mit Paddles ($151,56 \pm 16,89$ Schläge/min) und mit Pull-Buoy ($159,44 \pm 16,76$ Schläge/min) dar, bei denen ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) festgestellt werden kann (Abb. 69), jedoch besteht zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung, d.h. bei Abbruch des Testes, jeweils ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen dem Schwimmen mit Pull-Buoy ($159,44 \pm 16,76$ Schläge/min) im Vergleich zu der ganzen Lage ($177,69 \pm 13,43$ Schläge/min) und der Hilfe mit Paddles ($171,57 \pm 12,80$ Schläge/min) (Abb. 66).

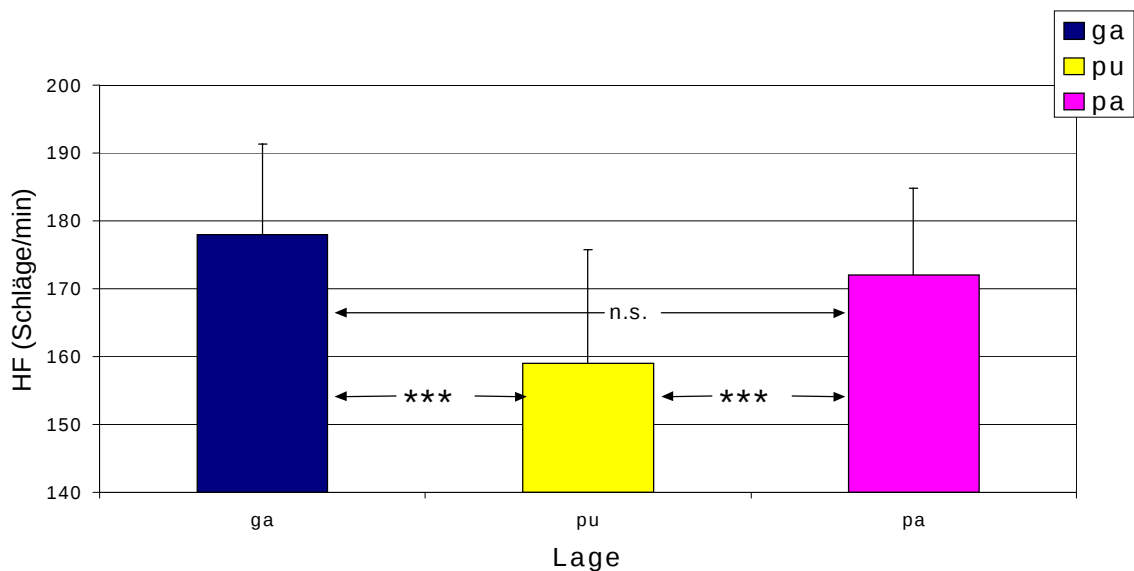


Abb. 66: Herzfrequenz der einzelnen Lagen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung (ganze Lage = ga, Pull-Buoy = pu, Paddles = pa).

Die folgende Tabelle gibt die einzelnen Meßwerte der Herzfrequenzen zu den verschiedenen Meßzeitpunkten wieder (Tab. 14).

Zeitpunkt	Ganze Lage (Schläge/min)	Paddles (Schläge/min)	Pull-Buoy (Schläge/min)
Ruhe-Phase	$87,91 \pm 15,03$	$92,64 \pm 17,59$	$88,36 \pm 14,72$
0,92 m/s	$120,86 \pm 16,35$	$117,36 \pm 18,06$	$114,23 \pm 15,43$

Zeitpunkt	Ganze Lage (Schläge/min)	Paddles (Schläge/min)	Pull-Buoy (Schläge/min)
1,01 m/s	131,55 ± 17,72	129,68 ± 18,56	127,68 ± 19,56
1,10 m/s	143,18 ± 18,95	141,00 ± 29,81	144,96 ± 21,56
1,19 m/s	155,33 ± 17,28	151,56 ± 16,89	159,44 ± 16,76
1,28 m/s	166,24 ± 13,28	163,94 ± 14,96	————
1,37 m/s	177,69 ± 13,43	171,57 ± 12,80	————
1. Nachbelastungs- phase	109,36 ± 10,93	110,24 ± 13,18	101,55 ± 15,99
2. Nachbelastungs- phase	103,09 ± 11,20	98,91 ± 13,42	93,41 ± 12,40

Abb. 14: Herzfrequenzdarstellung aller Probanden in den drei verschiedenen Testdurchgängen auf den einzelnen Belastungsstufen.

In der 1. Nachbelastungsphase lassen sich signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen dem Hilfsmittel Pull-Buoy ($101,55 \pm 15,99$ Schläge/min) und der ganzen Lage ($109,36 \pm 10,93$ Schläge/min) und den Paddles ($110,24 \pm 13,18$ Schläge/min), und in der 2. Nachbelastungsphase ein sehr signifikanter Unterschied ($p < 0,01$) zwischen dem Schwimmen mit Pull-Buoy ($93,41 \pm 12,40$ Schläge/min) und der ganzen Lage ($103,09 \pm 11,20$ Schläge/min) (Abb. 68) und ein tendenzieller Unterschied in Bezug auf die Paddles ($98,91 \pm 13,42$ Schläge/min) (Abb. 69) feststellen.

Zwischen der ganzen Lage und dem Hilfsmittel Paddles besteht zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) (Abb. 70).

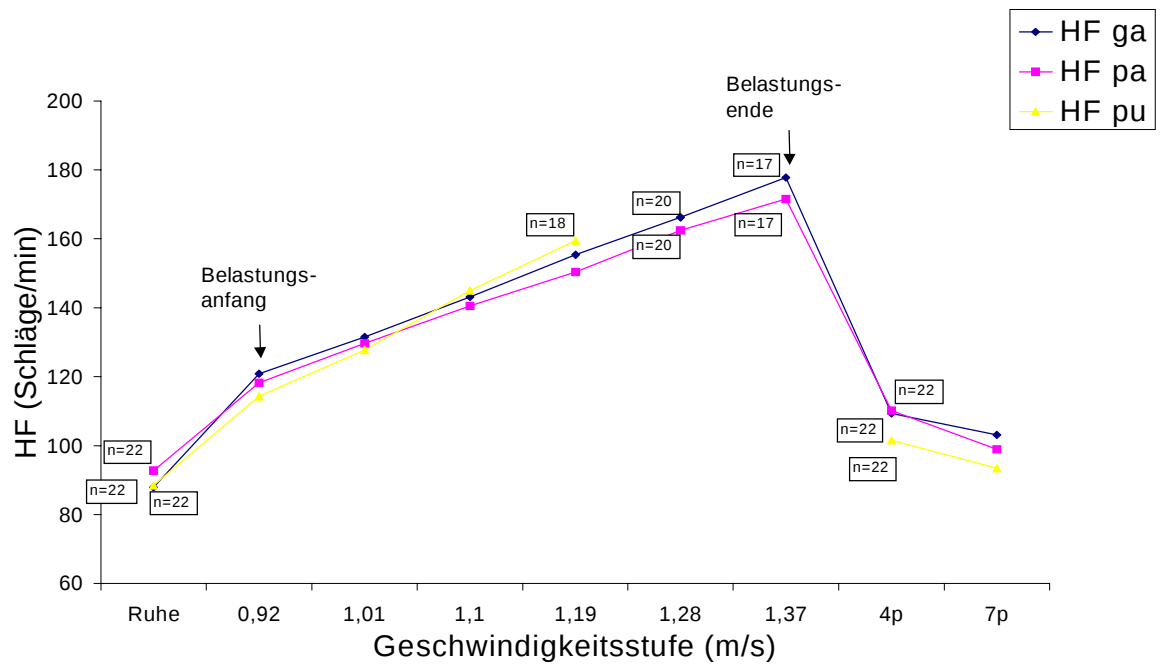


Abb. 67: Herzfrequenzen der drei Testdurchgänge mit Angabe der Probandenanzahl bezogen auf die einzelnen Belastungsstufen (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu).

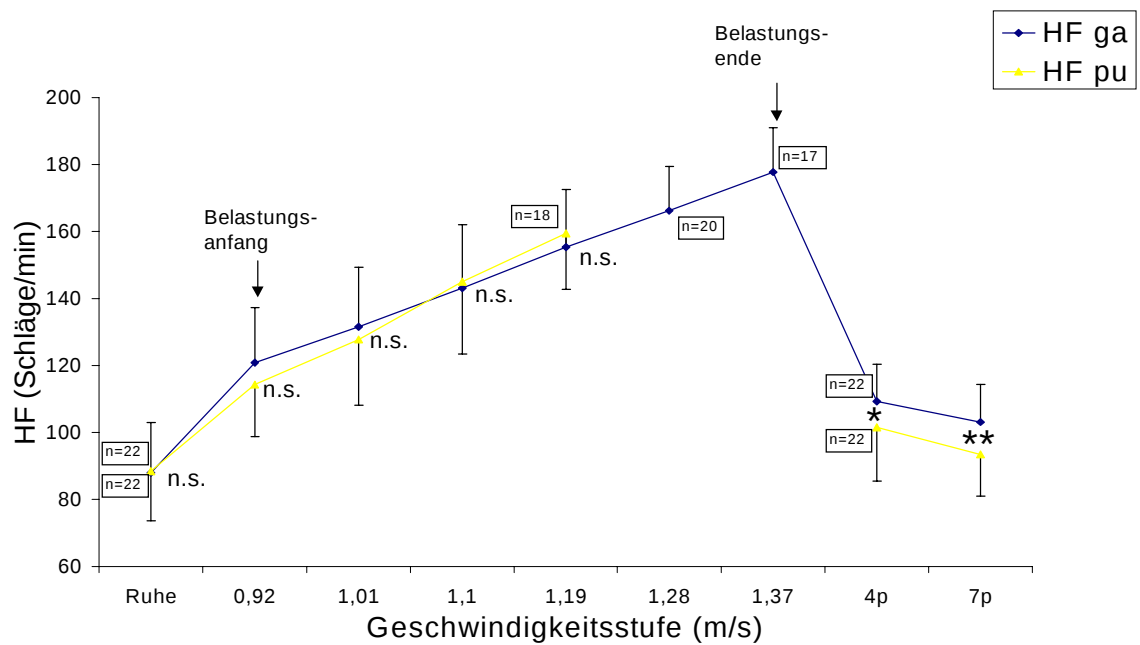


Abb. 68: Vergleich der Herzfrequenzen auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

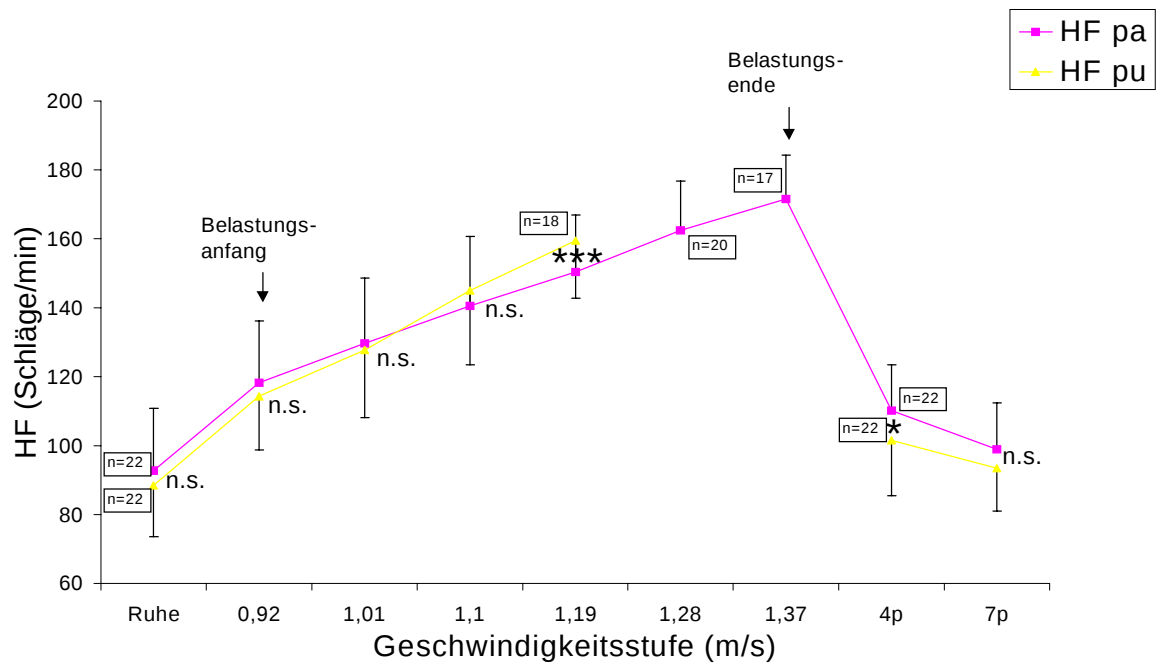


Abb. 69: Vergleich der Herzfrequenzen auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy.

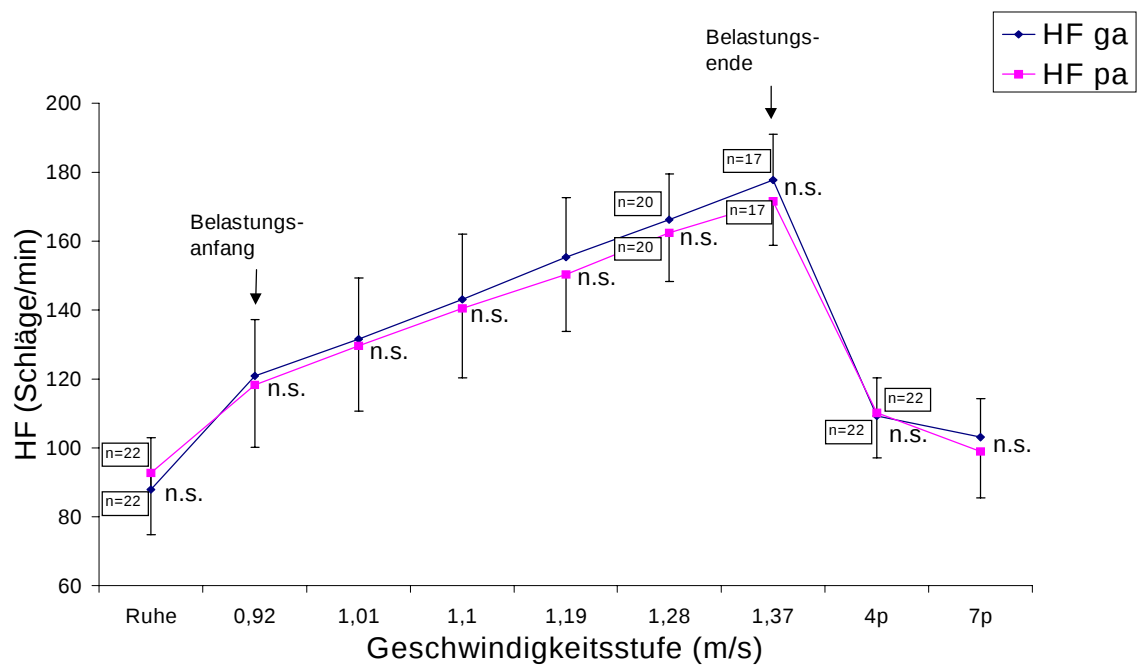


Abb. 70: Vergleich der Herzfrequenzen auf den einzelnen Belastungsstufen zwischen ganzer Lage und Paddles.

Zwischen den männlichen und weiblichen Probanden konnte beim Vergleich der Herzfrequenzen kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) nachgewiesen werden (Tab. 15, Abb. 71 – 73). Der Verlauf der Herzfrequenzen über die Geschwindigkeitsstufen war zwischen den beiden Geschlechtern in den drei Testdurchgängen nicht signifikant ($p > 0,05$).

Zeitpunkt	ganze Lage (m) HF(Schläge/ min)	ganze Lage (m) HF(Schläge/ min)	Pull-Buoy (m) HF(Schläge/ min)	Pull-Buoy (w) HF(Schläge/ min)	Paddles (m) HF(Schläge/ min)	Paddles (w) HF(Schläge/ min)
Ruhe	87,14 ± 15,40	89,25 ± 15,30	87,79 ± 16,66	89,38 ± 11,53	96,07 ± 18,37	86,14 ± 16,57
0,92 m/s	119,86 ± 19,38	122,63 ± 9,93	112,64 ± 16,24	117,00 ± 14,51	116,79 ± 18,83	121,00 ± 17,51
1,01 m/s	130,36 ± 19,64	133,63 ± 14,74	125,71 ± 18,91	131,13 ± 21,50	127,57 ± 20,69	133,71 ± 15,76
1,10 m/s	140,71 ± 19,64	147,50 ± 18,08	142,71 ± 20,61	148,88 ± 24,01	137,21 ± 21,05	147,29 ± 17,90
1,19 m/s	153,36 ± 18,33	158,43 ± 116,36	157,36 ± 17,84	162,71 ± 15,66	147,82 ± 17,31	155,00 ± 15,57
1,28 m/s	161,60 ± 12,69	172,86 ± 11,90	—	—	156,60 ± 12,09	174,20 ± 11,03
1,37 m/s	173,90 ± 14,26	184,00 ± 9,94	—	—	166,22 ± 10,47	181,20 ± 11,52
4. Nachat- mungsmi- nute	109,36 ± 10,93	109,25 ± 13,69	101,55 ± 15,99	95,88 ± 18,98	110,24 ± 13,18	116,57 ± 18,16
7. Nachat- mungsmi- nute	103,09 ± 11,19	101,88 ± 15,70	93,41 ± 12,40	92,25 ± 12,56	98,90 ± 13,42	99,43 ± 20,89

Tab. 15: Herzfrequenzen (HF) (Schläge/min) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Belastungsstufen mit den verschiedenen Hilfsmitteln.

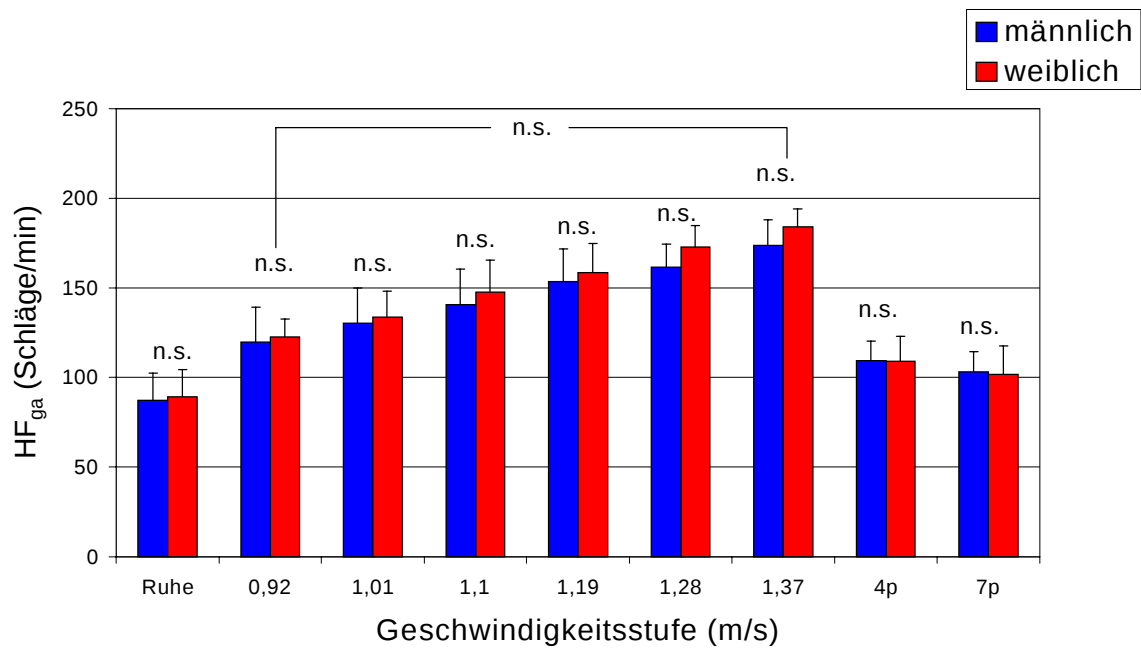


Abb. 71: Unterschied der Herzfrequenz beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

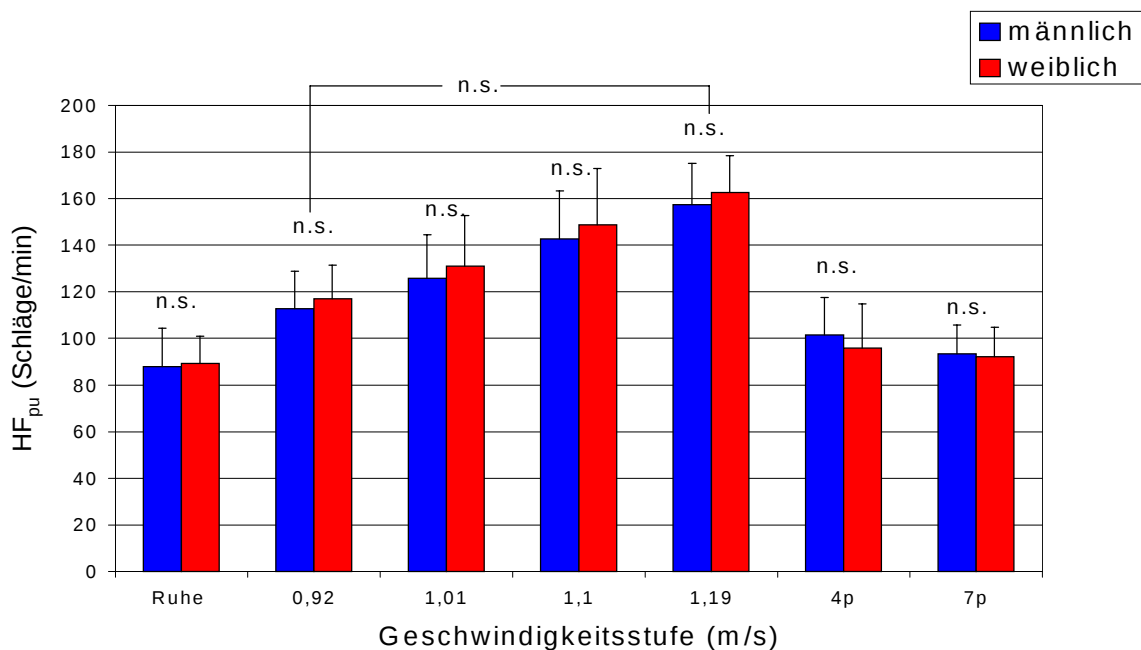


Abb. 72: Unterschied der Herzfrequenz beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

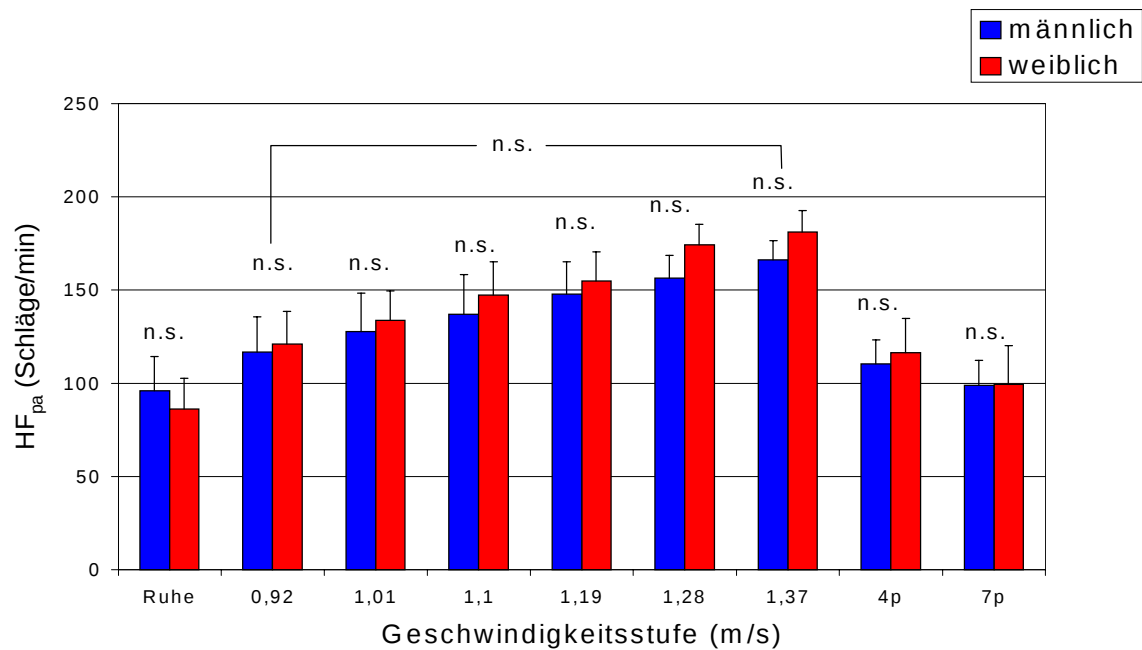


Abb. 73: Unterschied der Herzfrequenz beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie im Verlauf der Geschwindigkeitsstufen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

3.7. Armzugfrequenz

Die Armzugfrequenz beim Schwimmen mit Pull-Buoy liegt in allen Geschwindigkeitsstufen hoch signifikant ($p < 0,001$) über der in ganzer Lage und über der mit Paddles, während die Frequenz in der ganzen Lage ebenfalls gegenüber den Paddles stets hoch signifikant ($p < 0,001$) erhöht ist (Tab. 16), (Abb. 74 – 77)

Zeitpunkt	Pull-Buoy (Züge/min)	Ganze Lage (Züge/min)	Paddles (Züge/min)
0,92 m/s	29,64 ± 2,70	27,91 ± 3,02	25,55 ± 3,00
1,01 m/s	31,86 ± 2,78	29,82 ± 2,67	27,32 ± 3,18
1,10 m/s	34,91 ± 3,25	31,46 ± 2,96	28,91 ± 2,84
1,19 m/s	37,78 ± 3,34	33,78 ± 3,19	30,94 ± 2,92
1,28 m/s	_____	35,47 ± 3,28	32,77 ± 2,91
1,37 m/s	_____	37,65 ± 3,26	34,69 ± 3,22

Tab. 16: Darstellung der Armzugfrequenz aller Probanden auf den verschiedenen Geschwindigkeitsstufen mit Hilfe der drei Hilfsmittel (Pull-Buoy, ganze Lage, Paddles).

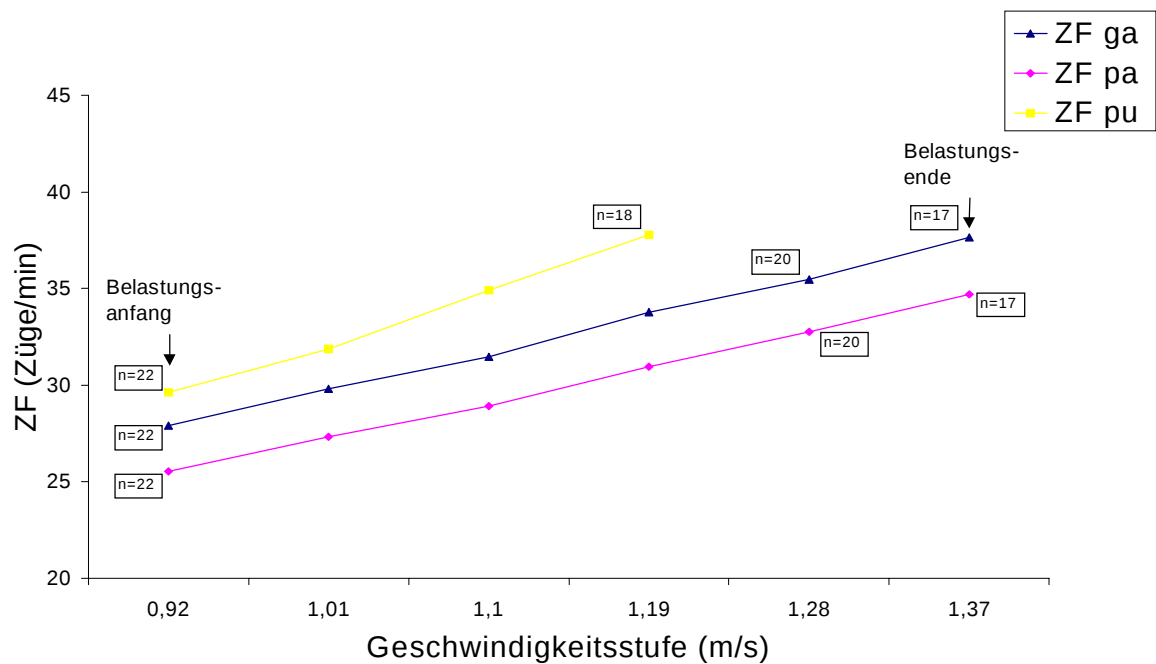


Abb. 74: Armzugfrequenzen in den drei Testdurchgängen mit Angabe der Probandenanzahl bezogen auf die einzelnen Geschwindigkeitsstufen (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu).

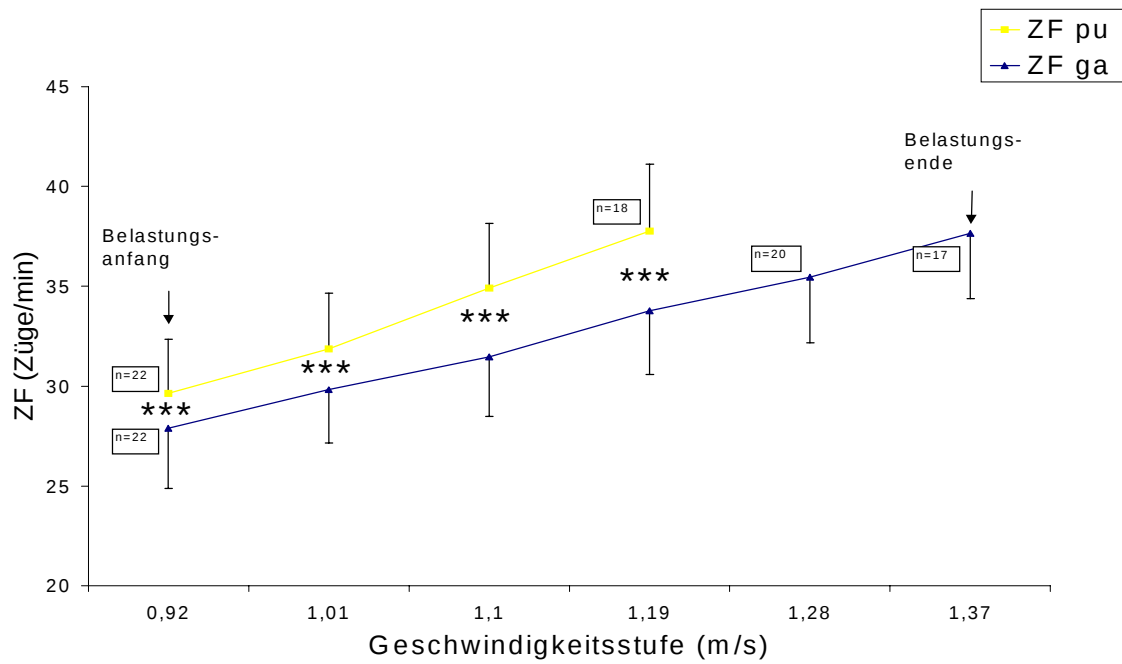


Abb. 75: Vergleich der Armzugfrequenzen auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen zwischen ganzer Lage und Pull-Buoy.

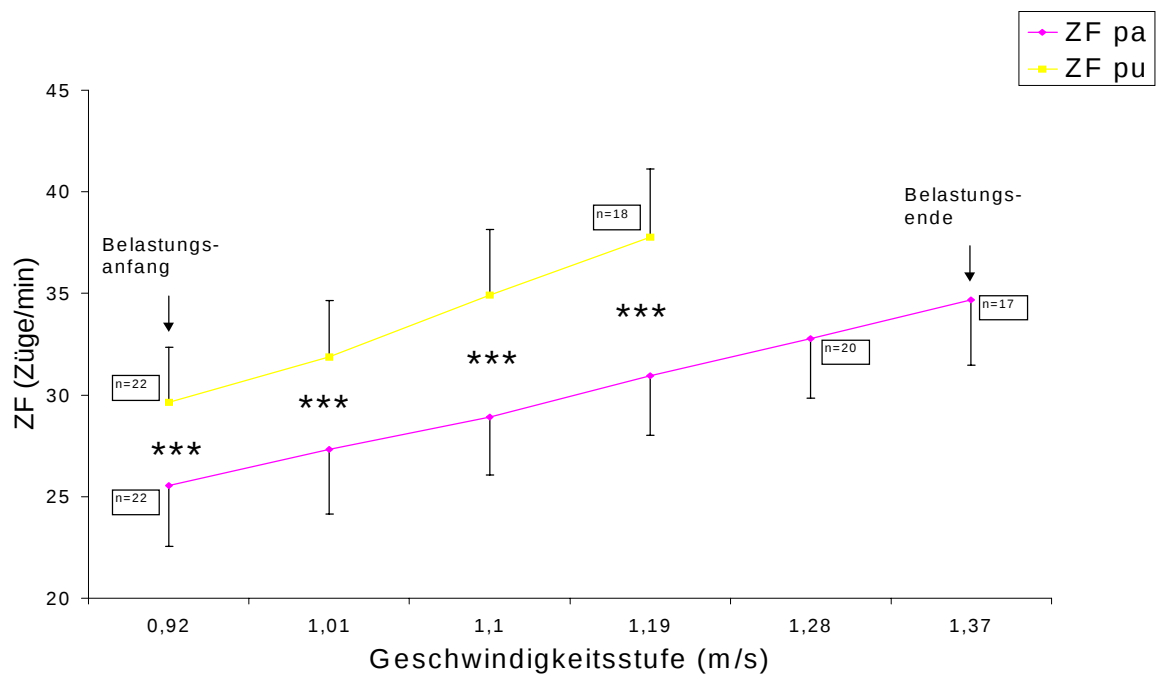


Abb. 76: Vergleich der Armzugfrequenzen auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen zwischen Paddles und Pull-Buoy.

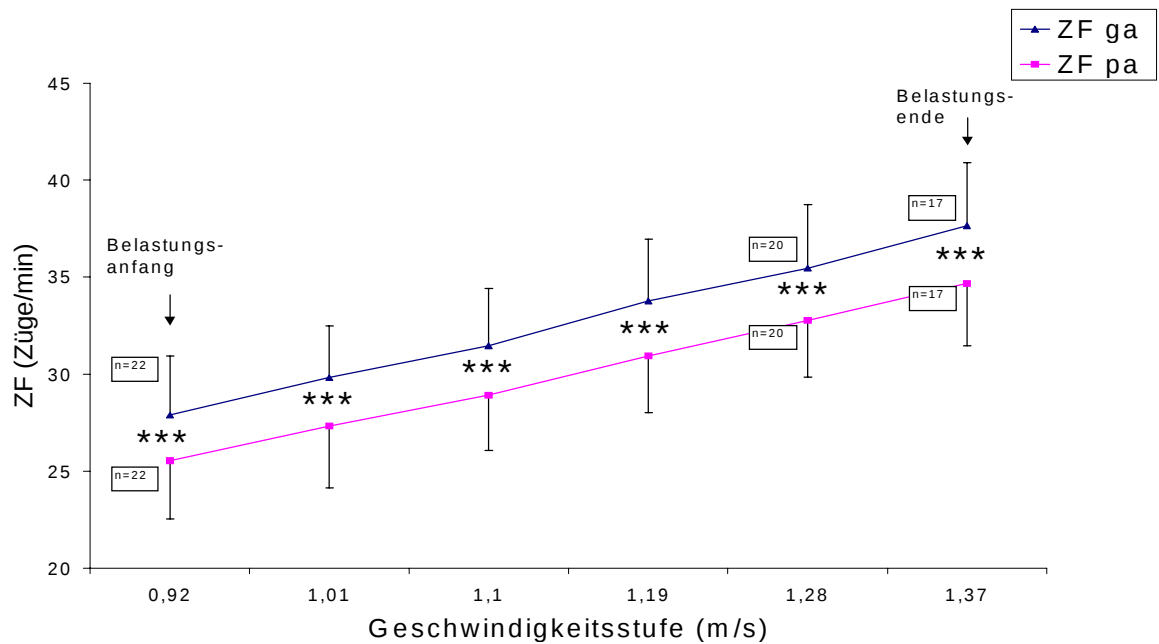


Abb. 77: Vergleich der Armzugfrequenzen auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen zwischen ganzer Lage und Paddles.

Zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung liegt die Armzugfrequenz beim Schwimmen mit Paddles signifikant ($p < 0,05$) unter dem Wert, der in der ganzen Lage oder mit Hilfe des Pull-Buoys gemessen wurde. Zwischen den beiden zuletzt genannten Schwimmmethoden besteht diesbezüglich kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$), wobei hier die Armzugfrequenz mit dem Pull-Buoy tendenziell über dem Ergebnis beim Schwimmen ohne Hilfsmittel liegt (Abb. 78).

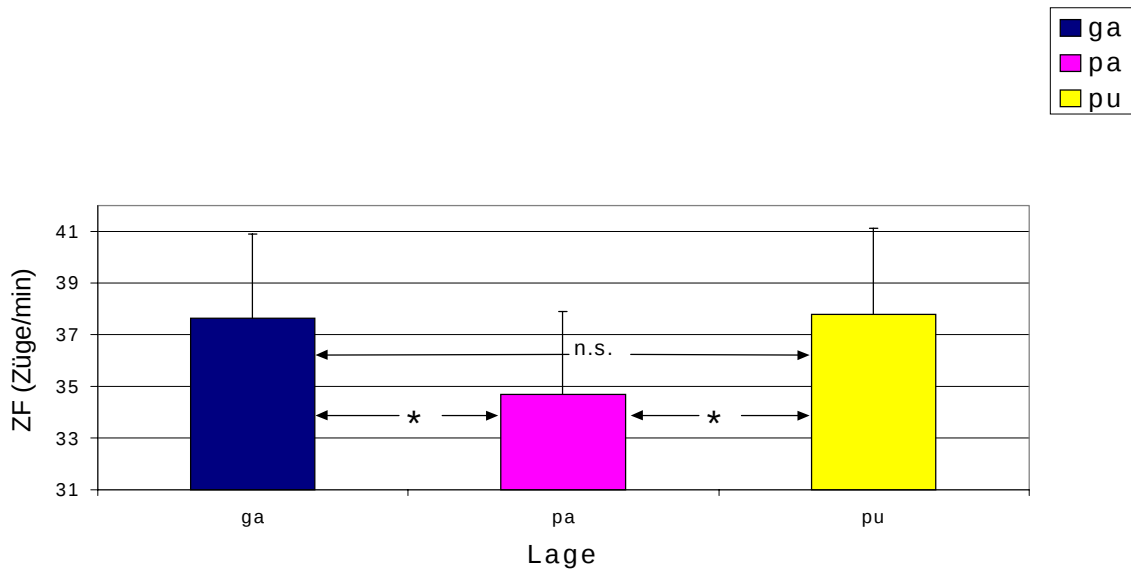


Abb. 78: Armzugfrequenzen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung in den drei Testdurchgängen (ganze Lage = ga, Pull-Buoy = pu, Paddles = pa).

Zwischen den männlichen und weiblichen Probanden lässt sich bezüglich der Armzugfrequenz kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) feststellen (Tab. 17, Abb. 79 – Abb. 81). Der Verlauf der Zugfrequenzen über die Geschwindigkeitsstufen unterschied sich mit Pull-Buoy zwischen den beiden Geschlechtern sehr signifikant ($p < 0,01$). Mit Paddles und in ganzer Lage gab es zwischen den beiden Geschlechtern im Verlauf keine signifikante Differenz ($p > 0,05$).

Zeitpunkt	ganze Lage (m) ZF (Züge/min)	ganze Lage (w) ZF (Züge/min)	Pull-Buoy (m) ZF (Züge/min)	Pull-Buoy (w) ZF (Züge/min)	Paddles (m) ZF (Züge/min)	Paddles (w) ZF (Züge/min)
0,92 m/s	27,93 ± 3,32	27,88 ± 2,64	30,00 ± 2,39	29,00 ± 3,25	25,29 ± 2,97	26,00 ± 3,21
1,01 m/s	29,79 ± 2,42	29,88 ± 3,23	32,43 ± 2,50	30,88 ± 3,14	27,29 ± 3,43	27,38 ± 2,92
1,10 m/s	31,14 ± 2,57	32,00 ± 3,66	35,43 ± 3,27	34,00 ± 3,20	28,93 ± 2,79	28,88 ± 3,14
1,19 m/s	33,45 ± 2,38	34,29 ± 4,35	37,27 ± 2,90	38,57 ± 4,04	31,00 ± 2,65	30,86 ± 3,53
1,28 m/s	35,13 ± 2,49	36,14 ± 4,30	—	—	32,30 ± 2,41	33,43 ± 3,60
1,37 m/s	37,00 ± 2,87	38,83 ± 4,07	—	—	33,50 ± 2,95	36,67 ± 2,80

Tab. 17: Zugfrequenzen (ZF) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen mit den verschiedenen Hilfsmitteln.

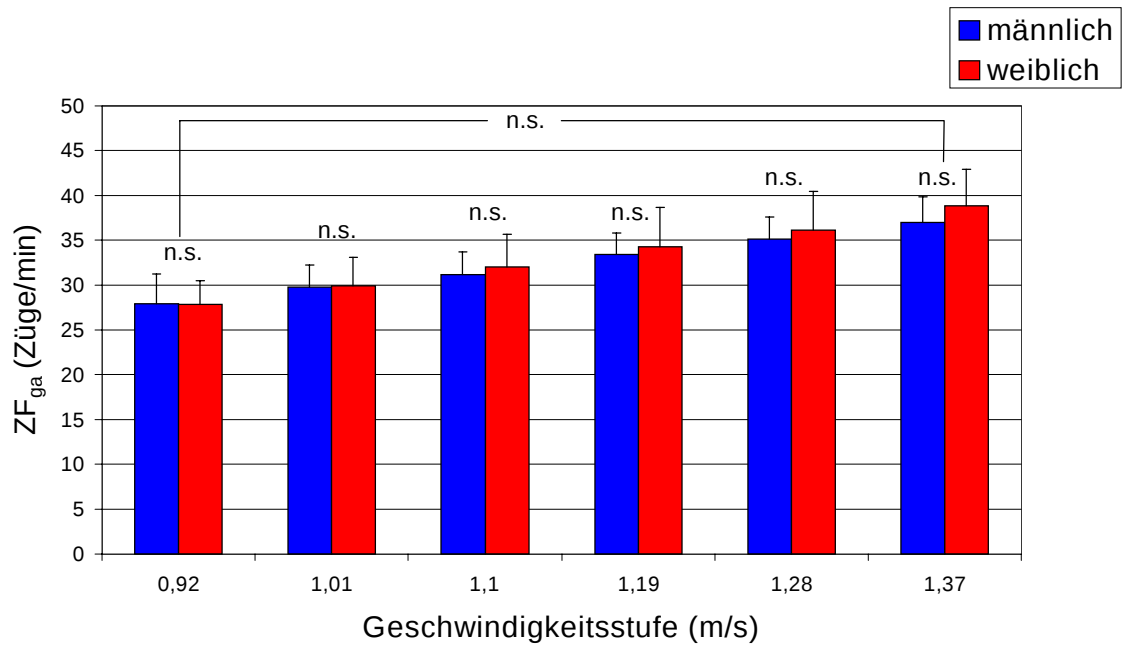


Abb. 79: Unterschied der Zugfrequenz (ZF) beim Schwimmen in ganzer Lage auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen, sowie im Verlauf zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

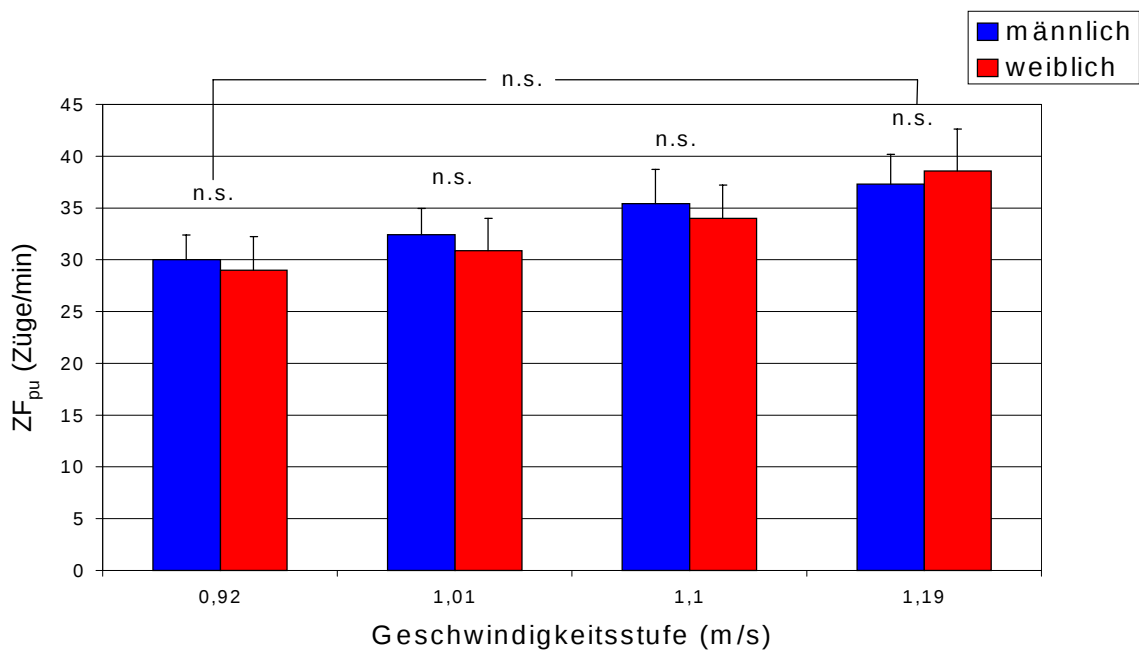


Abb. 80: Unterschied der Zugfrequenz (ZF) beim Schwimmen mit Pull-Buoy auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen, sowie im Verlauf zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

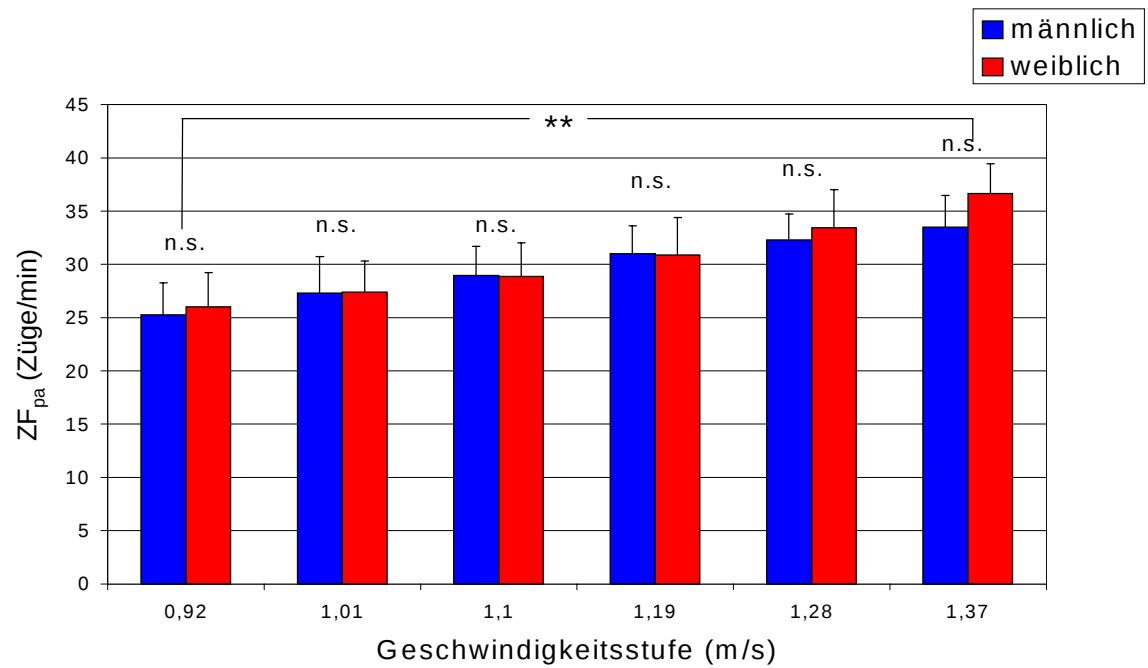


Abb. 81: Unterschied der Zugfrequenz (ZF) beim Schwimmen mit Paddles auf den einzelnen Geschwindigkeitsstufen, sowie im Verlauf zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

4. Diskussion

4.1. Übersicht, theoretische Vorbemerkungen

Bei den vorliegenden Ergebnissen wurden die drei Testarten (ganze Lage = ga, Paddles = pa, Pull-Buoy = pu) im Hinblick auf ihren submaximalen Energieverbrauch, sowie auf der Basis ihres maximalen Energiestoffwechsels beschrieben.

Diese Diskussionsform wurde gewählt, da die maximalen Sauerstoffaufnahmewerte, die maximalen Laktatwerte und die maximale Herzfrequenz in erster Linie von den Möglichkeiten des gesamten Organismus abhängen, wobei einzelne Faktoren, wie u.a. die muskuläre Masse, der Blutfluß (Herzminutenvolumen), die Lungenkapazität oder das Ausmaß oxidativer Enzyme in der arbeitenden Muskulatur eine große Rolle spielen (68,69,78,98). Während die maximale Sauerstoffaufnahme als Bruttokriterium der maximalen aeroben Kapazität gesehen werden kann (66), können die Meßwerte bei submaximalen Geschwindigkeiten eher als eine indirekte Methode zur Bestimmung der Effizienz, mit der der Körper durch das Wasser bewegt wird, gedeutet werden (67).

Für die folgende Diskussion ist unter anderem die grundsätzliche physiologische Tatsache entscheidend, daß der Energieverbrauch (VO_2) beim Schwimmen theoretisch in zwei Komponenten unterteilt werden kann. Die eine Komponente beinhaltet die Energie, die benötigt wird, um den Körper im Wasser treiben zu lassen (W_f). Die andere Komponente spiegelt den Energieverbrauch wider, der für den Vortrieb genutzt wird (W_p) (59). Letzterer kann noch einmal in die Kraft aufgeteilt werden, die zum einen zum Überwinden des Widerstandes aufgebracht werden muß (W_d), der durch den Körper im Wasser erzeugt wird, und zum anderen, um das Wasser in eine Rückwärtsbewegung zu versetzen (W_k) (155,157,162).

Es wurde festgestellt, daß der aktive Widerstand W_d folgendermaßen im Verhältnis zum Quadrat der Schwimmgeschwindigkeit (v in m/s) steht: $W_d = A \cdot v^2$. Dabei stellt A eine Proportionalitätskonstante dar, die beim Kraulschwimmen für Frauen +24 und für Männer +30 beträgt (77,158). Diese niedrigere Proportionalitätskonstante und damit das kleinere

W_d für Frauen wird mit einer geringeren „body cross-sectional area“ erklärt, die für den Widerstand im Wasser mitverantwortlich ist (74,158).

Aus den aufgeführten Faktoren lässt sich somit folgende Gleichung aufstellen, die die Antriebseffizienz (e_p) eines Schwimmers beschreibt (162): $e_p = W_d / (W_d + W_k)$.

Ein weiterer entscheidender Parameter, der die Synopse zwischen Wasserwiderstand, Schwimmgeschwindigkeit, Sauerstoffverbrauch, sowie Auftrieb und Wasserlage charakterisiert (42,103,120), stellt die Ökonomie dar. Die Ökonomie im Schwimmen ist definitionsgemäß der Energieverbrauch bei Belastung minus den Grundenergieverbrauch bezogen auf eine gegebene Geschwindigkeit (43,120). Dieses Verhältnis hängt im wesentlichen von den individuellen technischen Fähigkeiten ab (67,103,120,161). Dabei ist die Technik als Fähigkeit definiert, möglichst wenig Widerstand zu erzeugen und damit einen großen Teil der aufgewendeten Energie in den Vortrieb umzusetzen, was mit einer hohen Antriebseffizienz korreliert (161). Somit wird der Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit, die neben den physiologischen Voraussetzungen (gekennzeichnet durch VO_{2max}) durch die beiden Parameter Wasserwiderstand (W_d) und Antriebseffizienz (e_p) gekennzeichnet ist, durch folgende von di Prampero et al. (42) aufgestellten mathematischen Gleichung dargestellt: $v = VO_2 (net) * e_p / W_d$. Die Geschwindigkeit (v) ist also von der Sauerstoffaufnahmekapazität, die über den Grundbedarf hinausgeht, sowie den beiden Parametern Antriebseffizienz und Wasserwiderstand abhängig. In gleicher Weise ist die Änderung der Geschwindigkeit von einer Geschwindigkeitsstufe zur anderen (dv) abhängig von der Änderung des Sauerstoffverbrauchs von einer Geschwindigkeitsstufe zur anderen (dVO_2).

Dabei ist der Kehrwert von e_p / W_d gleichbedeutend mit $VO_2 (net) / v$ und gibt den Energieverbrauch für das Schwimmen einer vorgegebenen Strecke wider (43).

Somit kann durch die Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs bzw. der Änderung des Sauerstoffverbrauchs von einer Geschwindigkeitsstufe zur anderen (dVO_2) eine Aussage über die Ökonomie nach dem oben formulierten mathematischen Zusammenhang $W_d / e_p = dVO_2 / dv$ getroffen werden. Allerdings hat der lineare Zusammenhang zwischen $W_d / e_p = dVO_2 / dv$ nur im aeroben Intensitätsbereich Gültigkeit (43,125).

4.2. Submaximale Geschwindigkeiten

4.2.1. Respiratorische Parameter

In der vorliegenden Studie wurde bei submaximalen Kanalgeschwindigkeiten ein tendenziell niedrigerer Sauerstoffverbrauch (VO_2) bei Anwendung von Paddles (pa) (93%–98%) gegenüber der ganzen Lage (ga) (100%) festgestellt, was mit den Ergebnissen aus vergleichbaren früheren Studien übereinstimmt. Diese haben gezeigt, daß VO_2 bei einer gegebenen submaximalen Geschwindigkeit bei pa signifikant niedriger (6%–6,7%) war als bei der alleinigen Benutzung der Arme, wobei die Beine durch Benutzung eines Pull-Buoys nicht beansprucht wurden (114,162). Das niedrigere VO_2 bei pa wird unter Berücksichtigung der kleineren Zugfrequenz der geringeren Kraft zugeschrieben, die mit Hilfe der Paddles benötigt wird, um das Wasser nach hinten zu verdrängen (W_k), da eine größere Abdruckfläche zur Verfügung steht (162,163).

Somit finden die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung in der Literatur Bestätigung, da der Unterschied im Versuchsaufbau zwischen den beiden Testarten (pa vs. ga) nur in der vergrößerten Abdruckfläche der Arme beim Schwimmen mit Paddles liegt. Die Beinarbeit, die allgemein nur 15%–30% der Gesamtleistung ausmacht (78,146), spielt eine nur untergeordnete Rolle.

Zusätzlich lagen die Atemminutenvolumina (VE) beim Schwimmen mit Paddles auf gleichen Belastungsstufen um 2%–7% niedriger als beim Schwimmen in ganzer Lage. Dies stimmt ebenfalls mit Ogita et al. überein, der mit 8% sehr signifikant niedrigere ($p < 0,01$) Ergebnisse für Paddles gegenüber der alleinigen Benutzung der Arme fand. Sein Versuchsablauf unterschied sich allerdings etwas von der vorliegenden Studie, da er seine Probanden zweimal nur mit den Armen (ohne Beine) schwimmen ließ, wobei er das eine Mal Paddles zur Unterstützung benutzte (114).

Da die einzelnen Differenzen der gemessenen VO_2 -Werte zwischen pa und ga größer sind als die Differenzen der VE-Werte, läßt sich ein kleineres Atemäquivalent (VE/VO_2) bei pa vs. ga auf submaximalen Geschwindigkeitsstufen feststellen. (Diesem Ergebnis wurde allerdings bei dieser Arbeit nicht weiter nachgegangen.) Dies spricht ebenfalls für eine

bessere Ökonomie und Antriebseffizienz beim Schwimmen mit Paddles gegenüber der ganzen Lage (161,162).

Da außerdem beim Schwimmen gegen den hydrostatischen Wasserdruck ausgeatmet wird, kann man davon ausgehen, daß bei steigendem VE durch die vermehrte Leistung der Atemmuskulatur bereits ein Anstieg von VO_2 verursacht wird (114). Deswegen kann festgestellt werden, daß die gemessenen niedrigeren VE–Werte bei pa bei submaximalen Strömungsgeschwindigkeiten zwar auch einen kleinen Beitrag zu den niedrigeren VO_2 –Werten geliefert haben, sie aber dennoch nicht für das Ergebnis der VO_2 –Werte hauptverantwortlich sind.

Im Gegensatz hierzu sind bei pu die VO_2 –Werte bei definierten Geschwindigkeiten tendenziell am niedrigsten (90%–96%).

Es ist bekannt, daß ein Anstieg der an der Leistung beteiligten Muskelmasse zu einem VO_2 –Anstieg führt (37,38,67,68,83,89,113,147). So läßt sich das niedrigere VO_2 dadurch erklären, daß bei pu eine kleinere Muskelmasse im Einsatz war, da bei pa und ga auch die Beinmuskulatur betätigt wurde.

Dieses Ergebnis wird durch die Studie von Stenberg et al. (150), der mit 84%–94% ebenfalls kleinere VO_2 –Werte beim Training der oberen Extremitäten und der Oberkörpermuskulatur im Vergleich zu den unteren Extremitäten fand, und anderen Studien (5,14,40,99,135) unterstützt.

Außerdem bewirkt der Pull–Buoy auch einen vermehrten Auftrieb des Körpers und somit eine bessere Wasserlage. Durch den damit verringerten passiven Widerstand kommt es zu einer Erleichterung der Gesamtbewegung für den Schwimmer (114,163), und somit zu einer größeren Effizienz (161).

VE liegt bei pu mit 2%–11% nur leicht über den Meßwerten von pa und ga. Doch durch die eindeutig niedrigeren VO_2 –Werte bei pu resultiert ein erhöhtes Atemäquivalent (VE/VO_2), was ein Hinweis auf eine unökonomischere Atmung bei gleichen Belastungsstufen liefert. Ähnliche VE–Werte wurden bereits auch für Arm–Radfahren („arm cycling“) (ac) gegenüber Radfahren gefunden (123,135). Als Ursache muß wahrscheinlich eine Veränderung des normalen Atemrhythmus infolge der deutlich veränderten Körperlage beim Schwimmen mit Pull–Buoy (114,163) gesehen werden. Zusammen mit den

gleichzeitig erhöhten Laktatwerten bei pu kann auch die Hyperventilation aufgrund einer metabolischen Azidose mitverantwortlich für die erhöhten Atemminutenvolumina und das ungünstigere Atemäquivalent sein (5,135,150). Die Azidose ist vermutlich auf eine lokale Erschöpfung der Armmuskulatur zurückzuführen. Dies wird dadurch unterstützt, daß die Probanden beim Schwimmen mit Pull-Buoy beim Testabbruch über Schmerzen in den Armen klagten, während in der ganzen Lage und bei Paddles der Testabbruch von den Probanden aufgrund einer mangelnden Sauerstoffzufuhr erfolgte.

4.2.2. Laktat

Die in der Studie gefundenen Laktatkonzentrationen (La) im Blut lagen bei pu hoch signifikant ($p < 0,001$) über denen bei pa (12%–75% der pu-Werte) und ga (5%–60% der pu-Werte). Dies ist durch den relativ erhöhten Anteil weißer Muskelfasern in der Armmuskulatur (52,132) und einer daraus resultierenden vermehrten anaeroben Energiebereitstellung mit nachfolgender azidotischer Stoffwechsellaage zu erklären.

Zusammen mit dem ebenfalls bestehenden, um 2%–11% erhöhten Atemminutenvolumen (VE) und einer um 3%–22% höheren Kohlendioxydabgabe (VCO_2) bei pu im Vergleich zu pa und ga, sowie einem um 8%–13% hoch signifikant ($p < 0,001$) erhöhten respiratorischen Quotienten (RQ) kann dies als Hinweis auf eine früher einsetzende respiratorische Kompensation (Hyperventilation) im Zuge einer ansteigenden metabolischen Azidose interpretiert werden. Diese Ergebnisse stimmen prinzipiell mit jenen überein, die bei Untersuchungen, die sich mit grundsätzlichen Unterschieden im Stoffwechsel bei Beanspruchung der oberen und unteren Körpermuskulatur beschäftigt haben, gefunden wurden (5,15,36,135)

Nach Literaturangaben liegt VO_2 beim Schwimmen nur mit den Armen lediglich etwas höher liegen als beim Arm-Radfahren (ac). Dies wird damit erklärt, daß bei pu im Vergleich zu ac noch mehr Oberkörpermuskulatur zum Einsatz kommt, die u.a. auch für die Stabilisierung der Körperlage im Wasser dient (150).

Zwar hat Ohkuwa et al. in einer Studie gezeigt, daß größere Muskelmassen für einen höheren Blutlaktatwert sorgen (115), allerdings stellen die Arme alleine prinzipiell eine

kleinere Muskelmasse als die Beine, oder sogar die Beine und Arme zusammen (wie bei pa und ga) dar. Der Grund für die dennoch gefundenen hohen La–Werte bei pu kann jedoch darin liegen, daß in der Armmuskulatur vermehrt weiße Muskelfasern vorhanden (52,132), und somit bei der Armbewegung bei pu im Einsatz sind. Die für die hauptsächlich ballistischen Bewegungen der Gliedmaßen verantwortlichen weißen Muskelfasern arbeiten im Gegensatz zu den oxidativen statisch arbeitenden roten Muskelfasern hauptsächlich anaerob, so daß hierbei vermehrt Laktat anfällt (131).

Zusätzlich ist die nervale muskuläre Sympathikus–Antwort bei Arbeit der oberen Extremitätenmuskulatur besonders hoch (126), was zu einer Vasokonstriktion der Gefäße und einem erhöhten Blutdruck führt, die eine Minderperfusion der Muskulatur bewirken (121) und somit den aeroben Metabolismus zusätzlich limitieren (136). Diese Tatsache ist sowohl für ein gegebenes VO_2 als auch für eine gegebene relative Arbeitsintensität beschrieben (15,150) und läßt somit eine azidotische Stoffwechsellage beim Schwimmen mit Pull–Buoy vermuten.

Beim Schwimmen mit Paddles liegt La trotz beschriebener besserer Antriebseffizienz (162) und geringerem VO_2 tendenziell und besonders auf den kleineren Geschwindigkeitsstufen über den Werten beim Schwimmen in ganzer Lage. Dies könnte u.a. Ausdruck einer anfänglich besseren Durchblutung der Muskulatur beim Schwimmen mit pa. sein. Bollens untersuchte die Muskelaktionspotentiale der oberflächlichen Armmuskeln beim Benutzen von Paddles und stellte dabei zwar grundsätzlich eine geringere Anzahl von Muskelkontraktionen pro Zeiteinheit im Vergleich zum Schwimmen ohne Paddles fest (19). Es lassen sich jedoch keine näheren Angaben darüber finden, ob er speziell die rote, oxidativ arbeitende oder die weiße, glykolytisch arbeitende Muskulatur, bei der vermehrt Laktat gebildet wird (131), untersucht hat.

Die Paddles durch den erhöhten Widerstand vor allem zu einem Kraftanstieg der arbeitenden Muskulatur beitragen (33,182), kommt es zu einer Rekrutierung eines hohen Anteils der weißen, anaerob arbeitenden Muskelfasern (60), die die erhöhten Laktatwerte bei pa erklären könnte. Diese frühzeitige und vermehrte Rekrutierung weißer, laktazider Muskelfasern dient auch als Erklärungsgrundlage für die niedrigen VO_2 –Werte bei pa und die vermehrte anaerobe Energierekrutierung (60,131). Doch durch die bereits beschriebene größere Antriebseffizienz bei pa (162) und der zusätzlich geringeren Zugfrequenz wird

insgesamt gesehen bei gleichen Geschwindigkeiten bei pa gegenüber ga weniger Kraft verbraucht. Dies spiegelt sich in den niedrigeren VO_2 -Werten bei pa gegenüber ga wider.

Der tendenziell erhöhte RQ bei pa gegenüber ga, der das Verhältnis von VCO_2 zu VO_2 darstellt (138), kann trotz absolut leicht erniedrigten VCO_2 -Werten, als respiratorische Kompensation durch Hyperventilation der etwas höheren Azidose bei pa im Vergleich zu ga gewertet werden (138).

4.2.3. Armzugfrequenz

In dieser Studie zeigte sich für die Armzugfrequenzen folgende Reihenfolge: $\text{ZF}_{\text{pu}} > \text{ZF}_{\text{ga}} > \text{ZF}_{\text{pa}}$. Dabei fanden sich bei pa gegenüber ga um 8% hoch signifikant ($p < 0,001$) niedrigere Armzugfrequenzen (ZF), die auch schon in anderen Studien beschrieben wurden (114,162,163). Wenn man davon ausgeht, daß das Zugmuster (=Bewegungsmuster eines Armzuges) der Arme unter Wasser beim Schwimmen mit und ohne Paddles sich nicht signifikant unterscheidet (151), kann man daraus schließen, daß dieselbe Distanz mit einer langsameren Armbewegung zurückgelegt werden muß, woraus eine geringere Zugfrequenz resultiert (163). Dies wird auch durch Studien belegt, die gezeigt haben, daß pa eine bessere Antriebseffizienz ($e_p = W_d / (W_d + W_k)$) besitzen (161,162).

Bei der Benutzung des Pull-Buoys lassen sich mit einem Unterschied von 6%–20% die höchsten ZF-Werte finden. Dies kann man trotz wahrscheinlich besserer Ökonomie und Antriebseffizienz (161) zum einen auf die kleinere Abdruckfläche gegenüber pa zurückführen und zum anderen darauf, daß im Gegensatz zu pa und ga allein die Armmuskulatur für den Vortrieb verantwortlich ist. Zwar hat Wakayoshi et al. (171) in einer Studie gezeigt, daß unter gleichen Bedingungen der Schwimmer mit einer besseren Ökonomie eine geringere Armzugfrequenz hat, allerdings gibt es bis heute keine Untersuchungen über einen generellen Zusammenhang zwischen Armzugfrequenz und Ökonomie.

Aufgrund der Tatsache, daß das Atemminutenvolumen bewiesenermaßen positiv mit der Armzugfrequenz (ZF) korreliert (70,171), da eine erhöhte Belastung sowohl einen Anstieg der Armzugfrequenz (171) als auch eine Zunahme des Atemminutenvolumens (135) bewirkt, wurde erwartungsgemäß folgende Reihenfolge festgestellt, die jedoch statistisch für VE kein Signifikanzniveau erreichten:

$$VE_{pu} > VE_{ga} > VE_{pa} \text{ und } ZF_{pu} > ZF_{ga} > ZF_{pa}$$

4.2.4. Ökonomie

Die Ökonomie im Schwimmen ($W_d / e_p = VO_2 \text{ (net)} / v$) ist definitionsgemäß der Energieverbrauch bei Belastung minus den Grundenergieverbrauch bezogen auf eine gegebene Geschwindigkeit (43,120). Unterschiede in der Ökonomie von Paddles, Pull-Buoy und der ganzen Lage können durch die Differenz des Sauerstoffverbrauchs von einer Geschwindigkeitsstufe zur anderen beurteilt werden (s. auch Seite 87). Dabei zeigten sich in dieser Studie keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$).

Da jedoch der lineare Zusammenhang zwischen $W_d / e_p = VO_2 \text{ (net)} / v$ bisher nur im aeroben Intensitätsbereich Gültigkeit hat (43,125), sollten nur die niedrigeren Geschwindigkeitsstufen, bei denen $RQ < 1$ ist, betrachtet werden. Dabei lassen sich auch in dieser Studie tendenzielle Unterschiede zwischen den drei Testdurchläufen erkennen. So ist in der vorliegenden Studie die Ökonomie (dVO_2/dv) bei pu tendenziell besser als bei pa und ga, und bei pa tendenziell besser als bei ga.

Dies wird durch Studien (114,150,162) unterstützt, deren Ergebnisse eine bessere Ökonomie beim Pull-Buoy gegenüber Paddles gegenüber der ganzen Lage erwarten lassen, da die Ökonomie mit einer hohen Antriebseffizienz korreliert (161).

So beschreiben Toussaint et al., sowie Ogita et al., daß beim Schwimmen mit Paddles eine bessere Antriebseffizienz, und daraus resultierend ein geringerer Sauerstoffverbrauch im Vergleich zur ganzen Lage besteht (114,162).

Ferner haben Stenberg et al. festgestellt (150), daß durch einen größeren Auftrieb beim Schwimmen mit Pull-Buoy eine bessere Wasserlage, die wiederum zu einer besseren Antriebseffizienz beiträgt (67,156,161), erreicht wird.

4.2.5. Herzfrequenz

Es gibt Studien, die über eine tendenziell niedrigere HF bei Belastung der Arme im Vergleich zu den Beinen beim Schwimmen (153), sowie beim Landtraining (123) berichten. Auch Ogita et al. fand sehr signifikant ($p < 0,01$) höhere HF beim Schwimmen mit Pull-Buoy im Vergleich zum Schwimmen mit Paddles plus Pull-Buoy (114). Diese Ergebnisse konnten jedoch in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden.

Die Herzfrequenz (HF) wurde in dieser Studie bei submaximalen Geschwindigkeiten durch keine der Hilfsmittel signifikant ($p > 0,05$) beeinflusst. Dies steht im Einklang mit einer vom Studiendesign vergleichbareren Studie von Holmer, der keinen signifikanten Unterschied der HF beim Freistilschwimmen zwischen der ganzen Lage (ga) oder dem Schwimmen nur mit den Armen (pu) festgestellt hat (67).

4.3. Maximale Geschwindigkeiten

4.3.1. Respiratorische Parameter

Die maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) wurde in der Regel anhand der „levelling-off“-Methode bestimmt (20,76,100), so daß die erhobenen Meßwerte relativ unabhängig von der absoluten, motivationsabhängigen Belastbarkeit des Schwimmers gesehen werden können. Für die Fälle ohne „levelling-off“-Phänomen wurde der höchste gemessene VO_2 -Wert verwendet. Hierbei konnte in Übereinstimmung mit früheren Studien, bei denen speziell nur die Arme mit und ohne Paddles untersucht wurden (111,114), kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) bei VO_{2max} zwischen pa und ga festgestellt werden, obwohl die zu erreichende Strömungsgeschwindigkeit bei pa tendenziell höher war als bei

ga. Ogita et al. fand ebenfalls signifikant ($p < 0,05$) höhere Geschwindigkeiten bei pa ($1,19 \pm 0,04$ m/s) gegenüber der ganzen Lage ($1,12 \pm 0,05$ m/s) (111,114). Dieses Ergebnis läßt darauf schließen, daß das schnellere Schwimmen mit pa nicht auf eine höhere maximale O₂-Aufnahme (VO_{2max}) zurückgeführt werden kann. So hat Toussaint et al. bereits 1988 gezeigt, daß die Schwimmggeschwindigkeit neben der vom Schwimmer aufgebrauchten mechanischen Kraft auch von einer großen Antriebseffizienz (e_p) abhängt (155). Diese Antriebseffizienz ist, wie oben bereits beschrieben, definiert als: $e_p = W_d / (W_d + W_k)$ (157,160,180).

Da W_d für pa und ga als gleich angesehen wird, während W_k bei gegebenen Geschwindigkeiten bei pa geringer ist (162), kann man daraus schließen, daß die größere Geschwindigkeit bei pa auf eine bessere Antriebseffizienz (e_p) zurückzuführen ist. Dies wird weiterhin dadurch unterstützt, daß ebenfalls kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) bei La, HF, VCO_2 , VO_2 , RQ und VE zum Zeitpunkt, an dem VO_{2max} gemessen wurde, zwischen pa und ga gefunden wurde.

Über die Ökonomie auf maximalen Belastungsstufen kann zur Zeit noch keine Aussage getroffen werden, da der lineare Zusammenhang zwischen $W_d / e_p = VO_2$ (net) / v bisher nur im aeroben Intensitätsbereich erwiesen ist (43,125).

Der Spitzenwert der Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}) lag beim Schwimmen mit Pull-Buoy um 27%–30% hoch signifikant ($p < 0,001$) niedriger als VO_{2max} bei Verwendung von pa und ga, was mit Ergebnissen von Holmer (pu um 22% niedriger als ga) (67), Ogita et al. (pu um 21,8% niedriger als ga) (110) und andere Untersuchungsgruppen (2,112) übereinstimmt. Dies läßt sich durch eine vermeintlich kleinere beanspruchte Muskelmasse und der damit einhergehenden lokalen Überbeanspruchung bei pu (140) erklären, da Studien gezeigt haben, daß VO_{2peak} um so höher ist, je mehr Muskeln beansprucht werden (37,38,67,68,83,89,113,147). Allerdings besteht kein proportionaler Zusammenhang zwischen der Größe der Muskelmasse und VO_{2peak} (14,110).

4.3.2. Herzfrequenz

Die maximalen Herzfrequenzen beim Schwimmen mit Paddles und in der ganzen Lage

zeigten keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) auf, da man nach einer Studie von Ogita et al. (110) davon ausgeht, daß zum Zeitpunkt von $\text{VO}_{2\text{max}}$ das kardiovaskuläre System, und somit die maximal erreichbare HF (ga: $177,69 \pm 13,34$ Schläge/min; pa: $171,57 \pm 12,80$ Schläge/min) der leistungslimitierende Faktor ist. Andere Ermüdungsmechanismen (wie z.B. eine lokale Laktatazidose, etc.) spielten durch die Belastung des gesamten Herz-Kreislauf-Systems keine entscheidende Rolle.

Bei pu waren allerdings in dieser Studie die Spitzen-Herzfrequenzen (HF_{peak}) ($159,44 \pm 16,76$ Schläge/min) hoch signifikant ($p < 0,001$) niedriger und erreichten nur 93% bzw. 90% der HF_{max} von pa bzw. ga. Dies stimmt mit früheren Studien überein (67,68), bei denen z.B. Holmer um 10 – 30 Schläge/min niedrigere HF beim Schwimmen mit Pull-Buoy als in der ganzen Lage fand (67). Dieses Ergebnis ist durch die kleinere Muskelmasse (14,89,123) und den erhöhten Anteil an weißen, anaerob arbeitenden Muskelfasern bei pu (52,132) und einer daraus früher resultierenden lokalen Azidose, zu erklären. Damit erfolgt der Belastungsabbruch infolge lokaler Ermüdungsmechanismen früher als die Erschöpfung des gesamten kardiovaskulären Systems (110).

4.3.3. Laktat

Bei La_{max} fand sich bei den drei Testdurchgängen (ga, pa, pu) kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$). Dies steht in Gegensatz zu der Studie von Ohkuwa et al. (115), der hochsignifikant höhere ($p < 0,001$) La_{max} -Werte in ga ($13,70 \pm 2,13$ mmol/l) als beim Arm-Schwimmen ($10,21 \pm 1,90$ mmol/l) fand, was durch die größere Muskelmasse erklärt werden kann.

Außerdem wären theoretisch bei pa höhere La_{max} -Werte als bei ga und pu zu erwarten gewesen, weil durch die Widerstandskomponente bei pa (33,182) zusätzlich zur größeren Muskelmasse gegenüber pu vermehrt weiße Muskelfasern im Einsatz sein könnten (60), die durch ihre anaerob-laktazide Energiegewinnung zu einer größeren Laktatbildung beitragen würden (131).

4.3.4. Armzugfrequenz

Die $ZF_{\max}$ unterscheidet sich zwischen ga und pu nicht signifikant ($p > 0,05$) und liegt bei pa mit 8% signifikant ($p < 0,05$) niedriger. Somit kann für pu und ga gefolgert werden, daß die maximale Geschwindigkeit nur durch eine maximal schnelle ZF aufrecht erhalten werden kann. Die niedrigeren ZF-Werte bei pa sind auf den infolge einer vergrößerten Abdruckfläche verursachten erhöhten Widerstand zurückzuführen (33,182). Nach der von Hill beschriebenen Last-Geschwindigkeits-Beziehung der quergestreiften Muskulatur nimmt die Kontraktionsgeschwindigkeit mit zunehmender Belastung in hyperbolischer Weise ab (61,75,184). Dies erklärt, daß bei den Paddles nur eine niedrigere Armzuggeschwindigkeit und somit Frequenz erreicht werden kann.

4.4. Vergleich männlicher und weiblicher Probanden

Beim Vergleich der absoluten Meßwerte der respiratorischen Parameter auf submaximalen und maximalen Belastungsstufen fanden sich bei den Männern bei VO_2 um 19% – 31%, beim VCO_2 um 10% – 42% und beim VE um 5% – 19% erhöhte Werte gegenüber denen der Frauen.

Da der Energieverbrauch beim Schwimmen auch von der Körpermasse und somit dem Körpergewicht (KG) des im Wasser schwimmenden Probanden abhängt, weil ein Teil der aufgebrachten Energie bereits für das Gleiten des Körpers im Wasser verloren geht (59), ist dieses Ergebnis damit zu erklären, daß Frauen durch ihre kleinere „body-cross sectional area“ einen geringeren Widerstand im Wasser erzeugen (161).

Zusätzlich bedeutet die größere Körpermasse der Männer eine größere Muskelzellzahl, die zur Energiegewinnung bereitsteht und somit auch einen höheren maximalen Energieverbrauch bedingt (37,38,67,68,83,89,113,147).

Außerdem haben Toussaint et al. gezeigt, daß Frauen durch ihre kleinere „body-cross sectional area“ einen geringeren Widerstand im Wasser erzeugen und somit über eine bessere Effizienz verfügen (161), was wiederum geringere körpergewichtsbezogene VO_2 -Werte und Zugfrequenzen der Frauen gegenüber den Männern nach sich ziehen müßte

(16,171). Berücksichtigt man jedoch die pro kg Körpergewicht kleinere Muskelmasse und den gleichzeitig höheren Fettgehalt der Frau (109,127,133,183), müßten bei den Frauen im Gegensatz zu den Männern prozentual mehr Muskelfasern zum Vortrieb aktiv sein, und daraus könnte ein verhältnismäßig höherer Sauerstoffverbrauch resultieren. Durch diese Mechanismen gleichen sich die beiden gegensätzlich wirkenden Einflußfaktoren Effizienz und Fettmasse aus und erklären dadurch die Übereinstimmung der VO_2 - und ZF-Werte zwischen Männern und Frauen.

Um somit die vom Körpergewicht beeinflussten Ergebnisdifferenzen im Energieverbrauch zwischen weiblichen und männlichen Probanden in der Gesamtauswertung zu vermeiden, wurden in dieser Untersuchung, wie auch in anderen Studien üblich (51,113,147), VO_2 , VCO_2 und VE auf das Körpergewicht bezogen.

Bei dieser Relativierung der Meßergebnisse wurden dann keine Unterschiede mehr zwischen weiblichen und männlichen Probanden festgestellt, so daß daraus gefolgert werden kann, daß Unterschiede zwischen den Geschlechtern durch verschieden große Körper- und Muskelmasse, und nicht durch geschlechtsspezifische Unterschiede entweder in der Sauerstoffverwertung des Muskels selber oder dem Sauerstofftransport erklärt werden können (147).

Auch die Herzfrequenzen wiesen keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den beiden Geschlechtern auf, was mit Ergebnissen, die an Land gewonnen wurden, übereinstimmt (106,134,175). Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Herzfrequenz ein vor allem vom Lebensalter (109) und von der Sportart (68,124,141) abhängiger Parameter ist.

Bei der Ökonomie ($W_d / e_p = VO_2 \text{ (net)} / v$) konnten prinzipiell nur auf der niedrigsten Geschwindigkeitsstufe ein Unterschied zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. Dabei wiesen die Männer eine deutlich schlechtere Ökonomie auf.

Da die männlichen Probanden insgesamt mehr Geschwindigkeitsstufen als die weiblichen Probanden absolvierten, kann man spekulieren, daß die Männer während der kleinsten Geschwindigkeitsstufe eine niedrigere Belastung als die Frauen, bezogen auf ihr mögliches Leistungsniveau, hatten. Dadurch wäre es möglich, daß die Männer noch keine optimale

Wasserlage, die mit einem optimalen Energieverbrauch korreliert (114,161,163), erreichen mußten bzw. konnten.

Die männlichen Probanden erzielten besonders auf den niedrigen Geschwindigkeitsstufen im Vergleich zu den weiblichen Probanden bis zu 36% höhere Laktatwerte, die auf die eben erwähnte schlechtere Ökonomie der männlichen Probanden in diesen Intensitätsbereichen zurückzuführen sein könnte.

4.5. Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, daß die deutlich sichtbaren Differenzen der einzelnen Hilfsmittel und ihr häufiger Einsatz im Training in der Trainingssteuerung berücksichtigt werden müssen.

Allgemeingültige Aussagen sind durch die große interindividuelle Diskrepanz der einzelnen Schwimmer im Umgang mit Hilfsmitteln nicht möglich.

Es gibt aber sowohl auf maximalen wie auch auf submaximalen Belastungsstufen offensichtliche intraindividuelle kardio-pulmonale und metabolische Unterschiede. So liegt u.a. die Laktatkonzentration für pu bei einer definierten prozentualen Belastung der spezifischen maximalen Ausbelastung von pu prinzipiell deutlich über den Werten der gleichen prozentualen Belastung der jeweiligen spezifischen maximalen Ausbelastungen für ga und pa (d.h.: $70\% \text{ von } La_{\max pu} > 70\% \text{ von } La_{\max ga}$ bzw. $70\% \text{ von } La_{\max pa}$). VO_2 liegt dagegen bei pu während der gleichen prozentualen Belastung der jeweiligen maximalen Belastung niedriger als bei pa und ga.

Diese Ergebnisse würden z.B. für das Training der anaeroben Kapazität bedeuten, daß beim Einsatz mit pu verglichen mit ga und pa für den gleichen Trainingseffekt relativ und auch absolut kleinere Geschwindigkeiten geschwommen werden müßten.

Deswegen sollten die deutlich vorhandenen Unterschiede der einzelnen Hilfsmittel dazu Anlaß geben, für jedes Hilfsmittel individuelle schwimmerspezifische Leistungsgrenzen zu ermitteln, um von diesen Ausgangswerten das Training leistungsspezifischer gestalten zu können, indem man intraindividuelle Trainingszeitvorgaben neben der ganzen Lage auch

für Paddles und Pull–Buoy möglich macht.

Allerdings gibt es die Empfehlung, daß Paddles in der Trainingspraxis nur auf maximaler Belastungsgeschwindigkeit verwendet werden solten, um eine ungünstige Veränderung der Wasserlage auf niedrigeren Geschwindigkeitsstufen durch die bestehende bessere Antriebseffizienz zu vermeiden.

Zu überlegen ist, ob eine Übertragbarkeit der Untersuchung auf Pool–Bedingungen ohne weiteres möglich ist, da eine Beeinflussung des Schwimmens mit Pull–Buoy oder Paddels durch die Strömung in der Gegenstromanlage denkbar ist. Dieses müßte in weiteren Untersuchungen abgeklärt werden, die dann unter anderem im Pool durchgeführt werden müßten. Hierbei könnte das Prinzip der Nachatmungsmethode verwendet werden, das eine repräsentative Erfassung spirometrischer Daten nach der Belastung des Schwimmers ermöglicht (27,88,145).

5. Zusammenfassung

Im Schwimmtraining finden Hilfsmittel wie Pull-Buoy und Paddles häufig Verwendung, wobei ihr Einsatz und die Anpassung an die Schwimmgeschwindigkeit hauptsächlich auf Erfahrungswerten des Trainers, und somit auf ungenauen Angaben der Belastungsintensität beruhen. Deshalb war es das Ziel der vorliegenden Untersuchung zu überprüfen, ob trainingsspezifische und –relevante Unterschiede zwischen den Hilfsmitteln Paddles (pa) und Pull-Buoy (pu), sowie der ganzen Lage (ga) festzustellen sind, damit geeignete Trainingsvorgaben erstellt werden können. Zur Klärung dieser Fragestellung ermöglicht die Spiroergometrie in der Gegenstromanlage als Online-Verfahren Aussagen über metabolisch-kardiopulmonale und technisch-koordinative Unterschiede.

Zu diesem Zweck führten 22 Schwimmer (Alter: $19,7 \pm 6,0$ Jahre; 8 weiblich, 14 männlich; Trainingsumfang: $6,2 \pm 2,8$ Stunden/Woche) je drei standardisierte spirometrische Stufenteste im Strömungskanal (Beginn: 0,92 m/s, Steigerung um 0,09 m/s alle 3 Minuten) in randomisierter Reihenfolge mit pa, mit pu und in ga bis zur subjektiven Ausbelastung durch. Während die spirometrischen Parameter, sowie die Herzfrequenz, online mittels eines auf einer beweglichen Brücke stationiertem Oxycon–Spirometriesystems und eines tragbaren Polarmeßgerätes registriert wurde, wurde die Zugfrequenz am Ende jeder Belastungsstufe gemessen. Die einminütige Belastungspause wurde zur Laktatabnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen genutzt.

Auf *submaximalen* Wassergeschwindigkeits–stufen (ga und pa: 0,92–1,28 m/s; pu: 0,92–1,10m/s) lag die Sauerstoffaufnahme (VO_2) bei pu ($1635,45 \pm 403,75$ – $2150,32 \pm 491,00$ ml/min) signifikant niedriger ($p < 0,05$) als bei pa und ga ($1764,09 \pm 389,33$ – $2819,29 \pm 378,77$ ml/min vs. $1802,64 \pm 351,15$ – $2926,35 \pm 522,53$ ml/min), während das Blutlaktat (La) bei pu ($2,79 \pm 1,54$ – $5,00 \pm 2,51$ mmol/l) gegenüber pa ($2,29 \pm 1,20$ – $4,67 \pm 1,65$ mmol/l) und ga ($2,00 \pm 1,07$ – $4,34 \pm 1,57$ mmol/l) signifikant ($p < 0,05$) erhöht war. Bei pa fanden sich für VO_2 um 2%–10% niedrigere und bei La um 8%–21% höhere Werte korrespondierend zu ga. Die Herzfrequenz (HF) unterschied sich bei keinem der Hilfsmittel signifikant ($p > 0,05$). Mit pu wurde eine hoch signifikant ($p < 0,001$) niedrigere

Geschwindigkeit (1,19 m/s) als mit ga (1,37 m/s) und pa (1,37 m/s) absolviert. Dabei erreichten die Probanden mit pa eine tendenziell höhere Geschwindigkeit als in ga. Die *maximale* Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}) ($3256,53 \pm 538,17$ ml/min vs. $3370,47 \pm 543,60$ ml/min), die *maximale* Kohlendioxydabgabe (VCO_{2peak}) ($3307,67 \pm 537,43$ ml/min vs. $3455,29 \pm 565,81$ ml/min), das *maximale* Atemminutenvolumen (VE_{peak}) ($80,61 \pm 18,89$ l/min vs. $83,82 \pm 18,15$ l/min) und HF_{peak} ($171,57 \pm 12,80$ vs. $177,69 \pm 13,43$ Schläge/min) zeigten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen pa und ga, während die entsprechenden Werte bei pu für VO_{2peak} ($2359,06 \pm 442,01$ ml/min), VCO_{2peak} ($2447,44 \pm 615,81$ ml/min), HF_{peak} ($159,44 \pm 16,76$ Schläge/min) und VE_{peak} ($63,49 \pm 16,46$ l/min) hoch signifikant ($p < 0,001$) niedriger waren. Der *maximale* respiratorische Quotient (RQ_{peak}) und La_{peak} wiesen zum Zeitpunkt der maximalen Ausbelastung weder bei pu, noch bei pa und ga einen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) auf.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen darauf schließen, daß die Realisierung einer höheren Geschwindigkeit bei pa als bei ga auf eine bessere Antriebseffizienz und nicht auf eine größere *maximale* Sauerstoffaufnahme zurückzuführen ist. Dagegen sind die für pu erhobenen Daten durch die kleinere Muskelmasse und einer aufgrund des relativ höheren Anteils an weißen Muskelfasern in den Armen bedingten lokalen Azidose zu erklären.

6. Literaturverzeichnis

1. Abernethy PJ, Thayer R, Taylor AW: Acute and chronic responses of skeletal muscle to endurance and sprint exercise. A review. *Sports Med*; 10: 365-389, 1990.
2. Adrian MJ, Singh M, Karpovich PV: Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke. *J Appl Physiol*; 21: 1763-1766, 1966.
3. Andersen P: The use of hand paddles, overload training and aftereffects. *Swimming Techn*; 13: 58-62, 1976.
4. Armbruster DA, Allen RH, Billingsley HS: *Swimming and diving*. The C. V. Mosby Company, St. Louis (USA); 1-373, 1968.
5. Astrand PO, Ekblom B, Messin R, Saltin B, Stenberg J: Intraarterial blood pressure during exercise with different muscle groups. *J Appl Physiol*; 20: 253-256, 1965
6. Astrand PO, Englesson S: A swimming flume. *J Appl Physiol*; 33: 514, 1972.
7. Aunola S, Marniemi J, Alanen E, Mäntylä M, Saraste M, Rusko H: Muscle metabolic profile and oxygen transport capacity as determinants of aerobic and anaerobic thresholds. *Eur J Appl Physiol*; 57: 726-734, 1988.
8. Ball K, Hahn A, Mason B: Untersuchungen zum intrazyklischen Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf am Hüft- und Körperschwerpunkt im Kraulschwimmen. *Leistungssport*; 5: 52-54, 1993.
9. Beaver W, Lammarra N, Wasserman K: Breath-by-breath measurement of true alveolar gas exchange. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exerc Physiol*; 51: 1662-1675, 1981.
10. Beaver W, Wasserman K, Whipp BJ: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*; 60: 2020-2027, 1986.
11. Beckmann R: *Zur Trainingspraxis Schwimmen*. Janoss Saturie Verlag, Wolfsburg; 1976.
12. Benefice E, Mercier J, Guerin MJ, Prefaut Ch: Differences in aerobic and anthropometric characteristics between peripubertal swimmers and non-swimmers. *Int J Sports Med*; 11: 456-460, 1990.
13. Berger MA, Hollander AP, de Groot G: Technique and energy losses in front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc*; 29: 1491-1498, 1997.
14. Bergh U, Kanstrup IL, Ekblom B: Maximal oxygen uptake during exercise with

- various combinations of arm and leg work. *J Appl Physiol*; 41: 191-196, 1976.
15. Bevegard S, Freyschuss U, Strandell T: Circulatory adaption to arm and leg exercise in supine and sitting position. *J Appl Physiol*; 21: 37-46, 1966.
 16. Bevegard S, Holmgren A, Jonsson B: Circulatory studies in well trained athletes at rest and during heavy exercise, with special reference to stroke volume and the influence of body position. *Acta Physiol Scand*; 57: 26-50, 1963.
 17. Blaser P, Niklas A: Die schwimmspezifische Bewegungsanalyse in der Gegenstromanlage. *Leistungssport*; 6: 43-46, 1998.
 18. Blaser P, Stucke Ch, Witte K: Die Überprüfung der Technikrentabilität im Sportschwimmen in Vorbereitung der Schwimmerinnen und Schwimmer auf sportliche Wettkämpfe *Leistungssport*; 1: 36-39, 1995.
 19. Bollens E, Clarys JP: Peripheral EMG control of handpaddle influence on swimming movements. In: Perren SM, Schneider EB: *Biomechanics. Current interdisciplinary research*. Dordrecht, Nijhoff; 699-704, 1985.
 20. Bonde-Petersen F, Henriksson J, Lundin B: Blood flow in thigh muscle during bicycling exercise at varying work rates. *Eur J Appl Physiol*; 15: 191-197, 1975.
 21. Bonen A, Wilson A, Yarkony M, Belcastro AN: Maximal oxygen uptake during free, tethered and flume swimming. *J Appl Physiol*; 48: 232-235, 1980.
 22. Boutellier U: Die Atmung als leistungslimitierender Faktor bei Normalpersonen und Sportlern. *Dtsch Z Sportmed*; 47: 216-219, 1996.
 23. Braumann KH, Holz J: Spiroergometry in the swimming flume. *Int J Sports Med*; 17: 23 u.59, 1996
 24. Braumann KM, Holz J: Spiroergometry in the swimming flume. *Proceedings VII. International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*; 18.-23. Oktober 1994, Atlanta, Georgia, USA: 59.
 25. Braumann KM, Holz J: Spiroergometry in the swimming flume. *Proceedings 1996 International Pre-Olympic Scientific Congress*; 10.-14. Juli 1996, Dallas, Texas, USA: 59.
 26. Bucher W: The influence of the leg kick and the arm stroke on the total speed during the crawl stroke. *Proc. 2nd internat. sympos. on „Biomechanics in swimming,,* , Lewille L, Clarys J: Brussels, Belgium, Univ, Park Press, Baltimore, U.S.A., 1975.

27. Carre F, Dassonville J, Beillot J, Prigent JY, Rochcongar P: Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *Eur J Appl Physiol*; 69: 258-261, 1994.
28. Chatard JC, Collomp C, Maglischo E, Maglischo C: Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Int J Sports Med*; 11: 156-161, 1990.
29. Chatard JC, Lavoie JM, Lacour JR: Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *Eur J Appl Physiol*; 61: 88-92, 1990.
30. Clasing D, Weicker H, Böning D: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York; 1994.
31. Conley DS, Cureton KJ, Dengel DR, Weyland PG: Validation of the 12-min swim as a field test of peak aerobic power in young men. *Med Sci Sports Exerc*; 23: 766-773, 1990.
32. Costill DL, Kovaleski J, Porter D, Kirwan J, Fielding R, King D: Energy expenditure during front crawl swimming: Predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*; 6: 266-270, 1985.
33. Counsilman JE: Handbuch des Sportschwimmens für Trainer, Lehrer und Athleten. Schwimmsport-Verlag Fahnenmann, Bockenem; 1994.
34. Coyle EF: Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sports Sci Rev*; 23: 25-63, 1995.
35. Dal Monte A, Sardella F, Alippi B, Faina M, Manetta A: A new respiratory valve system for measuring oxygen uptake during swimming. *Eur J Appl Physiol*; 69: 159-162, 1994.
36. Davies CTM, Sargeant AJ: Physiological responses to standardised arm work. *Ergonomics*; 17: 41-49, 1974.
37. Davies CTM, Sargeant AJ: Physiological responses to one and two-leg exercise breathing air and 45% oxygen. *J Appl Physiol*; 36: 142-148, 1974.
38. Davies CTM, Sargeant AJ: Effect of training on the physiological responses to one and two-leg work. *J Appl Physiol*; 38: 377-381, 1975.
39. Davis HA, Gass GC: The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. *Eur J Appl Physiol*; 47: 141-149, 1981.
40. Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P: Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol*; 41: 544-550,

- 1976.
41. Di Carlo LJ, Sparling PB, Millard-Stafford ML, Rupp JC: Peak heart rates during maximal running and swimming: Implications for exercise prescription. *Int J Sports Med*; 12: 309-312, 1991.
 42. Di Prampero PE: The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med*; 7: 55-72, 1986.
 43. Di Prampero PE, Pendergast DR, Wilson DW, Rennie DW: Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol*; 37: 1-5, 1974.
 44. Donovan CM, Brooks GA: Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *Am J Physiol*; 244: E83-E92, 1984.
 45. Douglas CG: A method for determining the total respiratory exchange in man. *J Physiol*; 42: 17, 1911.
 46. Ekblom B, Astrand PO, Saltin B, Stenberg J, Wallström B: Effect of training on circulatory response to exercise. *J Appl Physiol*; 24: 518-528, 1968.
 47. Fiedler KM: *Schwimmsport*. Sportverlag Berlin, Berlin; 1-203, 1985.
 48. Flynn MG, Pizza FX, Boone Jr JB, Andres FF, Michaud TA, Rodrigues-Zayas JR: Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sports Med*; 15: 21-26, 1994.
 49. Freitag W: *Schwimmen, Training Technik Taktik*. Rororo-Sachbuch, Reinbek; 1977.
 50. Gerard ES, Caiozzo VJ, Rubin BD, Prietto CA, Davidson DM: Skeletal muscle profiles among elite long, middle, and short distance swimmers. *Am J Sports Med*; 14: 77-82, 1986.
 51. Glenmark B: Skeletal muscle fibre types, physical performance, physical activity and attitude to physical activity in women and men. A follow-up from age 16 to 27. *Acta Physiol Scand Suppl*; 623: 1-47, 1994.
 52. Gollnick PD, Sjödin B, Karlsson J, Jansson E, Saltin B: Human soleus muscle: a comparison of fiber composition and enzyme activities with other leg muscles. *Pflügers Arch*; 348: 247-255, 1974.
 53. Gutmann E, Hanzlikova V: Effect of androgens on histochemical fibre type. *Histochemie*; 24: 287-291, 1970.
 54. Hauber C, Sharp RL, Franke WD: Heart rate response to submaximal and maximal

- workloads during running and swimming. *Int J Sports Med*; 18: 347-353, 1997.
55. Heck H, Hess G, Mader A: Vergleichende Untersuchung verschiedener Laktat-Schwellenkonzeptionen. *Dtsch Z Sportmed*; 36: 19-25,40-52, 1985.
 56. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W: Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med*; 6: 117-130, 1985.
 57. Heck H, Mader A, Liesen H, Hollmann W: Vorschlag zur Standardisierung leistungsdiagnostischer Untersuchungen auf dem Laufband. *Dtsch Z Sportmed*; 33: 304-307, 1982.
 58. Heigenhauser GJ: Estimation of cardiac output by the CO₂ rebreathing method during tethered swimming. *J Appl Physiol*; 44: 821-824, 1978.
 59. Hemmingsen I: Energiomsättningen under svömning hos män och kvinnor. *Tidskr Legemsövelser*; 22: 53-62, 1957.
 60. Hickson RC, Hidaka K, Foster C, Falduto MT, Chatterton RT Jr: Successive time course of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol*; 76: 663-670, 1994.
 61. Hill AV: The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc London Ser B*; 126: 136-195, 1938.
 62. Hollander AP, De Groot G, van Ingen Schenau GJ, et al: Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *J Sports Sci*; 4: 21-30, 1986.
 63. Hollander AP, De Groot G, van Ingen Schenau GJ, Kahman R, Toussaint HM: Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming. In: *Swimming science V champaign. Human kinetics books, Illinois*; 39-43, 1988.
 64. Hollmann W: Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med*; 6: 109-116, 1985.
 65. Hollmann W, Heck H, Schmücker B, Stolte A, Liesen H, Fotesco D, Mathur D, Joura K: Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen über den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und Fahrradergometerbelastungen. *Sportarzt Sportmed*; 6: 123, 1971.
 66. Hollmann W, Hettinger T: *Sportmedizin-, Arbeits- und Trainingsgrundlagen*. Schattauer, Stuttgart, New York; 1990³.
 67. Holmer, I.: Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *Europ J Appl Physiol*; 33: 105-118, 1974.

68. Holmer I: Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol*; 33: 502-509, 1972.
69. Holmer I, Astrand PO: Swimming training and maximal oxygen uptake. *J Appl Physiol*; 33: 510-513, 1972.
70. Holmer I, Gullstrand L: Physiological responses to swimming with a controlled frequency of breathing. *Scand J Sports Sci*; 2: 1-6, 1980.
71. Holmer I, Lundin A, Eriksson BO: Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J Appl Physiol*; 36: 711-714, 1974.
72. Holmer I, Stein EM, Saltin B, Ekblom B, Astrand PO: Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running. *J Appl Physiol*; 37: 49-54, 1974.
73. Hölte V, Euler H, Verdonck A: Isokinetische Testverfahren und Testparameter und ihre Korrelationen zur Schwimmleistung bei Leistungsschwimmern der nationalen Spitzenklasse. *Leistungssport*; 5: 44-48, 1994.
74. Huijing PA, Toussaint HM, Clarys JP, et al: Active drag related to body dimensions. In: Ungerechts BE, Reischle K, Wilke K: *Swimming science, V champaign. Human kinetics books, Illinois*; 31-37, 1988.
75. Huxley HE: The mechanism of muscular contraction. *Science*; 164: 1356-1366, 1969.
76. Kagaya A: Levelling-off of calf blood flow during walking and running, and its relationship to anaerobic threshold. *Ann Physiol Anthropol*; 9: 219-224, 1990.
77. Karpovich PV: Water resistance in swimming. *Res Q*; 4: 21-28, 1993.
78. Karpovich PV, Millman N: Energy expenditure in swimming. *Amer J Physiol*; 142: 140-144, 1944.
79. Karvonen J, Vuorimaa T: Heart rate and exercise intensity during sports activities. *Sports Med*; 5: 303-312, 1988.
80. Keul J, Kindermann W, Simon G: Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsfähigkeit. *Leistungssport*; 8: 22-32, 1978.
81. Keul J, Simon G, Berg A, Dickhuth HH, Goertler I, Kübel R: Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. *Dtsch Z Sportmed*; 7: 212-217, 1979.
82. Kindermann W, Simon G, Keul J: The significance of the aerobic-anaerobic

- transition for the determination of work load intensities during endurance training. Eur J Appl Physiol; 42: 25-34, 1979.
83. Klausen K, Secher NH, Clausen JP, Hartling O, Jensen JT: Central and regional circulatory adaptations to one-leg training. J Appl Physiol; 52: 976-983, 1982.
 84. Klentrou PP, Montpetit RR: Energetics of backstroke swimming in males and females. Med Sci Sports Exerc; 24: 371-375, 1992.
 85. Knipping HW: Ein einfacher Apparat zur exakten Gasstoffwechsellmessung. Z Exp Med; 41: 363-378, 1924.
 86. Küchler J, Witt M: Zur Struktur von Sprintleistungen im Freistilschwimmen. Leistungssport; 2: 45-50, 1996.
 87. Kuipers H, Keizer HA: Overtraining in elite athletes. Sports Med; 6: 79-92, 1988.
 88. Leger LA, Seliger V, Brassard L: Backward extrapolation of $\dot{V}O_{2\max}$ values from the O_2 recovery curve. Med Sci Sports Exerc; 12: 24-27, 1980.
 89. Lewis SF, Taylor WF, Graham RM, Pettinger WA, Schutte JE, Bromqvist CG: Cardiovascular response to exercise as functions of absolute and relative work load. J Appl Physiol; 54: 1314-1323, 1983.
 90. Liesen H, Ludemann E, Schmengler D, Föhrenbach R, Mader A: Trainingssteuerung im Hochleistungssport: Einige Aspekte und Beispiele. Dtsch Z Sportmed; 36: 8-18, 1985.
 91. Loat CE, Rhodes EC: Relationship between the lactate and ventilatory thresholds during prolonged exercise. Sports Med; 15: 104-115, 1993.
 92. Lothar J: Das Training der schwimmerischen Kraftausdauer. Triathlon Int; 4: 52-53, 1988.
 93. Mader A, Heck H: A theory of the metabolic origin of anaerobic threshold. Int J Sports Med; 7: 45-65, 1986.
 94. Mader A, Liesen H, Heck H, Phillipi H, Rost R, Schürch P, Hollmann W: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Dtsch Z Sportmed; 27: 80-88, 1976.
 95. Mader A, Madson O, Hollmann W: Zur Bedeutung der laktaziden Energiebereitstellung für Trainings- und Wettkampfleistungen im Schwimmen. Leistungssport; 10: 263-279, 408-418, 1980.
 96. Magder S, Linnarsson D, Gullstrand L: The effect of swimming on patients with

- ischemic heart disease. *Circulation*; 63: 979-986, 1981.
97. Magel JR: Comparison of the physiologic response to varying intensities of submaximal work in tethered swimming and treadmill running.. *J Sports Med*; 11: 203-212, 1971.
 98. Magel JR, Faulkner JA: Maximum oxygen uptake of college swimmers. *J Appl Physiol*; 22: 929-938, 1967.
 99. Magel JR, McArdle WD, Toner M, Delio DJ: Metabolic and kardiovascular adjustment to arm training. *J Appl Physiol*; 45: 75-79, 1978.
 100. McConnel TR: Practical considerations in the testing of VO_{2max} in runners. *Sports Med*; 5: 57-68, 1988.
 101. Mercier B, Granier P, Mercier J, Trouquet J, Prefaut C: Anaerobic and aerobic components during arm-crank exercise in sprint and middle-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol*; 66: 461-466, 1993.
 102. Mero A, Jaakkola L, Komi PV: Relationships between muscle fibre characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys. *J Sports Sci*; 9: 161-171, 1991.
 103. Montpetit RR, Cazorla G, Lavoie JM: Energy expenditure during front crawl Swimming: a comparison between males and females. In: Ungerechts BE, Reischle K, Wilke K: *Swimming Science, V. Champaign, III: Human Kinetics, Illinois*; 229-235, 1988.
 104. Nadel ER, Holmer I, Bergh U, Astrand PO, Stolwijk JAJ: Energy exchanges of swimming man. *J Appl Physiol*; 36: 465-471, 1974.
 105. Neumann, G.: Zum zeitlichen Ablauf der Anpassung beim Ausdauertraining. *Leistungssport* 5: 9-17, 1993.
 106. Ng AV, Agre JC, Hanson P, Harrington MS, Nagle FJ: Influence of muscle length and force on endurance and pressor responses to isometric exercise. *J Appl Physiol*; 76: 2561-2569, 1994.
 107. Obert P, Courteix D, Lecoq A, Guenon P: Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls. *Eur J Appl Physiol*; 73: 136-143, 1996.
 108. Obert P, Falgairette G, Bedu M, Coudert J: Bioenergetic characteristics of swimmers determined during an arm-ergometer test and during swimming. *Int J*

- Sports Med; 13: 298-303, 1992.
109. Ogawa T, Spina RJ, Martin WH 3d, Kohrt WM, Schechtman KB, Holloszy JO, Ehsani AA: Effects of aging, sex, and physical training on kardiovascular responses to exercise. *Circulation*; 86: 494-503, 1992.
 110. Ogita F, Hara M, Tabata I: Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand*; 157: 435-441, 1996.
 111. Ogita F, Onodera T, Tabata I: Effect of hand paddles on anaerobic energy release during supramaximal swimming. *Med Sci Sports Exerc*; 31: 729-735, 1999.
 112. Ogita F, Taniguchi S: The comparison of peak oxygen uptake between swim-bench exercise and arm stroke. *Eur J Appl Physiol*; 71: 295-300, 1995.
 113. Ogita F, Tabata I: Peak oxygen uptake during arm stroke under a hypobaric hypoxic condition. *Ann Physiol Anthropol*; 11: 289-294, 1992.
 114. Ogita, F, Tabata, I: Effect of Hand paddle aids on oxygen uptake during arm-stroke-only swimming. *Eur J Appl Physiol* 66: 489-493, 1993.
 115. Ohkuwa T, Itoh H: Blood lactate, glycerol and catecholamine in arm strokes, leg kicks and whole crawl strokes. *J Sports Med Phys Fitness*; 32: 32-38, 1992.
 116. Olympiastützpunkt Hamburg-Kiel, Hamburger Wasserwerke: Die Gegenstromanlage im Dulsbergbad. Hamburger Wasserwerke GmbH; 1-3, 1992.
 117. Pansold B, Zinner J: Die Laktatleistungskurve-ein Analyse-und Interpretationsmodell der Leistungsdiagnostik im Schwimmen. In: Clasing D, Weicker H, Böning D: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York; 47-64, 1994.
 118. Parizkova J: Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden Caliper and densiometric analysis of total body fat in men. *Human Biology*; 43: 16-21, 1971.
 119. Payton CJ, Lauder MA: The influence of hand paddles on the kinematics of front crawl swimming. *J of hum Mov Stud*; 28: 175-192, 1995.
 120. Pendergast DR, di Prampero PE, Craig AB, Wilson DR, Rennie DW: Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J Appl Physiol*; 43: 475-479, 1977.
 121. Petrofsky JS, Phillips CA, Sawka MN, Hanpeter D, Stafford D: Blood flow and

- metabolism during isometric contractions in cat skeletal muscle. *J Appl Physiol*; 50: 493-502, 1981.
122. Pfeifer H: Ergebnisse von Beobachtungen im Sportschwimmen bei den Olympischen Sommerspielen 1988 in Seoul. *Theor u Prax Leistungssport*; 27: 87-103, 1989.
 123. Pimental NA, Sawka MN, Billings DS, Trad LA: Physiological responses to prolonged upper-body exercise. *Med Sci Sports Exerc*; 16: 360-365, 1984.
 124. Pluto R, Cruze SA, Weiss M, Hotz T, Mandel P, Weicker H: Cardiocirculatory, hormonal and metabolic reactions to various forms of ergometric tests. *Int J Sports Med*; 9: S79-88, 1988.
 125. Pugh LGC, Edholm OG: The physiology of channel swimmers. *The Lancet*; 8: 761-768, 1955.
 126. Ray CA, Rea RF, Clary MP, Mark AL: Muscle sympathetic nerve responses to static leg exercise. *J Appl Physiol*; 73: 1523-1529, 1992.
 127. Rivera Brown AM: Female physiology during exercise. *P R Health Sci J*; 9: 79-84, 1990.
 128. Rosemann H: *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*. Urban und Schwarzenberg, München; 28, 1960.
 129. Röcker K, Dickhuth HH: Spiroergometrische Meßgrößen in der sportartspezifischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung. *Leistungssport*; 6: 44-48, 1996.
 130. Rudolph K: Modelltraining im Schwimmkanal. *Leistungssport*; 2: 19-21, 1997.
 131. Rüegg JC: *Calcium in muscle contraction*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York; 1992².
 132. Saltin B, Gollnick PD: Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: Peachey LD, Adrian RH, Geiger SR: *Handbook of physiology, Section 10: Skeletal muscle*. Oxford University Press, Oxford; 555-631, 1988.
 133. Sanborn CF, Jankowsky CM: Physiologic considerations for women in sport. *Clin Sports Med*; 13: 315-327, 1994.
 134. Sanchez J, Pequignot JM, Peyrin L, Monod H: Sex differences in the sympatho-adrenal response to isometric exercise. *Eur J Appl Physiol*; 45: 147-154, 1980.
 135. Sawka MN, Miles DS, Petrofsky JS, Wilde SW, Glaser RM: Ventilation and acid-base equilibrium for upper body and lower body exercise. *Aviat Space Environ*

- Med; 53: 354-359, 1982.
136. Sawka MN, Petrofsky JS, Phillips CA: Energy cost of isometric contractions in cat fast and slow twitch muscles. *Pflugers Archiv*; 390: 164-168, 1981.
 137. Schiffbautechnische Versuchsanstalt Hamburg, Olympiastützpunkt Hamburg-Kiel: Messung der Strömungsgeschwindigkeit im Kanal-Wertung der Meßergebnisse. Internes unveröffentlichtes Protokoll; 1998.
 138. Schmidt RF, Thews G: *Physiologie des Menschen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York; 644-646, 1995²⁶.
 139. Schuster HP, Schömerich P, Schönborn H, Baum P: *Intensivmedizin*. Thieme, Stuttgart; 1988.
 140. Shepard RJ, Bouhrel E, Vandewalle H, Monod H: Muscle mass as a factor limiting physical work. *J Appl Physiol*; 64: 1472-1479, 1988.
 141. Shono T, Hotta N, Ogaki T, Shimizu T, et al: Cardiorespiratory responses during flume swimming and treadmill running in swimmers. *Ann Physiol Anthropol*; 12: 145-150, 1993.
 142. Simon G: Laktat zur aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik im Schwimmen. In: Clasing D, Weicker H, Böning D: *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York; 81-87, 1994.
 143. Simon G, Thiesmann M: Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit im Schwimmsport. *Leistungssport*; 3: 29-31, 1986.
 144. Simon G, Thiesmann M, Frohberger U, Clasing D: Ergometrie im Wasser-eine neue Form der Leistungsdiagnostik bei Schwimmern. *Dtsch Z Sportmed*; 34: 5-14, 1983.
 145. Sleivert G, Mackinnon LT: The validation of backward extrapolation of submaximal oxygen consumption from the oxygen recovery curve. *Eur J Appl Physiol*; 63: 135-139, 1991.
 146. Smith I: Anthropometric measurements, and arm and leg speed performance of male and female swimmers as predictors of swim speed. *J Sports Med*; 18: 153-168, 1978.
 147. Stamford BA, Weltman R, Moffatt J, Fulco C: Effect of severe prior exercise in assessment of maximal oxygen uptake during one-versus two legged cycling. *Res Q*; 49: 363-371, 1978.

148. Stegmann H, Kindermann W: Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol/l lactate. *Int J Sports Med.* 3; 105-110, 1982.
149. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A: Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*; 2: 160-164, 1981.
150. Stenberg J, Astrand PO, Ekblom B, Royce J, Saltin B: Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J Appl Physiol*; 22: 61-70, 1967.
151. Stoner LJ, Luedtke DL: Variations in the front crawl and back crawl arm strokes of varsity swimmers using hand paddles. In: Terauds J, Bedingfield EW: *Swimming III*. University Park Press, Baltimore; 281-288, 1979.
152. Sugiyama K, Katamoto S: Comparison of submaximal front crawl and breast stroke swimming in relation to energy expenditure. *Ann Physiol Anthropol*; 11: 635-640, 1992.
153. Swaine IL: Cardiopulmonary responses to exercise in swimmer using a swim bench and a leg-kicking ergometer. *Int J Sports Med*; 18: 359-362, 1997.
154. Toussaint HM: Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc*; 22: 409-415, 1990.
155. Toussaint HM, Beelen A, Rodenburg A, Sargeant AJ, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ: Propelling efficiency of front crawl swimming. *J Appl Physiol*; 65: 2506-2512, 1988.
156. Toussaint HM, Beek PJ: Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Med*; 13 : 8-24, 1992.
157. Toussaint HM, de Groot G, Hollander AP, Van Ingen Schenau GJ: Measurement of efficiency of swimming man. *J Physiol*; 377: 3P, 1986.
158. Toussaint HM, de Groot G, Savelberg HHCM, et al: Active drag related to velocity in male and female swimmers. *J Biomech*; 21: 435-438, 1988.
159. Toussaint HM, de Looze M, van Roosem B, et al: The effect of growth on drag in young swimmers. *J Sport Biomech*; 6: 18-28, 1990.
160. Toussaint HM, van der Helm FCT, Elzerman JR, Hollander AP; de Groot G, Ingen Schenau AJ: A power balance applied to swimming. In: Hollander AP, Huijting PA, de Groot G: *Biomechanics and medicine in swimming*. Human

- Kinetics, Champaign, Illinois; 165-172, 1983.
161. Toussaint HM, Hollander AP: Energetics of competitive swimming. Implications for training programmes. *Sports Med*; 18: 384-405, 1994.
 162. Toussaint HM, Janssen T: The influence of paddles on propulsion. *Swimming Technique*; 26: 28-32, 1989.
 163. Toussaint HM, Janssen T, Kluft M: Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *J Biomech*; 24: 295-311, 1991.
 164. Toussaint HM, Knops W, de Groot G, Hollander AP: The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc*; 22: 402-408, 1990.
 165. Toussaint HM, Meulemans A, de Groot G, Hollander AP, Schreurs AW, Vervoorn K: Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur J Appl Physiol*; 56: 363-366, 1987.
 166. Toussaint HM, Vervoorn K: Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. *Int J Sports Med*; 11: 228-233, 1990.
 167. Ueda T, Kurokawa T, Kikkawa K, Choi TH: Contribution of differentiated ratings of perceived exertion to overall exertion in women while swimming. *Eur J Appl Physiol*; 66: 196-201, 1992.
 168. Ungerechts BE: Leistungsdiagnostische Möglichkeiten für den Schwimmsport. *Leistungssport*; 22: 27-30, 1992.
 169. Van der Vaart AJM, Savelberg HHCM, de Groot G, et al: An estimation of active drag in front crawl swimming. *J Biomech*; 20: 543-546, 1987.
 170. Vandewalle H, Vautier JF, Kachouri M, Lechevalier JM, Monod H: Work-exhaustion time relationships and the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness*; 37: 89-102, 1997.
 171. Wakayoshi K, D'Acquisto LJ, Cappaert JM, Troup Jp: Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int J Sports Med*; 16: 19-23, 1995.
 172. Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, et al: Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol*; 64: 153-157, 1992.
 173. Wakayoshi K, Takayoshi Y, Masao U, et al: Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state. *Eur J Appl Physiol*; 66:

- 90-95, 1993.
174. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Kasai T, et al: A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med*; 13: 367-371, 1992.
 175. Washburn RA, Seals DR: Peak oxygen uptake during arm cranking for men and women. *J Appl Physiol*; 56: 954-957, 1984.
 176. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ: Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation*; 81: II-14-II-30, 1990.
 177. Wassermann K, McIlroy M: Detection of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol*; 14: 844-852; 1964.
 178. Wasserman K, Stringer WW, Casaburi R, Koike A, Cooper CB: Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. *Z Kardiol*; 83: 1-12, 1994.
 179. Wasserman K, Whipp B, Koyal S, Beaver W: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*; 35: 236, 1973.
 180. Webb PW: The swimming energetics of trout. II. Oxygen consumption and swimming efficiency. *J Exp Biol*; 55: 521-540, 1971.
 181. Weicker H, Braumann KM: Zusätzliche Untersuchungsparameter, die die Interpretation des Laktatschwellenbereichs unterstützen. In 'Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik', Clasing D, Weicker H, Böning D. Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York; 229-232, 1994.
 182. Wilke, K., Madsen, O.: Schriftenreihe zur Praxis der Leibeserziehung und des Sports. Das Training des jugendlichen Schwimmers. Karl Hofmann, Schorndorf; 1988²
 183. Wilkerson LA: The female athlete. *Am Fam Physician*; 29: 233-237, 1984.
 184. Wilkie DR: The relation between force and velocity in human muscle. *J Physiol*; 110: 249-280, 1950.
 185. Wolf J, Satori J: Trainingsmethodik und Trainingsplanung im Schwimmsport. Bartels und Wernitz, Berlin; 1, 1984.
 186. Yoshida T, Chida M, Ichioka M, Suda Y: Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur J Appl Physiol*; 56: 7-11, 1987.

7. Anhang

7.1. Anamnese- und Befundbogen



Institut für Sport- und Bewegungsmedizin
Universität Hamburg

Hamburg, den _____. 20____
Tag Monat Jahr

Anamnesebogen

1. Persönliche Daten

Name:	Geschlecht:
Vorname:	Größe:
Geb.-Datum:	Gewicht:
Adresse:	Telefon:
	Telefax:
	E-mail:

Letzte sportmedizinische Untersuchung: Datum: _____. _____. _____. in _____

Hiermit erteile ich mein Einverständnis zur sportärztlichen Untersuchung und zur Speicherung und Auswertung meiner Daten.

Ort und Datum

Unterschrift (Sportler, Patient, gesetzl. Vertreter)

2. Sport früher und aktuell

Sportart	Zeitraum (von-bis)	Trainingseinheiten / Woche	Trainingsstunden / Woche

a) Aktueller Leistungssport (nur für Leistungssportler)

Hauptsportart: _____ Hauptdisziplin: _____
 Kader: A ☐, B ☐, C ☐, D ☐, anderer: _____ Verband: _____
 Verbandsarzt: _____ Bundes-/Landestrainer: _____
 Heimtrainer: _____ Wöchentliche Trainingsbelastung: _____
 Trainingseinheiten pro Woche: _____ Trainingsstunden pro Woche: _____
 Anzahl der Trainingsjahre in Hauptsportart: _____ Jahre
 Trainingspausen (Letzten 12 Monate):
 Wann: _____ Warum: _____
 Wie wurde am Tag vor der Untersuchung trainiert? _____

3. Krankenanamnese:

a) Bestehen zur Zeit **aktuelle** Beschwerden, wenn ja, welche, seit wann und bisherige Therapie?
☐ nein, ☐ ja

b) Besteht irgendeine **Grunderkrankung / chronische Erkrankung**, wenn ja, welche, seit wann und Therapie?
☐ nein, ☐ ja

Häufigkeiten von Infekten der oberen Luftwege (Husten, Schnupfen, Halsschmerzen):
 _____ mal (ca. _____ Tage) pro Jahr.

c) Bestehen **Allergien** bzw. **Unverträglichkeiten** (z.B. Heuschnupfen, Asthma etc.)? ☐ nein, ☐ ja, gegen (Therapie, falls vorhanden): _____

d) Welche **Kinderkrankheiten** lagen vor?

☐ Masern, ☐ Mumps, ☐ Röteln, ☐ Windpocken, ☐ Scharlach, ☐ Keuchhusten, ☐ Mandel-OP (wann____) Welche Impfungen wurden wann (möglichst mit Jahresangabe) durchgeführt (Tetanus, Kinderlähmung, Röteln, Masern, Mumps, Diphtherie, Keuchhusten, Tuberkulose, Grippe etc.)?

- Im Kindesalter: _____

- Jetziger Impfschutz: _____

e) Bestanden **frühere** Erkrankungen, Verletzungen, Knochenbrüche, Unfälle, Operationen, Krankenhausaufenthalte?

(Augen, Ohren, Schilddrüse, Herz-Kreislaufsystem, Atemwege (inklusive Mandeln und Polypen), Magen/Darm, Leber, Gallenblase, Bauchspeicheldrüse, Harnwege/Nieren, Geschlechtsorgane, Haut, Nervensystem, Blut etc.)

Bewegungsapparat: Wirbelsäule, Schulter, Ellenbogen, Unterarm, Hand, Finger, Hüfte, Becken, Kniegelenk, Sprunggelenk, Füße, Muskulatur etc.)

☐ nein, ☐ ja (Jahresangabe, Art der Erkrankung, kurze Angabe über Therapie + Verlauf): _____

f) **NUR für Frauen:**

Eintritt der ersten Menstruation? _____ Zyklusdauer? _____ Zeitpunkt der letzten Menstruation? _____ Dauer der Menstruation? _____ Beschwerden/Auffälligkeiten? _____

Ist die Leistungsfähigkeit während der Menstruation herabgesetzt? ☐ ja ☐ nein Schwangerschaftsschutz (z.B. "Pille" (seit wann, Name und Dosierung), Spirale etc.)? _____

Wieviele Geburten? _____ Kinder Anzahl: _____

g) **Vegetative** Anamnese:

Appetit normal? ☐ ja, ☐ nein; Schlaf normal? ☐ ja, ☐ nein; Stuhlgang normal? ☐ ja, ☐ nein;

Wasserlassen normal? ☐ ja, ☐ nein; Wasserlassen nachts? ☐ ja, ☐ nein;

Husten bzw. Auswurf? ☐ ja, ☐ nein

Medikamente (seit wann, Name und Dosierung)	
Vitaminpräparate? Mineralstoffe (Elektrolyte)?	
Nikotin (seit wann, Art und Menge)	
Alkohol (seit wann, Art und Menge)	

h) Sind bei **Großeltern, Eltern oder Geschwistern** besondere Erkrankungen aufgetreten?

(z.B. Fettstoffwechselstörungen, Bluthochdruck, Herzinfarkt (Lebensalter?), Gehirnschlag (Lebensalter?), Diabetes mellitus, Rheuma/Gicht, Allergien, Krebserkrankungen (Lebensalter) u.a.)

☐ nein, ☐ ja (Art der Erkrankung, Lebensalter und bei wem?): _____

4. Soziale Anamnese:

Schulabschluß (Hochschulstudium, Abitur, Realschule, Hauptschule, Gesamtschule etc.): _____

Beruf: _____ ledig: ☐, verheiratet: ☐, geschieden: ☐, verwitwet: ☐, Anzahl der Kinder: _____

7.2. Einverständniserklärung

Anke Nachtigahl
Kegelhofstr. 52
20251 Hamburg
Tel. 040/ 46090949

Universität Hamburg
Prof.Dr.med. K.-M. Braumann
Forschungsbereich Sport- und
Bewegungsmedizin
Fachbereich Sportwissenschaft
Mollerstraße 10
20148 Hamburg

Liebe/r.....

Im Rahmen meiner Doktorarbeit führe ich eine Studie über mögliche Unterschiede beim Schwimmen mit und ohne Hilfsmittel durch.

Für diese Untersuchung habe ich Dich ausgewählt, und hoffe, daß Du Dich dankenswerterweise als Teilnehmer zur Verfügung stellst.

Bei dieser Studie handelt es sich um das Schwimmen eines standardisierten Tests in der Gegenstrom-anlage (Strömungskanal) des Olympiastützpunktes Hamburg- Kiel. Die Adresse lautet: Am Dulsbergbad 1, 22049 Hamburg (nähe U- Bahnstation Alter Teichweg). Dein genauer Termin wird noch mit Dir besprochen.

Der Test soll für die Vereine und deren Trainer trainingsrelevante Ergebnisse liefern, was das Schwimmen mit Pull- Buoy, Paddles und in ganzer Lage betrifft. Es soll außerdem geprüft werden, ob genauere Trainingsvorgaben gemacht werden können.

Deine Aufgabe wird in der exakten Einhaltung der Testvorgabe bestehen. Die Belastung ist in etwa so groß wie ein Trainingstest.

Zur Überprüfung Deiner Leistung sollen Deine Blutlaktatwerte, Dein Sauerstoffverbrauch und die Herzfrequenz gemessen werden. Indem Du über ein Mundstück ausatmest, kann Deine Ausatemluft über ein Rohr zum Meßgerät geleitet werden. Zur Laktatbestimmung wird Dir in den Pausen jeweils ein kleiner Tropfen Kapillarblut aus dem Ohrläppchen entnommen. Außerdem wirst du einen schmalen Gurt zur Herzfrequenzmessung um den Oberkörper tragen müssen. Bei Erschöpfung darfst Du den Test selbstverständlich abbrechen. Außerdem können die TeilnehmerInnen zu jedem Zeitpunkt auf eigenen Wunsch aus der Studie ausscheiden.

Die Teilnahme an der Studie beinhaltet 3 Termine, die nicht länger als 2 Wochen auseinanderliegen dürfen und voraussichtlich abends oder am Wochenende stattfinden werden.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen, ist es wichtig, daß Du den Tag vor Deinem Test keine größere körperliche Anstrengung vollbringst, und somit möglichst keinen Sport treibst. Außerdem achte darauf, daß Du Dich an den Tagen vor Deinen Terminen ausgewogen und kohlenhydratreich ernährst (siehe Anlage), damit Du Dich jedesmal in einer ähnlichen körperlichen Verfassung befindest.

Ich empfehle Dir 2 Stunden vor dem Test nichts mehr zu essen.

Ich freue mich über Deine Teilnahme an der Studie und auf unsere Zusammenarbeit.

Mit freundlichen Grüßen
Anke Nachtigahl

Bestätigung

Ich erkläre mich hiermit einverstanden, als Proband an dieser Studie teilzunehmen. Gleichzeitig bin ich mit kapillärer und falls erforderlich venöser Blutentnahme einverstanden. Außerdem erlaube ich ausdrücklich, daß die Universität Hamburg, Fachbereich Sportwissenschaft, Institut für Sport- und Bewegungsmedizin alle von mir erhobenen Daten unter Beachtung des persönlichen Datenschutzes zu wissenschaftlichen Zwecken speichern, auswerten und veröffentlichen darf.

Datum

Unterschrift des Probanden bzw. des Erziehungsberechtigten

8. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die durch ihre Unterstützung, sowie durch ihre Teilnahme als Probanden wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ohne sie wäre die Durchführung einer solchen Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. K. M. Braumann und dem gesamten Team des Instituts für Sport- und Bewegungsmedizin der Universität Hamburg für die Bereitstellung des Dissertationsthemas, für die Mithilfe bei der praktischen und theoretischen Durchführung und die engagierte Betreuung.

Darüber hinaus möchte ich mich ganz herzlich bei Dr. Rüdiger Reer für seine wertvolle Unterstützung, die kritische und zeitaufwendige Durchsicht des Manuskripts und die vielen hilfreichen Ratschläge bedanken.

Mein weiterer Dank gilt Jan Schröder für die Unterstützung bei den statistischen Analysen.

Bei dem Leiter der Abteilung für Trainingswissenschaft des Olympiastützpunktes Hamburg/ Kiel, Dr. Klaus Rudolph, und seinen Mitarbeitern bedanke ich mich für die freundliche Bereitstellung der Gegenstromanlage.

Auch danke ich meinen Eltern ganz herzlich, die mir mein Studium ermöglichten und mich stets unterstützen.

Nicht zu letzt gilt mein Dank Felix Vahldiek, der mir zu jeder Zeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

9. Lebenslauf

PERSÖNLICHE ANGABEN

geboren am: 02. Juli 1975
Geburtsort: Buchholz i. d. Nordheide
Familienstand: ledig
Vater: Jörn Nachtigahl, Studienrat
Mutter: Inge Nachtigahl, geb. Keil, Hausfrau
Geschwister: Silke Nachtigahl, Dipl. Ing. d. Architektur

SCHULAUSBILDUNG

1981 - 1985 Grundschule Oberneuland, Bremen
1985 - 1987 Orientierungsstufe Schule Rockwinkel, Bremen
1987 - 1991 Gymnasium Rockwinkel, Bremen
1991 - 1994 Gymnasium Horn, Bremen

Schulabschluß: *Allgemeine Hochschulreife*

- Leistungsfächer: Französisch, Mathematik
- Prüfungsfächer: Pädagogik, Sport

UNIVERSITÄTSAUSBILDUNG

- 1994 - 2001 Universität Hamburg, Fachbereich Humanmedizin
- September 1996 Beendigung des Vorklinikums, *Physikum*
 - August 1997 Abschluß des ersten klinischen Abschnittes,
Erstes Staatsexamen
 - 1998: Beginn der Dissertationsarbeit

-
- April 2000 Abschluß des zweiten klinischen Abschnittes, *Zweites Staatsexamen*
 - Mai 2001 vorraussichtlicher Abschluß des dritten klinischen Abschnittes, *Drittes Staatsexamen*

10. Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, daß ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe, und dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.