

„Biomechanische Grundlagen der Schwimmarten Schmetterling und Brustschwimmen“

Fachvortrag für den ASVZ

Leistungsentwicklung des Brustschwimmens

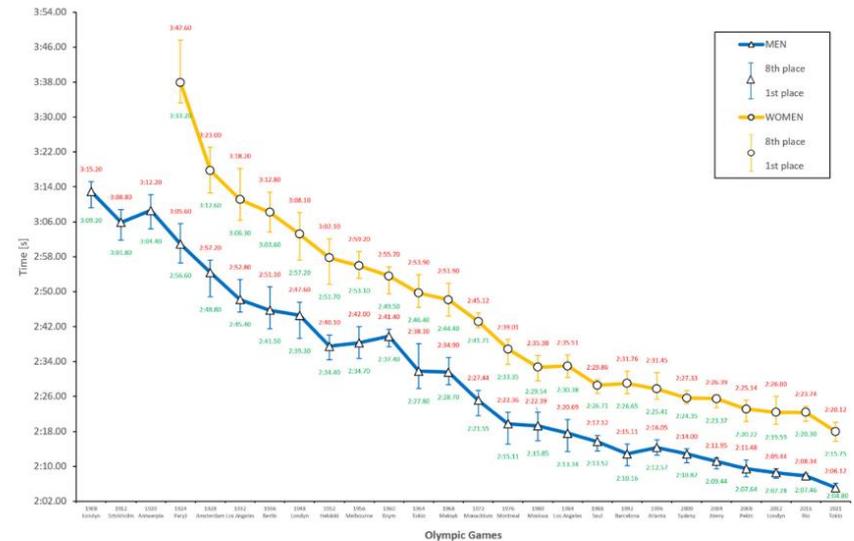


Figure 1. Men's and Women's 100 m breaststroke results during the last 13 Olympic Games and prediction for Tokyo 2021.

Figure 2. Men's and women's 200 m breaststroke results during the last 25 Olympic Games and prediction for Tokyo 2021.

Holub, M., Stanula, A., Baron, J., Glyk, W., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). Predicting Breaststroke and Butterfly Stroke Results in Swimming Based on Olympics History. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126621>

Biomechanik des Brustschwimmens

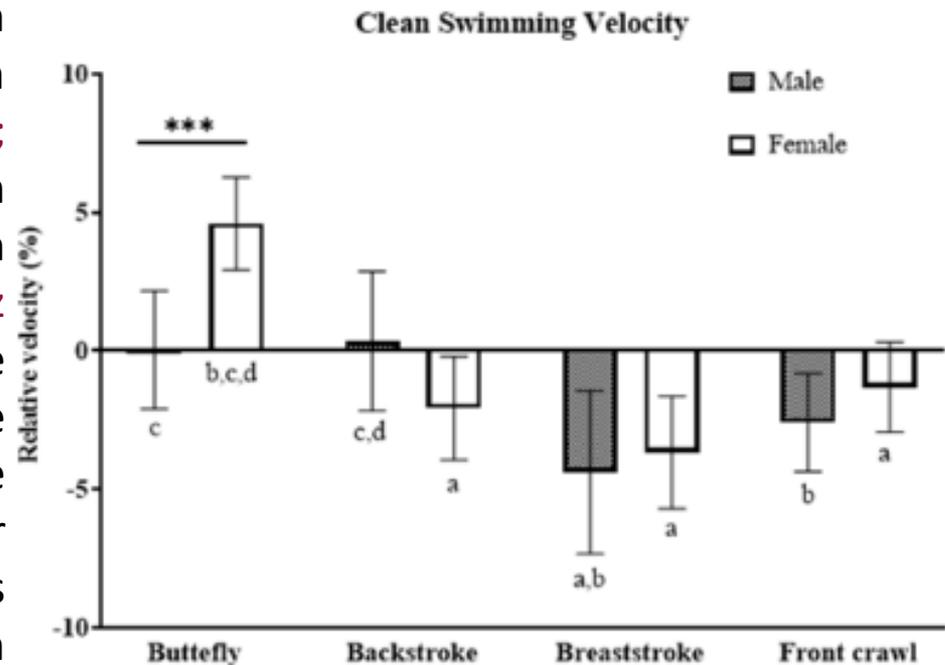
Es besteht der Eindruck, dass die Technik des Brustschwimmens von Schwimmer zu Schwimmer sehr unterschiedlich ist, selbst bei Elite-Brustschwimmern. Daher gibt es eine Vielzahl von Erklärungen und Lehren über den Schwimmstil. Eine genaue Untersuchung und die Analyse von Unterwasservideos zeigen jedoch, dass die Elite Brustschwimmer/-innen in den Grundlagen ihrer Schwimmtechnik viele Gemeinsamkeiten haben.

Bill (William) Boomer, ein renommierter Experte für Schwimmtechnik, der für seine einzigartige Perspektive und Erklärung bekannt ist, sagte: "**Breaststroke Is Won in the Spaces**". Die Bedeutung dieses Satzes ist tiefgreifend. Der "Raum" im Brustschwimmen ist laut Boomer zufolge die Teilaktion im Brustschwimmen, bestehend aus der Streckung der Arme und das anschließende Vorwärtsgleiten, sowie der Raum (oder die Zeit) zwischen den vorantreibenden Teilen des Armzugs und des Beinschlags.

Biomechanik des Brustschwimmens

Unterschiede in den Wettkampfmerkmalen zwischen Weltklasse-Lagenschwimmern und Ihren vergleichbaren Schwimmspezialisten über 200m.

Die Brustschwimm-Spezialisten wiesen sowohl bei den männlichen (Geschwindigkeit: $p = 0,011$; Zuglänge: $p = 0,023$) als auch bei den weiblichen Teilnehmern (Geschwindigkeit: $p = 0,003$; Distanz pro Schlag: $p = 0,036$) eine höhere Schwimmgeschwindigkeit und eine längeren Weg pro Zug auf als die Lagen-Schwimmer. Lagen-Schwimmer sollten sich besonders auf das Brustschwimmtraining konzentrieren und dabei vor allem ihre Zuglänge verbessern.



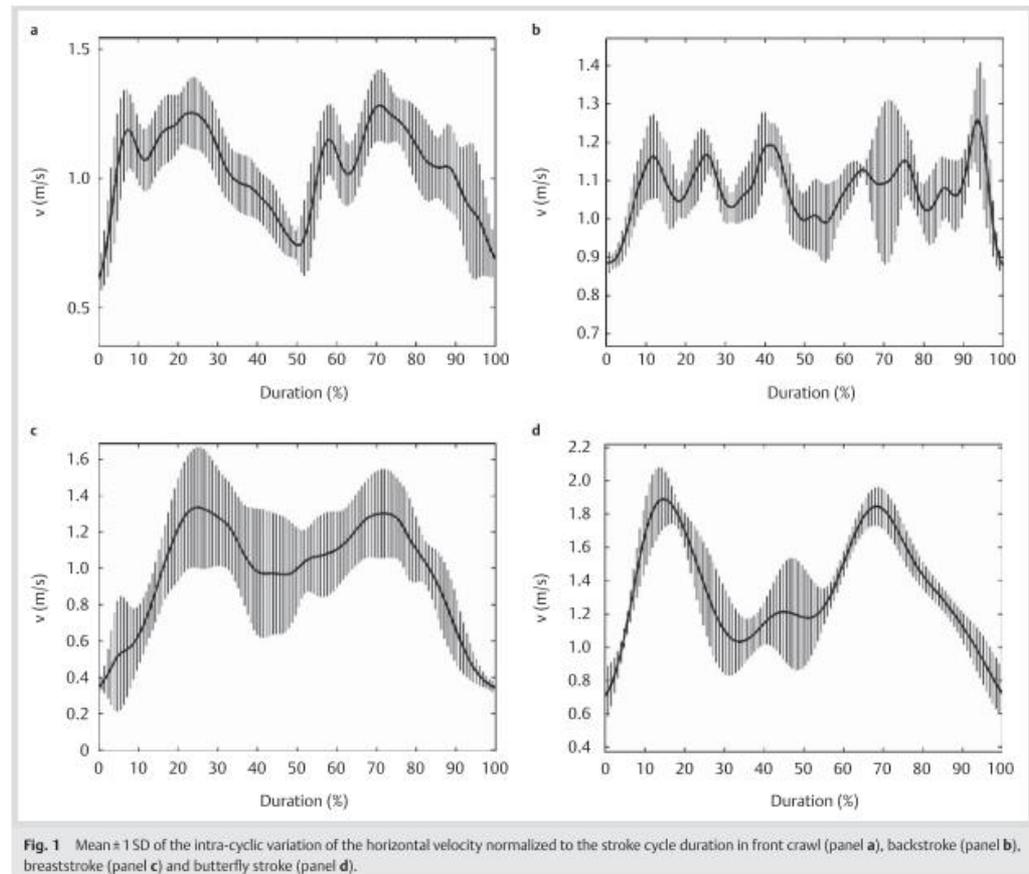
Biomechanik des Brustschwimmens

Die vorherrschende Meinung zum Brustschwimmen ist, dass ein gute Beinaktion (Abstoß mit den Beinen) der Schlüssel zu einem guten Brustschwimmer ist. Aber der Abstoß ist nur ein Teil der Gleichung. Schnelles Brustschwimmen, also die Maximierung der Leistung in den Zwischenräumen, bedeutet, jede Phase zu analysieren und zu nutzen.

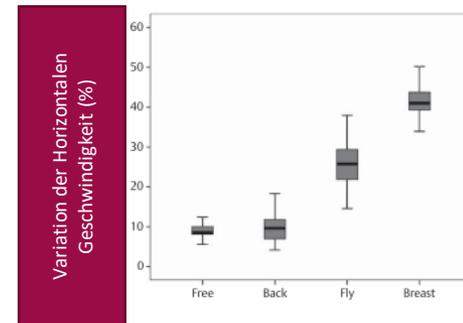
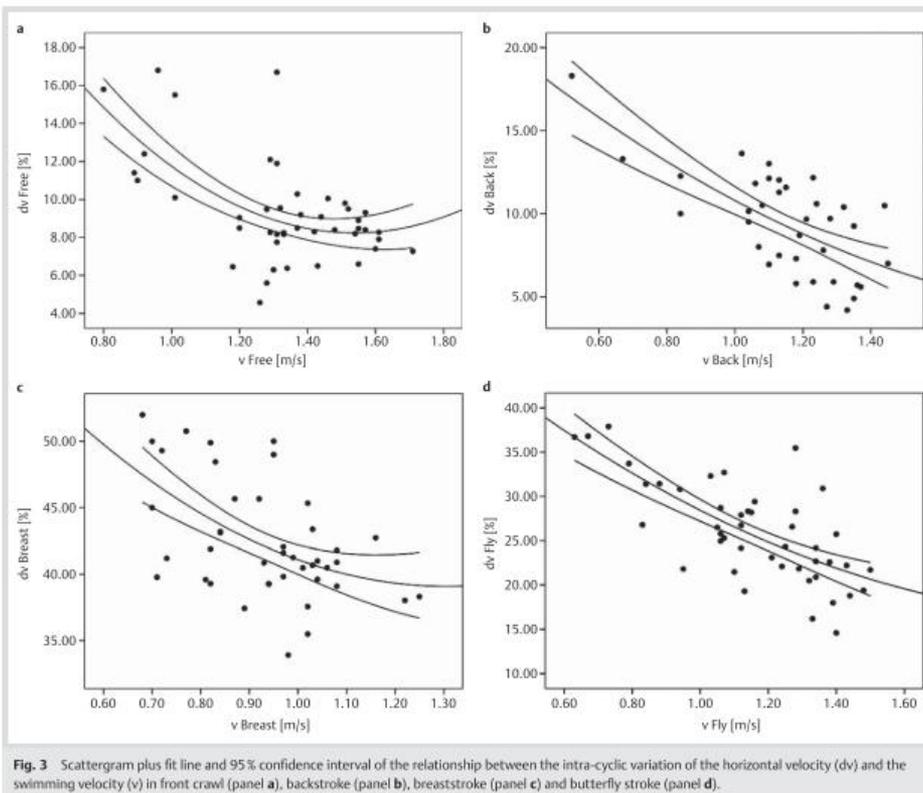
Eine weitere Beobachtung kann gemacht werden, wenn man gute und mittelmäßige Brustschwimmern vergleicht. Gute Brustschwimmer schaffen es besser, die Vorwärtsgeschwindigkeit aufrechtzuerhalten. Durchschnittliche Brustschwimmer neigen zu einem - Stop-and-Go-Stil - diese stoppen, wenn der Oberkörper am höchsten Punkt der Atmung ist, und fahren fort, wenn die Arme nach vorne gestreckt werden und die Beinaktion startet. Es sollte klar sein, warum ein Schwimmer sich niemals einem Haltepunkt nähern möchte.

Die Interaktion zwischen intrazyklischer Variation der Geschwindigkeit und mittlerer Schwimgeschwindigkeit bei jungen Wettkampfschwimmern

Ziel dieser Studie war es, die Beziehung zwischen der intrazyklischen Variation der horizontalen Geschwindigkeit der 4 Wettkampfschwimmtechniken bei jungen Schwimmern zu untersuchen. 45 junge Schwimmer absolvierten einen Satz von maximal 4×25 m (Freistil, Rücken-, Brust- und Schmetterlingsschwimmen) mit Start im Wasser. Ein Geschwindigkeitsmesskabel wurde an der Hüfte des Schwimmers befestigt.



Die Interaktion zwischen intrazyklischer Variation der Geschwindigkeit und mittlerer Schwimgeschwindigkeit bei jungen Wettkampfschwimmern

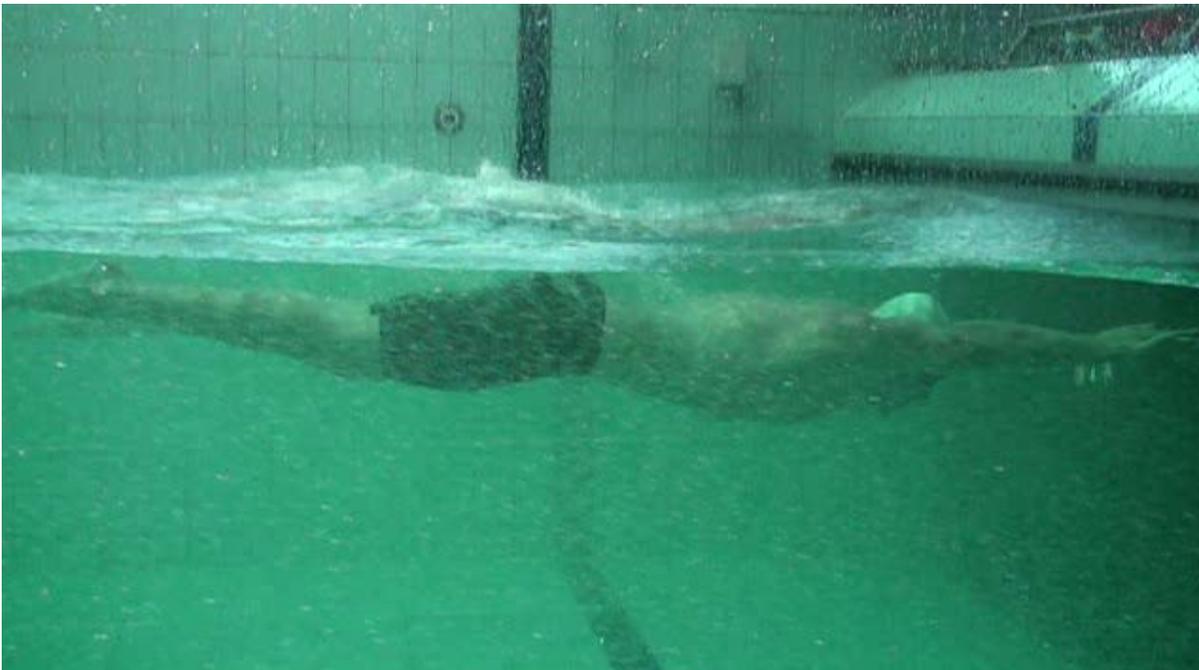


Tests innerhalb eines Probanden ergaben signifikante Variationen der horizontalen Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Schwimmtechnik. Post-hoc-Tests ergaben signifikante Unterschiede bei allen paarweisen Schwimmtechniken ($P < 0,001$), außer beim Vergleich zwischen Freistil und Rückenschwimmen ($P = 0,98$).

Biomechanik des Brustschwimmens

Die Körperlinie im Brustschwimmen

Jeder Brustschwimmzyklus sollte aus einer sehr stromlinienförmigen Körperposition beginnen und enden. Selbst wenn es nur für den Bruchteil einer Sekunde ist, wird ein guter Brustschwimmer eine gute Körperposition einnehmen, um die Geschwindigkeit aus Zug, Abstoß und Körperantrieb zu maximieren.



Pacing im Brustschwimmen

Die Auswirkungen von Tempowechseln auf den Stoffwechsel und die Schlagcharakteristik beim schnellen Brustschwimmen

Bei Brustschwimmwettbewerben variieren die Leistungen oft zwischen den Vorläufen und den Endläufen, weil die Schwimmer versuchen, ihre Kräfte zu schonen, oder aus anderen taktischen Gründen. Außerdem raten die Trainer entweder eine "positive" oder "gleichmäßige" Rennstrategie während des Finales. Die Auswirkungen solcher Tempowechsel auf den Stoffwechsel (Blutlaktat, Herzfrequenz, Ventilation), die Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung, die Bewegungskinematik und die Wendezeiten sind nicht untersucht worden. Neun männliche Leistungsschwimmer im Brustschwimmen schwammen drei 200-m-Versuche mit Tempowechsel (AquapacerTM), im Abstand von 48 Stunden und in zufälliger Reihenfolge, mit 98 %, 100 % und versuchsweise 102 % ihrer maximalen 200-m-Geschwindigkeit.

Table 2. Ratings of perceived exertion and selected metabolic and respiratory variables compared between trials (mean \pm s)

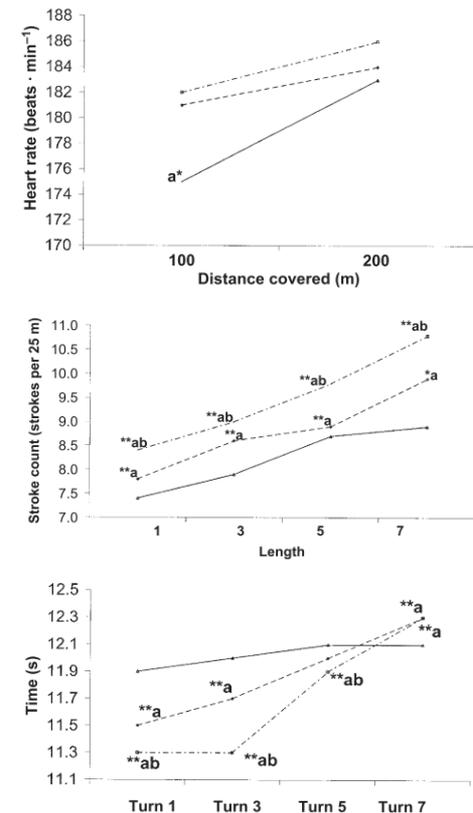
Variables	Trial 98%	Trial 100%	Trial 102%	$F_{2,24}$	P	ω^2
Blood lactate concentration (mmol · l⁻¹)						
Post warm-up	2.7 ± 0.7	2.6 ± 0.4	2.7 ± 0.8	0.22	0.806	–
Post-trial (peak value)	9.1 ± 1.9	9.6 ± 1.8	11.3 ± 1.2 ^{a,b*}	9.97	0.021	0.48
Respiratory variables						
$\dot{V}O_2$ (l · min ⁻¹)	4.00 ± 0.71	4.13 ± 0.67	4.11 ± 0.67	1.26	0.322	–
$\dot{V}O_2$ /hydrostatic mass (l · min ⁻¹ · kg ⁻¹)	1.86 ± 0.66	1.92 ± 0.63	1.90 ± 0.61	1.95	0.392	–
$\dot{V}CO_2$ (l · min ⁻¹)	4.82 ± 0.72	4.96 ± 0.76	5.08 ± 0.54	1.05	0.372	–
RER	1.19 ± 0.10	1.21 ± 0.07	1.25 ± 0.12 ^{a,b*}	3.84	0.043	0.24
$\dot{V}E$ (l · min ⁻¹)	102.3 ± 23.78	111.1 ± 20.22	111.6 ± 17.75	2.22	0.141	–
RPE	16 ± 2	17 ± 1	18 ± 1 ^{a*}	14.87	0.006	0.49

Kevin G Thompson, Donald P M MacLaren, Adrian Lees, & Greg Atkinson (2004). The effects of changing pace on metabolism and stroke characteristics during high-speed breaststroke swimming. *Journal of Sports Sciences*, 22(2), 149–157. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14998093>

Pacing im Brustschwimmen

Die Auswirkungen von Tempowechseln auf den Stoffwechsel und die Schlagcharakteristik beim schnellen Brustschwimmen

Die Reaktionen der Stoffwechselvariablen waren bei den 98 %- und 100 %-Versuchen ähnlich, aber die Blutlaktatkonzentrationen und die Atemwerte waren nach der Belastung des 102%igen Versuch deutlich erhöht. Mit zunehmender Geschwindigkeit wurde festgestellt, dass die Schlagfrequenz proportional zur Schlagzahl anstieg. Allerdings wurde in den letzten Phasen der 100 %-Studie wurde jedoch ein überproportionaler Anstieg der Schlagzahl beobachtet, was zu einem signifikanten Schrittmacherfehler führte. Dieses Merkmal war in der 102%-Studie deutlicher zu erkennen, in der die Teilnehmer ein ‚Positives Pacing‘ zeigten und eine höhere Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung angaben als bei der 98%-Studie. In den frühen Phase der Versuche waren die Wendezeiten zunächst umso kürzer, je schneller das Versuchstempo war; im weiteren Verlauf der Versuche kehrte sich dieses Muster jedoch um. Wir kommen zu dem Schluss, dass eine leichte Verringerung des Tempos bei nahezu maximalem Brustschwimmen zwar die kinematischen, nicht aber die Stoffwechselreaktionen nach der Belastung veränderte, während eine Erhöhung des Tempos zu einer positiven kinematische Reaktionen und den anaeroben Stoffwechsel erhöht.



Biomechanik des Brustschwimmens

Die Körperlinie im Brustschwimmen

- Eine außergewöhnliche Körperlinie ist vergleichbar mit einer stromlinienförmigen Haltung.
- Die Position der Hände, des Kopfes, der Hüfte und der Füße sind wichtige Indikatoren für eine gute Körperlinie beim Brustschwimmen.
- Beine hinter der Hüfte (wenig Frontalfläche)



Biomechanik des Brustschwimmens

Die Körperlinie im Brustschwimmen

- Von den Fingerspitzen bis zu den Zehen, bildet der Körper eine gerade, horizontale Linie direkt unter der Wasseroberfläche.
- Die Arme sind über dem Kopf ausgestreckt. Die Hände sollten sich nicht überlappen, und dennoch sollten die Arme gegen die Ohren gepresst werden.
- Die Hände sollten innerhalb der Schulterbreite sein, die Handflächen sollten nach unten zeigen und die Hände sollten etwas Abstand zwischen ihnen haben.



Bewertung des Energieverbrauchs bei Schwimmettkämpfen

Ziel dieser Studie war es, den Gesamtenergieverbrauch der vier Schwimmarten zu messen und zu vergleichen. Sechszwanzig Schwimmer von internationalem Niveau wurden zu einer Serie von 200-m-Schwimmen (5 Schwimmer in Brustschwimmen, 5 Schwimmer beim Rückenschwimmen, 4 Schwimmer beim Schmetterling und 12 Schwimmer bei Front Crawl). Die Startgeschwindigkeit betrug ca. 0,3m/s unter der Bestleistung eines Schwimmers und erhöhte sich dann nach jedem Schwimmen um 0,05m/s bis zum Abbruch. Die kardio-pulmonalen Parameter und der Gasaustausch wurden Atemzug für Atemzug (BxB) für jede Schwimmstrecke gemessen, um den Sauerstoffverbrauch (VO₂) und andere energetische Parameter zu analysieren. Blutproben aus dem Ohrläppchen wurden vor und nach jedem Schwimmen entnommen, um die Blutlaktatkonzentration zu analysieren. Der Gesamtenergieverbrauch (E_{tot}) wurde für jede 200-m-Etappe berechnet.

Bewertung des Energieverbrauchs bei Schwimmwettkämpfen

Der Gesamtenergieverbrauch unterschied sich signifikant zwischen den Schlägen bei allen ausgewählten Geschwindigkeiten. Bei den Geschwindigkeiten von 1,0m/s und 1,2m/s war der der Gesamtenergieverbrauch signifikant höher im Brustschwimmen als im Rückenschwimmen, im Brustschwimmen als in Freistil und in Schmetterling als in Freistil. Bei der Geschwindigkeit von 1,4 m/s war der Gesamtenergieverbrauch signifikant höher beim Brustschwimmen als in allen anderen Schwimmarten. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Gesamtenergieverbrauch von gut trainierten Wettkampfschwimmern über einen großen Geschwindigkeitsbereich eine klare Verteilung des Energieverbrauches zulässt.

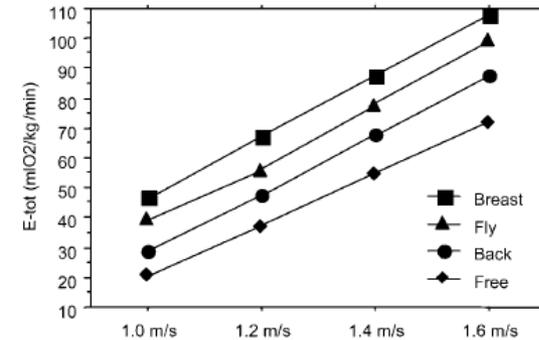


Fig. 2 Energy expenditure (\dot{E}_{tot}) profile, of the four swimming techniques, for the selected velocities.

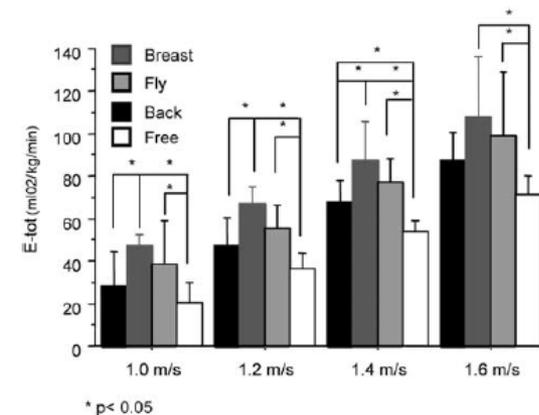
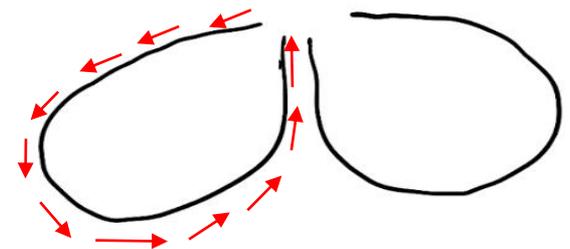
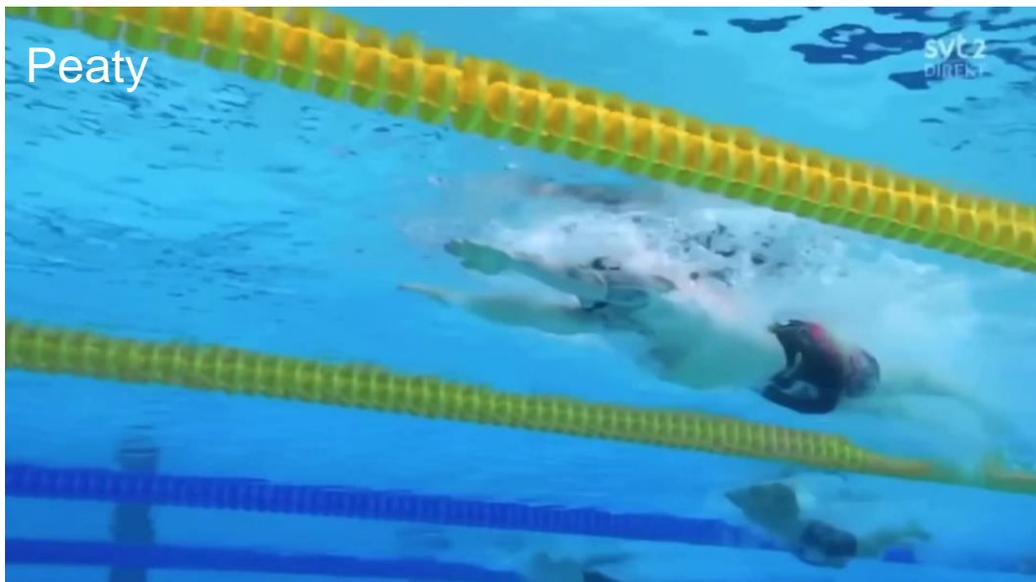


Fig. 3 Comparison of total energy expenditure (\dot{E}_{tot}) between the swimming stroke according to the Fisher's post-hoc test, in each selected velocity.

Biomechanik des Brustschwimmens

Der Armzug

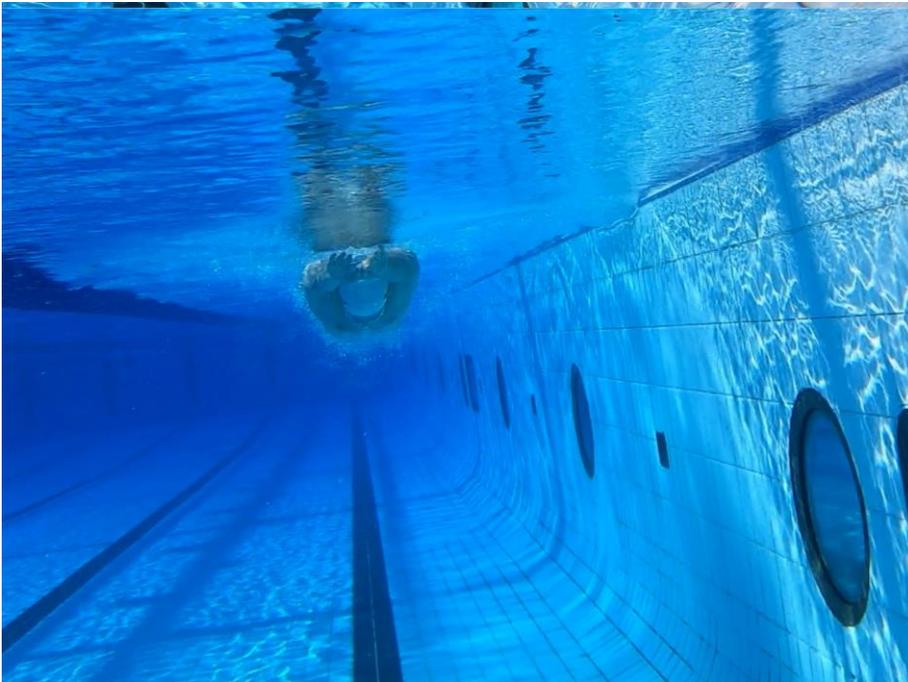
Der Armzug beim Brustschwimmen unterscheidet sich von den anderen drei Schwimmstilen, da er nicht für den Gesamtvortrieb verantwortlich ist. Die allgemeine Form des Zugmusters ist eine ovale Form, die zu den Seiten hin breiter und in Richtung von vorne nach hinten flacher und gequetschter ist. Der Weg der Hände macht keine scharfen Winkel oder Richtungswechsel.



Biomechanik des Brustschwimmens

Der Armzug

- Von weit nach eng -> guter Krafteinsatz möglich; m. pectoralis, m. latissimus
- Auswärtsbewegung mit gestrecktem Arm vs. Quick catch
- Hoher Ellenbogen variiert / Amplitude variiert



Während der gesamten Bewegung der Hände / Arme Wasser in Richtung der Füße schieben (Handinnenflächen zeigen in Richtung Füße)!

Arm-Bein-Koordination beim flachen Brustschwimmen: Eine vergleichende Studie zwischen Elite- und Nicht-Elite-Schwimmern

Das Ziel dieser Studie war der Vergleich der Arm-Bein-Koordination beim flachen Brustschwimmen zwischen vier Gruppen von Schwimmern (Elite-Männer, Elite-Frauen und Nicht-Elite-Männer, Nicht-Elite-Frauen) auf zwei verschiedenen Wettkampfniveaus. Mit Hilfe eines Geschwindigkeitsvideosystems wurden zunächst die Vorwärtsbeschleunigungs- und Abbremsphasen der Hüfte identifiziert und darauf aufbauend in vier zeitlichen Abständen die Zeitdauer zwischen Arm- und Beinaktionen über drei Wettkampfgeschwindigkeiten (200, 100 und 50 m) ermittelt. Für beide Gruppen war eine Erhöhung der Geschwindigkeit mit einer Erhöhung der Schwimmfrequenz, einer Verringerung der Zuglänge sowie einer Erhöhung der Vortriebsphasen und einer Verringerung der Gleitphasen verbunden.

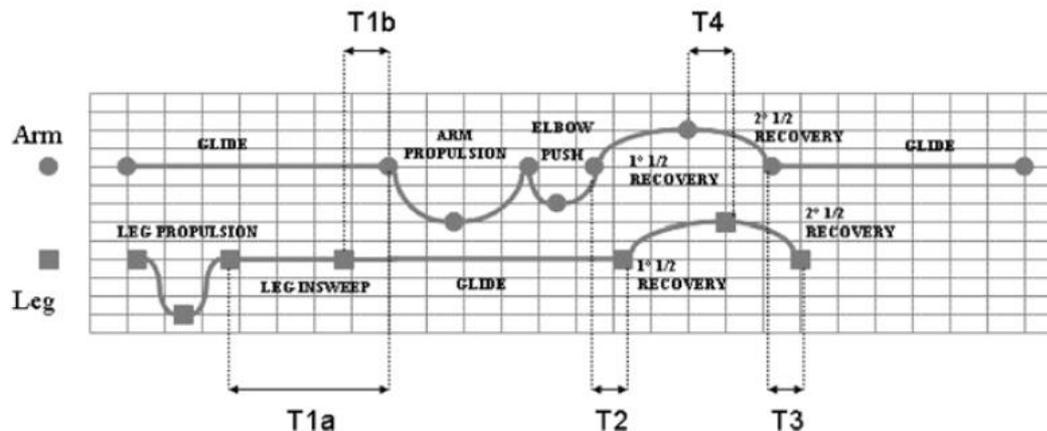


Fig. 1 General model of coordination in flat breaststroke swimming [5]. T1_a: end of the leg propulsion/beginning of the arm propulsion. T1_b: end of the leg insweep/beginning of the arm outswEEP. T2: beginning of leg recovery/beginning of the arm recovery. T3: end of leg recovery/end of the arm recovery. T4: 90° of leg flexion during their recovery/ 90° of arm flexion during their recovery.

Arm-Bein-Koordination beim flachen Brustschwimmen: Eine vergleichende Studie zwischen Elite- und Nicht-Elite-Schwimmern

Bei der Betrachtung der relativen Dauer eines Schlagzyklus wiesen die Eliteschwimmer jedoch eine signifikant kürzere Gleitphase auf als die Schwimmer auf niedrigerem Leistungsniveau im Vergleich zu Schwimmer (18,80% vs. 31,04% für Frauen und 11,89% vs. 19,60% bei den Männern) in Kombination mit einer längeren Zuglänge (2,05m vs. 1,73m bzw. 2,03m vs. 1,82m). Außerdem zeigten die zeitlichen Abstände der Eliteschwimmer eine größere Kontinuität bei den Arm- und Beinbewegungen, was auf ein besseres Timing hinweist als bei Nicht-Elite-Schwimmern. Elite-Brustschwimmer sind in der Lage, ihren Vortrieb zu optimieren, indem sie ihre Gleitphase verkürzen und eine kontinuierlichere „Miteinander“ zwischen Arm- und Beinbewegungen arrangieren.

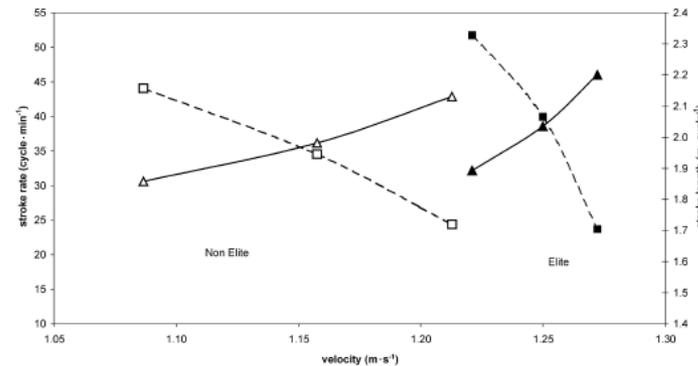


Fig. 2 Stroke rate and stroke length in female swimmers according to swim paces. Square corresponds to stroke rate, triangle corresponds to stroke length.

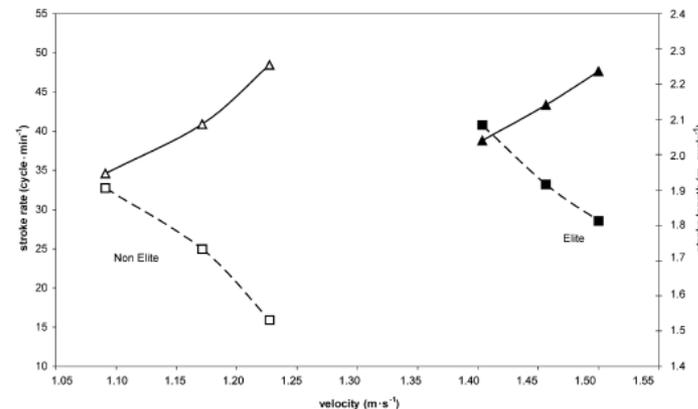


Fig. 3 Stroke rate and stroke length in male swimmers according to swim paces. Square corresponds to stroke rate, triangle corresponds to stroke length.

Biomechanik des Brustschwimmens

Der Armzug

Das Beste, was ein Brustschwimmer tun kann, ist, geduldig zu sein bei der Einleitung des Armzugs und der Ausführung der Atmung. Ein Schwimmer muss darauf vertrauen, dass das Warten auf den Armzug und das späte Einatmen entscheidend sind um die Gesamtgeschwindigkeit zu halten. Wenn ein Schwimmer nach sofortigem Vortrieb strebt und versucht, den Antrieb durch das Ausrichten der Fingerspitzen auf den Beckenboden und die Ellbogen zu früh hochhält und das Wasser mit den Handflächen und Unterarmen gerade nach hinten drückt, wird in der ersten Teil der Armaktion stärker sein. Aber dieser Ansatz der Technik, obwohl er häufig gelehrt wird, ist aber im Großen und Ganzen viel weniger effizient.



Koordination zwischen den Gliedmaßen beim Schwimmen: Einfluss von Geschwindigkeit und Leistungsniveau

Das Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen der Schwimmgeschwindigkeit und des Leistungsniveaus auf die Koordination zwischen den Gliedmaßen und ihre intrazyklische Variabilität zu untersuchen. Das relative Verhältnis der Ellbogen-Knie-Phase (CRP) wurde als Ordnungsparameter verwendet, um die Kopplung der oberen und unteren Gliedmaßen während eines kompletten Brustschwimmzyklus zu analysieren. Zwölf Freizeit- und 12 Wettkampfschwimmerinnen schwammen 25 m bei langsamer Geschwindigkeit und 25 m bei maximaler Geschwindigkeit. (Bestzeit 50 m: Freizeitgruppe: $52,05 \pm 6,70$ s; Wettkampfgruppe: $37,77 \pm 2,90$ s)

Table 1

Effect of skill level and swim speed on the stroking parameters, $p < .05$; M: mean, SD: standard deviation.

Group	Swim speed	Velocity (m s^{-1})		Stroke rate (stroke min^{-1})		Stroke length (m stroke^{-1})	
		M	SD	M	SD	M	SD
Recreational	Slow	0.78	0.10	33.1	5.4	1.44	0.22
	Maximal	1.03	0.10	45.6	8.7	1.38	0.18
Competitive	Slow	1.04	0.08	34.4	4.3	1.85	0.26
	Maximal	1.26	0.09	48.4	4.6	1.58	0.20
Statistics	Group effect	$F(1,33) = 78.23; \eta^2 = .41$				$F(1,33) = 22.27; \eta^2 = .29$	
	Speed effect	$F(1,33) = 68.05; \eta^2 = .36$		$F(1,33) = 55.40; \eta^2 = .53$		$F(1,33) = 7.71; \eta^2 = .12$	

Koordination zwischen den Gliedmaßen beim Schwimmen: Einfluss von Geschwindigkeit und Leistungsniveau

Die Leistungsschwimmer wiesen eine größere intrazyklische Ellenbogen-Knie-Variabilität auf, was auf eine Kombination aus intermediärer Phase und phasengleicher Knie-Ellbogen-Kopplung innerhalb eines Zyklus hindeutet. Dieses Merkmal war bei langsamer Geschwindigkeit ausgeprägter, da mehr Zeit in der Gleitphase des Schlagzyklus verbracht wurde, wobei der Körper vollständig gestreckt war. Umgekehrt zeigten die Freizeitschwimmer aufgrund der geringeren Gleitzeit eine geringere intrazyklische Ellenbogen-Knie-Variabilität, was zu einer Überlagerung widersprüchlicher Aktionen führt.

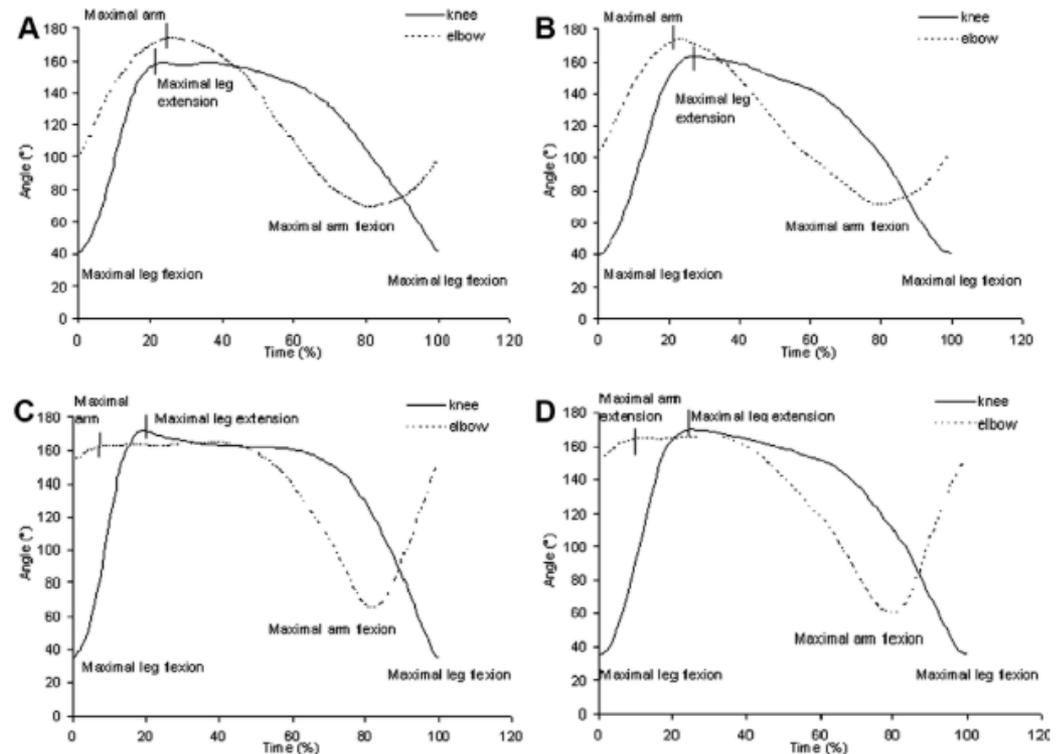
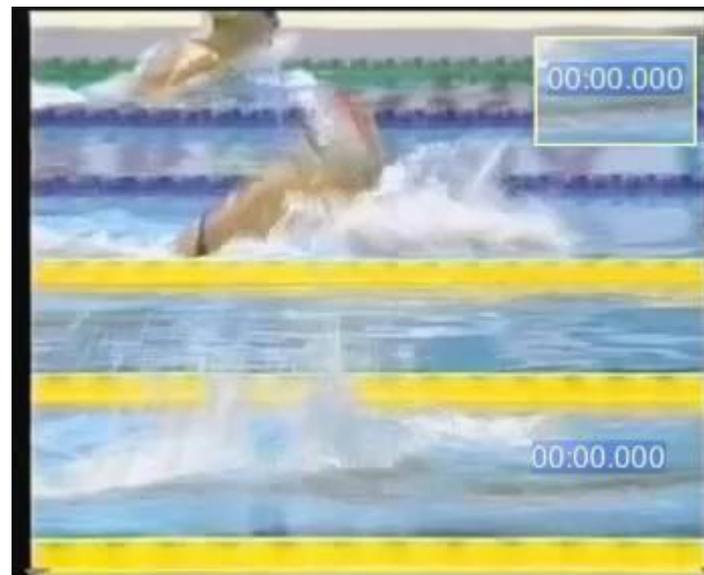


Fig. 3. Variations of the elbow and knee angles through a complete cycle: 3A: slow speed for the recreational group, 3B: maximal speed for the recreational group, 3C: slow speed for the competitive group, 3D: maximal speed for the competitive group.

Biomechanik des Brustschwimmens

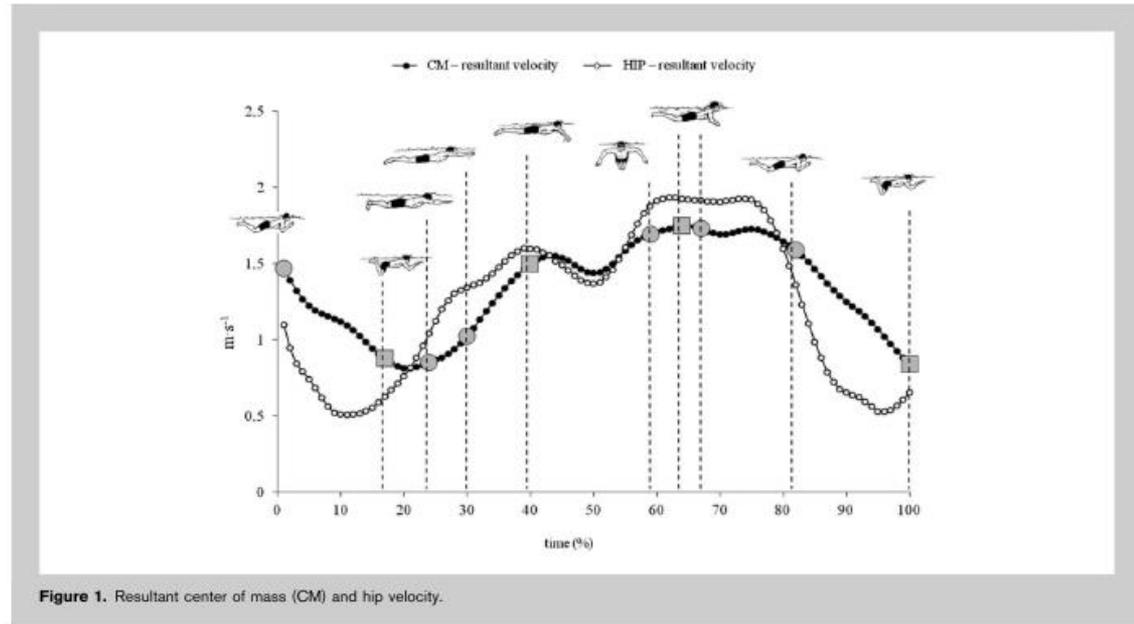
Die Atmung

Vielen Schwimmern und Trainern hilft dieser Hinweis, sich darauf zu konzentrieren den Körper in der Vorwärtsbewegung zu halten, während sich der Oberkörper für den Atem anhebt. Das allgemeine Konzept, die Hüfte nach vorne zu ziehen, leitet sich aus der Einwärtsbewegung des Armzuges ab, bei dem der Schwimmer die Arme im Wasser verankert, so dass sich die Hüften und der Körper zu den Händen hin bewegen.



Intrazyklische Geschwindigkeitsvariation des Massenschwerpunkts und der Hüfte beim Brustschwimmen mit maximaler Intensität

Ziel der Studie war der Vergleich der intrazyklischen Geschwindigkeitsvariationen des Massenschwerpunkts (CM) und der Hüfte (HIP) beim Brustschwimmen mit Hilfe einer 3-dimensionalen kinematischen Analyse. Neun männliche Brustschwimmer mit moderatem Leistungsniveau schwammen 25m Brustschwimmen mit maximaler Intensität, und ihre Bewegungen wurden sowohl unter als auch über der Wasseroberfläche mit 8 Digitalkameras aufgezeichnet.



Sowohl in den CM- als auch in den HIP-Geschwindigkeits-Zeit-Kurven zeigten die Ergebnisse ein ähnliches Muster mit zwei deutlichen Spitzen, die mit der Bein- und Arm-Vortriebsphase verbunden waren, und zwei minimalen Geschwindigkeiten, die der Arm- und Bein-Erholungsphase bzw. der Verzögerungszeit zwischen der Bein- und Arm-Vortriebsphase entsprachen. Folglich überschätzt die intrazyklische HIP-Schwimmgeschwindigkeitsschwankung die tatsächliche Schwankung der Geschwindigkeit des Schwimmers beim Brustschwimmen erheblich.

Biomechanik des Brustschwimmens

Übergang zur Erholung

Ein Schlüssel für einen guten Übergang in die Gleitphase ist, dass die Hände nicht über die vertikale Ebene der Schultern ziehen. Wenn Sie die Hände vor dem Körper halten, ist sichergestellt, dass der Übergang zur Vorwärtsbewegung fließend und effizient ist. Ein weiteres Zurückziehen der Hände nach hinten führt für den Schwimmer vielleicht zu ein wenig mehr Vortrieb aus den Armen, aber das verlangsamt den Übergang, macht den Raum weniger effektiv und kann dazu führen, dass sich der Oberkörper zu hoch anhebt.



- Rückführphase nahe an der Wasseroberfläche,
- max. schnell Widerstandsarm → Spannung halten,
- Hände zusammen
- Kopf am Ende der Armstreckung zw. Armen Ende Rückführphase Arme = Beginn Antrieb Beine

Muskelkoordination beim Brustschwimmen: Vergleich zwischen Eliteschwimmern und Anfängern

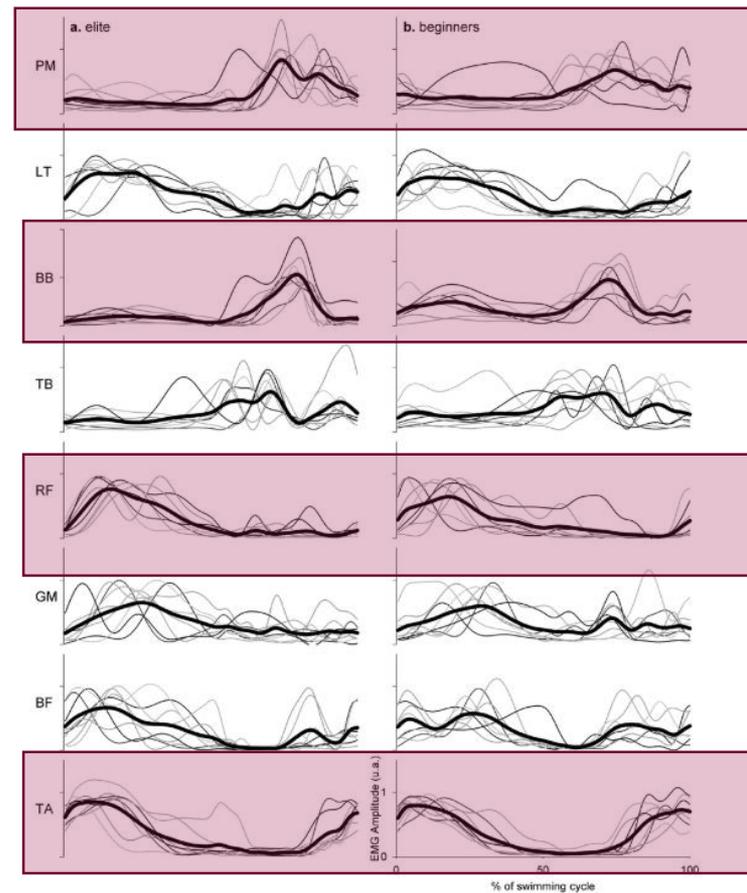
Ziel der vorliegenden Studie war es, die Muskelkoordinationsstrategien der Muskeln der oberen und unteren Gliedmaßen zwischen Anfängern und Eliteschwimmern im Brustschwimmen zu vergleichen. Die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) von acht Muskeln wurde bei 16 Schwimmern (8 Elite, 8 Anfänger) während eines 25 m langen Brustschwimmens bei 100 % der maximalen Anstrengung aufgezeichnet. Ein Dekompositionsalgorithmus wurde verwendet, um die Muskelsynergien zu identifizieren, die die zeitliche und räumliche Organisation der Muskelkoordination darstellen. Zwischen den Gruppen wurden Ähnlichkeitsindizes und Verzögerungszeiten berechnet.

	Between-group similarity (r_{max})	Lag time %	p -value	Cohen's d -value
Individual EMG				
Pectoralis major	0.76 ± 0.17	-6.3 ± 18.5	0.011	0.34
Lower trapezius	0.69 ± 0.15	2.1 ± 15.4	0.699	0.14
Biceps brachii	0.71 ± 0.20	-13.2 ± 21.8	0.000	0.61
Triceps brachii	0.61 ± 0.15	-1.0 ± 21.0	0.944	0.08
Rectus femoris	0.84 ± 0.11	-3.9 ± 9.7	0.002	0.40
Gastrocnemius medialis	0.67 ± 0.16	3.9 ± 16.6	0.065	0.23
Biceps femoris	0.63 ± 0.15	0.2 ± 22.3	0.578	0.01
Tibialis anterior	0.79 ± 0.13	-3.8 ± 5.8	0.000	0.66
Synergy Activation Coefficients (C)				
#1	0.88 ± 0.09	-0.8 ± 9.0	0.463	0.09
#2	0.84 ± 0.12	-8.4 ± 14.5	0.000	0.58
#3	0.63 ± 0.13	3.4 ± 33.0	0.411	0.10

bold values represents significantly differences from zero;

Muskelkoordination beim Brustschwimmen: Vergleich zwischen Eliteschwimmern und Anfängern

Signifikante Unterschiede wurden in Bezug auf die Verzögerungszeit für den Pectoralis major ($P < 0,05$), den Biceps brachii, den Rectus femoris und den Tibialis anterior ($P < 0,01$) festgestellt, was auf eine frühere Aktivierung dieser Muskeln bei Anfängern im Vergleich zu Elitesportlern hindeutet (Bereich: -13,2 bis -3,8 % des Schwimmzyklus). Diese zeitliche Verschiebung deutet auf Unterschiede in der globalen Arm-Bein-Koordination hin. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die synergistische Organisation der Muskelkoordination beim Brustschwimmen durch die Erfahrung nicht wesentlich beeinflusst wird. Es wurden jedoch spezifische zeitliche Anpassungen zwischen den unteren und oberen Gliedmaßen beobachtet.

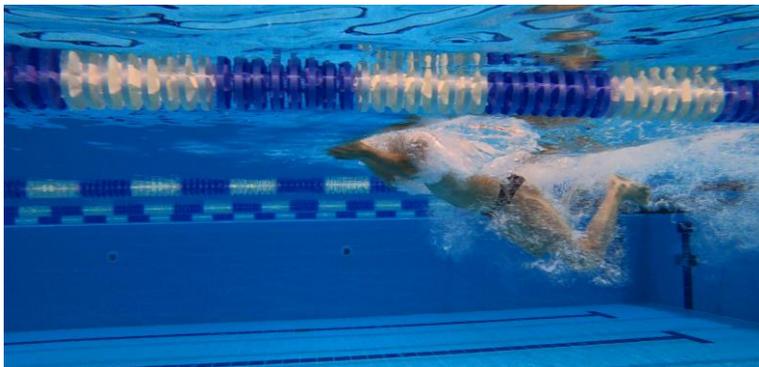


Biomechanik des Brustschwimmens

Die Beinaktion

Theorie: „kick your hands forward“

Der Grundgedanke hinter dieser Lehre ist, dass die durch den Abstoß erzeugte Kraft der Vorwärtsbewegung der Hände entgegenwirkt und somit ein Wechsel aus Arm- und Beinantrieb möglich wird.



Die Beinaktion

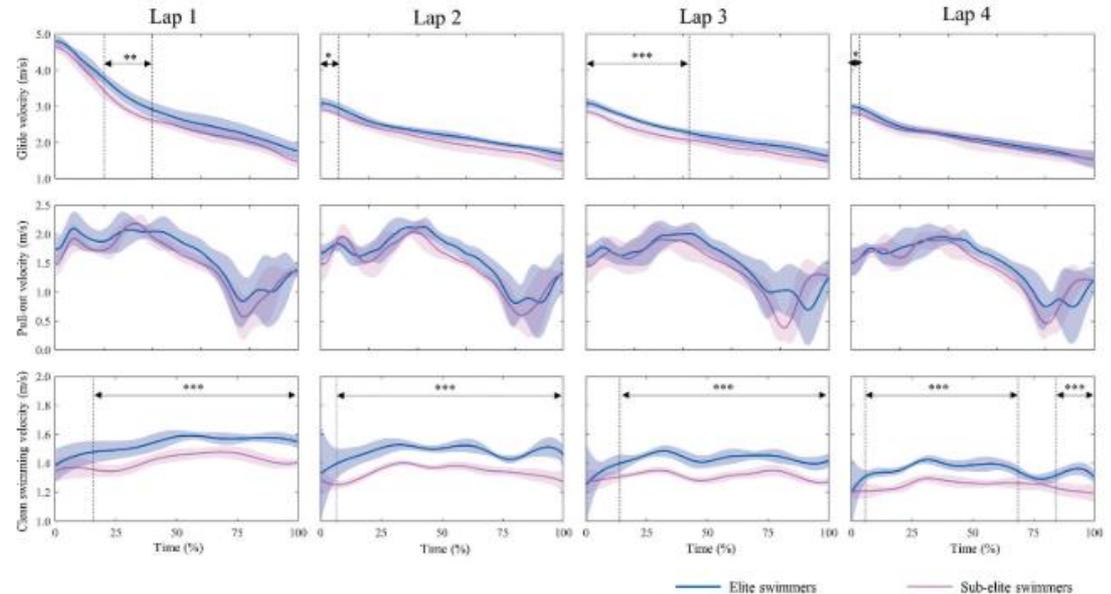
Praxis: „kick your hands forward“

In der Realität beugen sich die erst Knie am Ende des Einwärtsschwungs der Hände. Einige Elite-Brustschwimmer beugen die Knie erst, wenn sich die Arme zu Beginn der Erholung nach vorne bewegen.



Unterschiede zwischen Elite- und Sub-Elite-Schwimmern im 100-m-Brustschwimmen: Ein neuer Ansatz zur Rennanalyse mit Zeitserien-Geschwindigkeitsdaten.

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Unterschiede zwischen Elite- und Sub-Elite-Schwimmern bei einem 100-m-Brustschwimmen zu untersuchen. Männliche Elite- und Sub-Elite-Schwimmer (jeweils sieben; $772,1 \pm 35,2$ bzw. $610,6 \pm 24,7$ FINA-Punkte) absolvierten 100 m Brustschwimmen, das mit einem Multikamerasystem aufgezeichnet wurde, das die Durchschnitts- und Zeitserien-Geschwindigkeitsdaten in sämtlichen Segmenten lieferte.

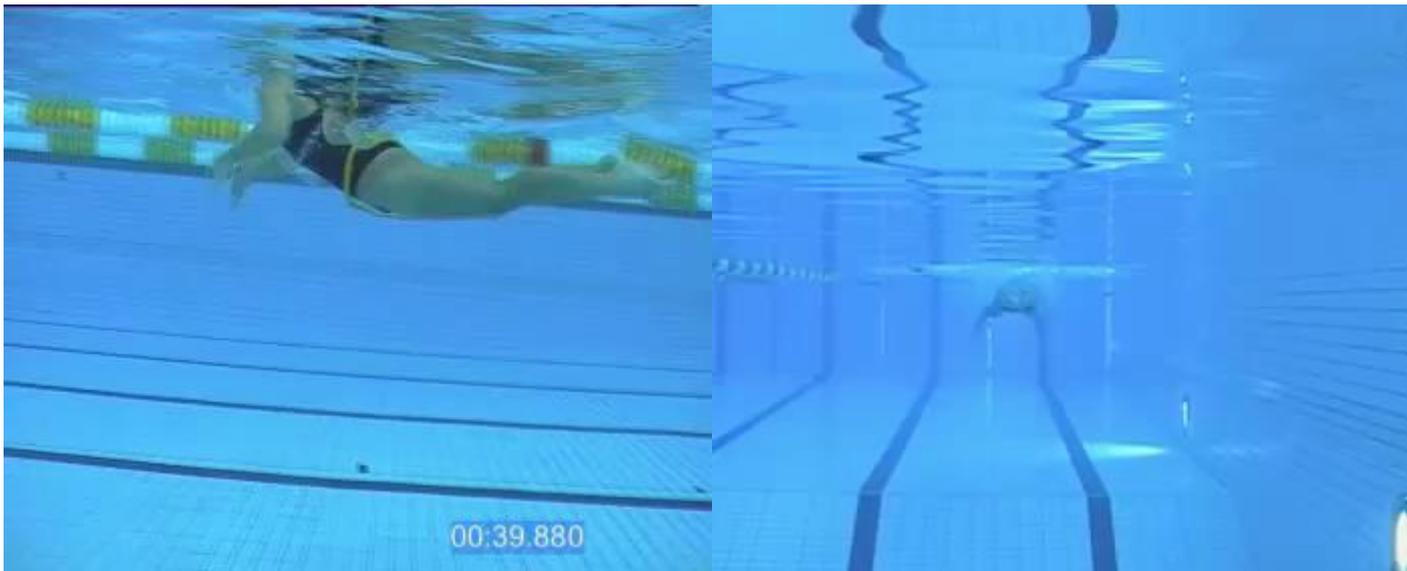


Die Eliteschwimmer zeigten eine höhere mittlere Geschwindigkeit beim reinen Schwimmen (in allen Streckenabschnitten; 7-11 % Unterschied) und beim Gleiten (in der 2. und 3. Runde; etwa 13 % Unterschied) aufwiesen. Die Zeitseriendaten zeigten, dass die Eliteschwimmer während des ersten Teils (bis zu 40 % der Zeit) des Gleitsegments eine höhere Geschwindigkeit aufwiesen als die Schwimmer der Subelitegruppe ($p < 0,05$). Im Segment des sauberen Schwimmens wurden Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt ($p < 0,001$), abgesehen von den ersten 5-15 % der Zeit des Segments.

Biomechanik des Brustschwimmens

Die Beinaktion

- Kick ist rückwärts-abwärts gerichtet -> Abwärtsteil sorgt für hohe Wasserlage (neben Rückführung Arme)
- Beine nach Kick in den Strömungsschatten des Körpers!
- Teilweise (sehr) geringe Beinamplitude -> kurze Bremsphase, hohe Frequenz (*50/100m*)
- Beim Koordinationsproblem Arme-Beine: schnelleres Anfersen!



Schwimmgeschwindigkeit des Beinkicks im Schwimmen

Der Brustbeinaktion ist für einen erheblichen Teil des Vorwärtsantriebs beim Brustschwimmen verantwortlich. Ziel dieser Studie war es, ausgewählte anthropometrische Variablen und funktionelle Eigenschaften des Körpers eines Schwimmers zu messen: Länge der Körperteile, funktioneller Bewegungsumfang der Beingelenke und anaerobe Leistung der unteren Gliedmaßen. In der vorliegenden Untersuchung hing die Schwimmgeschwindigkeit beim Brustschwimmen am stärksten von:

1. der anaeroben Ausdauer ab (0,46, $p < 0,05$ partielle Korrelationen mit der Alterskontrolle)
2. die Knieaußenrotation (beide partielle Korrelationen mit der Alterskontrolle 0,35, $p < 0,08$)
3. der Schwimmtechnikindex einen Einfluss (beide partielle Korrelationen mit der Alterskontrolle 0,35, $p < 0,08$)

auf die Schwimmgeschwindigkeit und die Stoßlänge (beide partielle Korrelationen mit der Alterskontrolle 0,35, $p < 0,08$). Die vorliegenden Untersuchungen und Messungen ausgewählter Körpereigenschaften, der körperlichen Ausdauer und der kinematischen Bewegungsanalyse können helfen, das Talent eines Athleten für das Brustschwimmen genau zu bestimmen.

Leistungsentwicklung des Schmetterlingsschwimmen

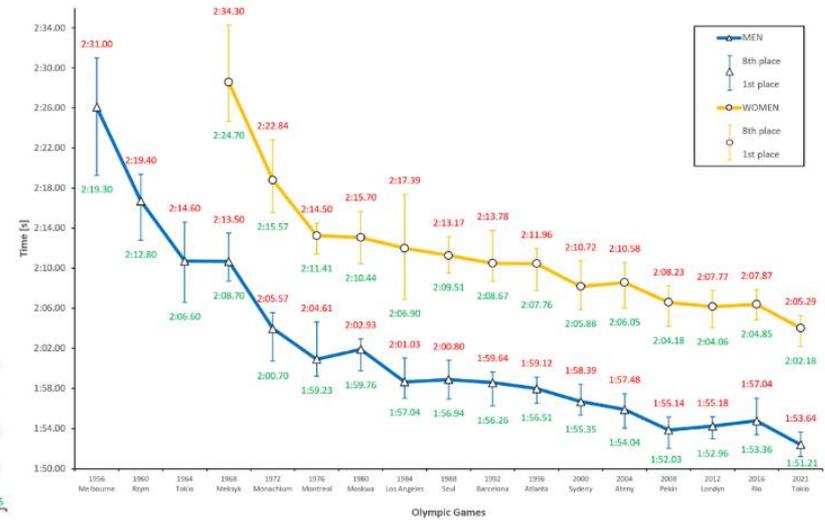
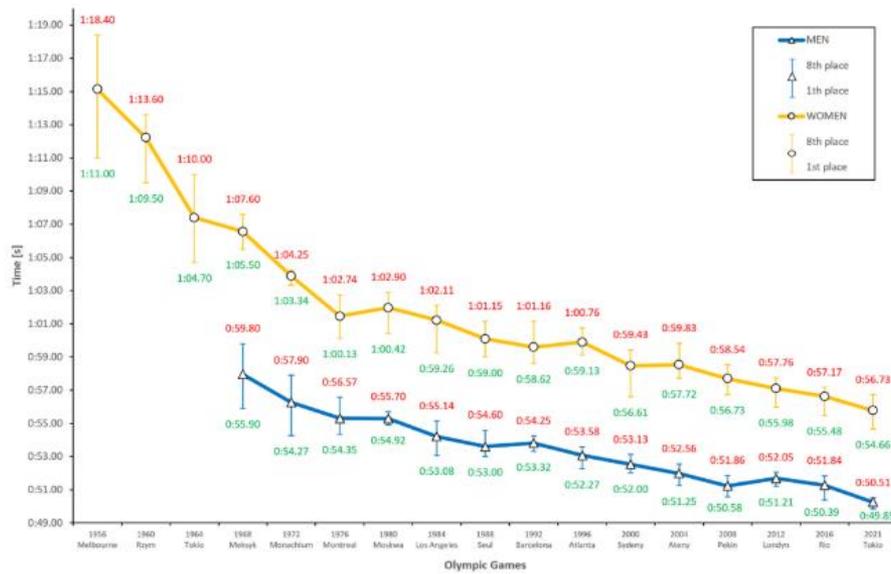


Figure 4. Men's and women's 200 m butterfly results during the last 16 Olympic Games and prediction for Tokyo 2021.

Holub, M., Stanula, A., Baron, J., Glyk, W., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). Predicting Breaststroke and Butterfly Stroke Results in Swimming Based on Olympics History. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126621>

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

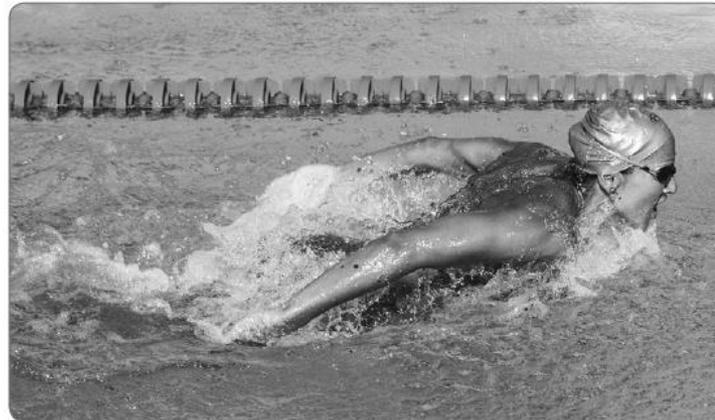
Der Körper bewegt sich auf- und abwärts, anstatt sich um die Längsachse zu drehen wie beim Kraulen und Rückenschwimmen. Daher wird Schmetterling als ein wellenförmiger Schwimmstil bezeichnet. Beim Kraulen und Rückenschwimmen ist das Timing der Arm- und Beinbewegungen mit dem Timing an die Rollbewegungen des Körpers gebunden. Beim Schmetterling ist der Abstoß (Kick) mit den vertikalen Schwingungen der Körperteile verbunden (Sanders 2011). Beim Beobachten eines guten Schmetterlingsschwimmer, scheint sich eine Welle durch den Körpers zu laufen (Sanders, Cappaert, und Devlin 1995).

So wie die Körperrolle den Rhythmus beim Kraulen und Rückenschwimmen vorgibt, steuert die Welle, die sich am Körper entlang bewegt, den Rhythmus beim Schmetterlingsschwimmenden und beeinflusst das Timing der Arm- und Beinbewegungen.

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die Erholungsphase

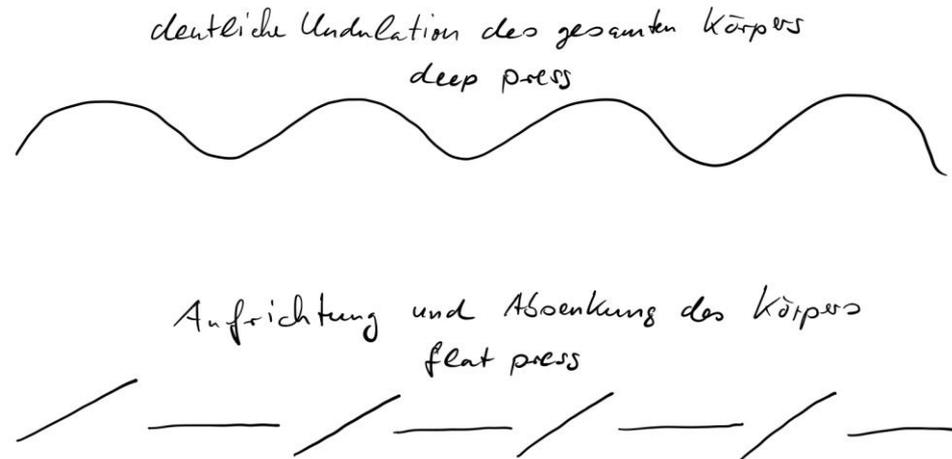
Im Moment des Verlassens der Hände des Wassers ist der Körper mit mechanischer Energie geladen. Er hat eine hohe kinetische Energie, da er sich nach Abschluss des Unterwasserzuges in Kombination mit einem Kick schnell die höchste intrazyklische Geschwindigkeit erzielt. Der Körper verfügt ebenfalls auch über potenzielle Energie, da der Kopf und Teile des Oberkörpers angehoben wurden. Ein guter Schmetterlingsschwimmer ist in der Lage, diese potenzielle Energie zu nutzen, um die nächste Körperwelle zu erzeugen, die ihrerseits zum Vortrieb aus dem zweiten Beinkick beiträgt.



Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

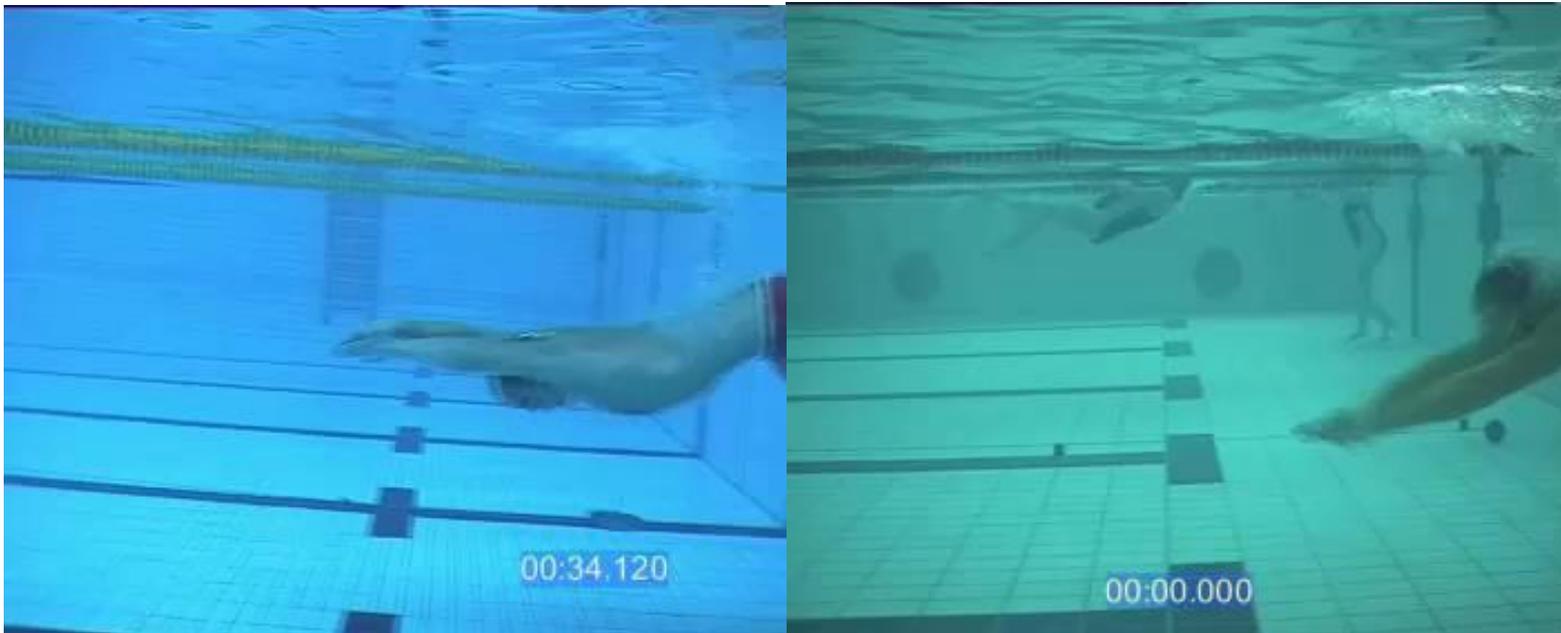
Die Eintauchphase

Bei der Annäherung an das Eintauchen der Hände wird der Oberkörper durch die Vorwärtsrotation in Verbindung mit der Wirkung der Schwerkraft den Oberkörper nach unten rotieren. Dabei müssen die Ellbogen hoch genug sein und die Arme weit genug vorne, um zu vermeiden, dass das Wasser mitgerissen wird. Die Innenrotation der Schultern hilft dabei, dies zu erreichen. Die Anweisung zur Erzielung der erforderlichen Innenrotation besteht einfach darin, die Hände so zu drehen, dass die Daumen nach unten zum Beckenboden zeigen.



Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die Eintauchphase



Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die Eintauchphase



- Sehr ausgeprägte Schultermobilität notwendig
- Große Frontalfläche = großer Widerstand
- Weiter Weg aufwärts/abwärts -> weniger nach vorne gerichtet

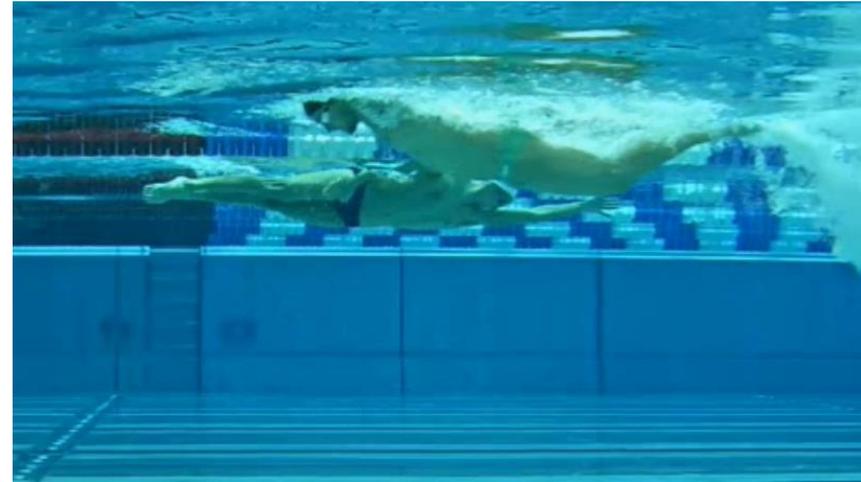


- Geringere Frontalfläche = geringerer Widerstand
- Mehr nach vorne gerichtet (weniger Vertikalbewegung)
- Geringe Abwärtsbewegung

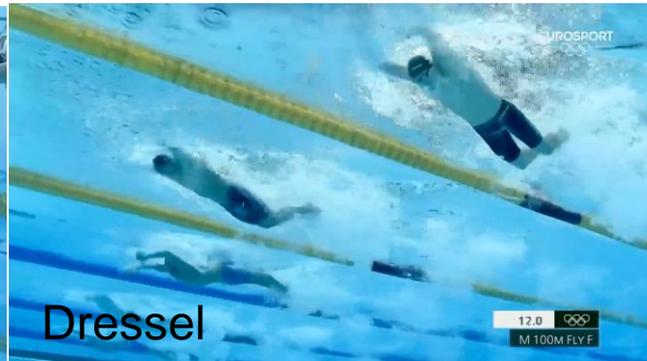
Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die Eintauchphase

- Eintauchen der Arme zeitgleich mit Abwärtskick
- „kick the hands forward“
- Kopf & Brustkorb nicht nach unten drücken -> neutrale Position; Kopf auf Höhe des Rumpfes
- So wenig Kopfbewegung wie möglich, so viel wie nötig
- Kinn nicht Richtung Brustbein ziehen (Kein „Doppelkinn“)
- - „Rücken bleibt frei von Wasser“



Milak

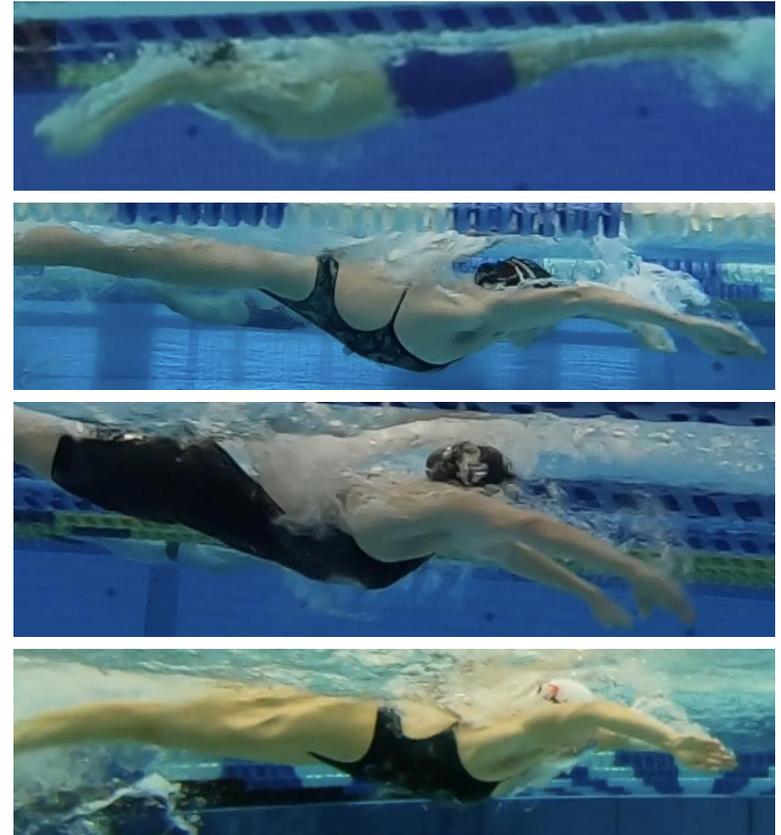


Dressel

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die Zugphase

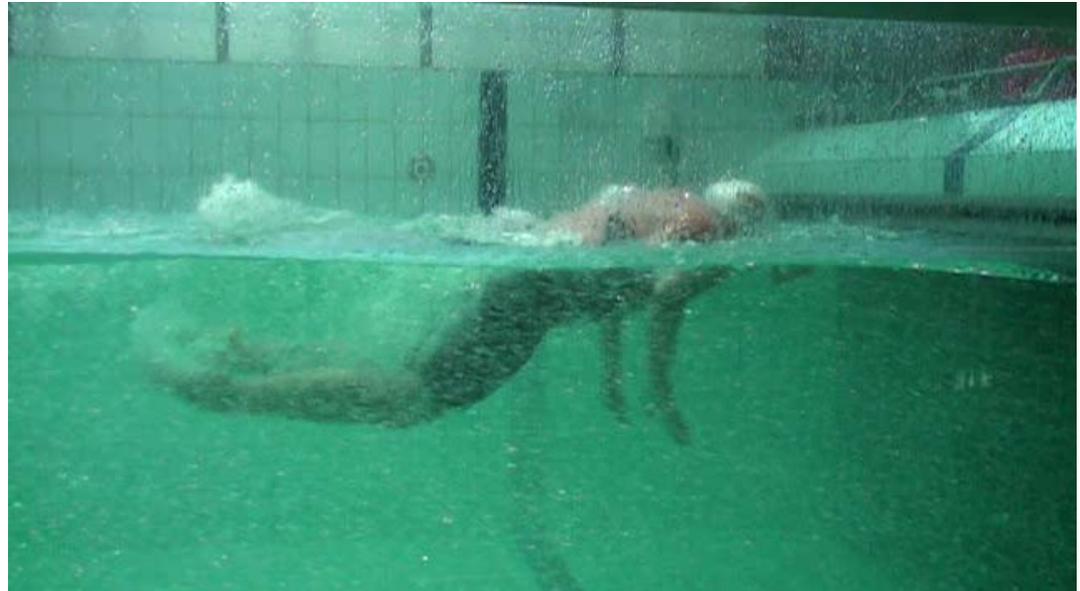
Beginn des Auswärtsbewegung, die so genannt wird, weil die Arme nicht nach hinten, sondern nach außen gestreckt werden, der Rumpf ist nach unten angewinkelt die Hüften sind angehoben, und die Beine befinden sich nahe der Oberfläche. Wenn es dem Schwimmer gelungen ist, die Auswärtsbewegung der Arme, Unterarme und Hände abzuschließen, kann in die Einwärtsbewegung übergegangen werden. Ein häufiger Fehler bei Anfängern im Schmetterlingsschwimmen ist die Fortsetzung der Abwärtsbewegung der oberen Gliedmaßen in einen Rückwärtszug fortzusetzen, anstatt sie nach außen zu führen. Dadurch wird der Rhythmus gestört.



Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

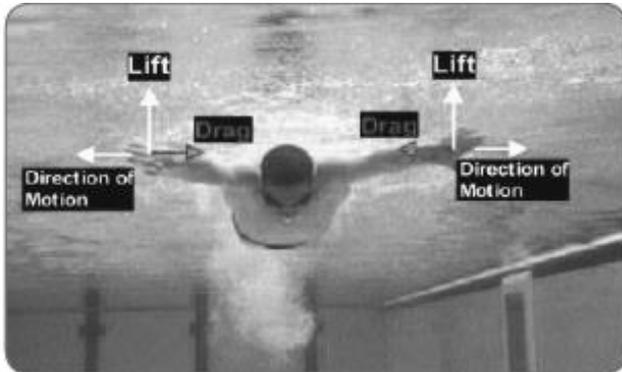
Die Zugphase

- Beugung im Ellenbogengelenk -> vertical forearm -> vertical hand (Fingerspitzen zeigen zum Beckenboden)
- Vorwärtsbewegung -> Wasser in Richtung der Füße bewegen -> Handflächen möglichst nach hinten (in Richtung Füße) gerichtet
- Starke Vertikalbewegung Rumpf = häufig ausgeprägte Abwärtsbewegung der Hände um Rumpf anzuheben
- „Pushing water back with palms“

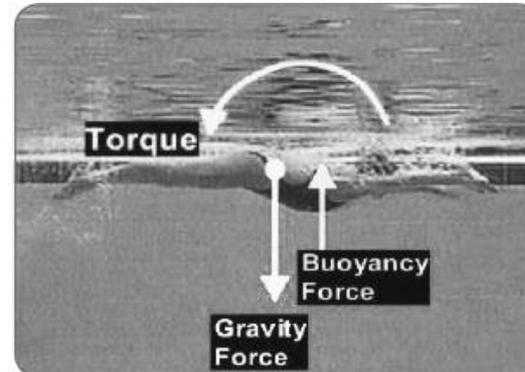


Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die Zugphase



Schulter-Innenrotation und Handorientierung in der Ausholphase beim Schmetterlingsschwimmen. Wenn die Hände nach außen schwingen wird eine Auftriebskraft erzeugt, die die Abwärtsbewegung des Oberkörpers umkehrt!



Während der Ausweichphase wird die Auftriebskraft vor den Masseschwerpunkt verlagert, was zu einer umgekehrten Drehwirkung (Drehmoment), d.h. die Wellenbewegung wechselt von einer Vorwärts- zu einer Rückwärtsdrehung.

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Unterschiede in der Armaktion von geübten Schwimmern bei der Ausübung des Handantriebs zwischen der Freistil- und der Schmetterlingstechnik

Die Armbewegung des Kraulschwimmens besteht aus einer Eintauchphase, einer Abwärtsbewegung, einer Einwärtsbewegung, einer Aufwärtsbewegung und einer Erholungsphase, während die Armbewegung des Schmetterlings aus einer Eintauchphase, einer Auswärtsbewegung, einer Einwärtsbewegung, einer Aufwärtsbewegung und einer Erholungsphase besteht (Maglischo 1993). Beide Schwimmzüge, der Kraul- und der Schmetterlingsschwimmzug, haben eine Eintauch- und eine Auftauchphase, die bei beiden Schwimmzügen die wichtigsten Antriebsphasen darstellen. Der Freistilaktion ist der schnellste der vier Wettkampfschwimmarten, die Schmetterlingsaktion die zweitschnellste Schwimmart. Ein guter Kraulschwimmer scheint also auch ein guter Schmetterlingsschwimmer zu sein. Die Schlagtechnik für den Handantrieb beim Kraulschwimmen unterscheidet sich jedoch von der beim Schmetterling, da beim Schmetterling der Rumpf wellenförmig bewegt wird.

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Unterschiede in der Armaktion von geübten Schwimmern bei der Ausübung des Handantriebs zwischen der Freistil- und der Schmetterlingstechnik

Table 2. Propulsion, propulsive drag and lift exerted by the hand in the front crawl stroke and the butterfly

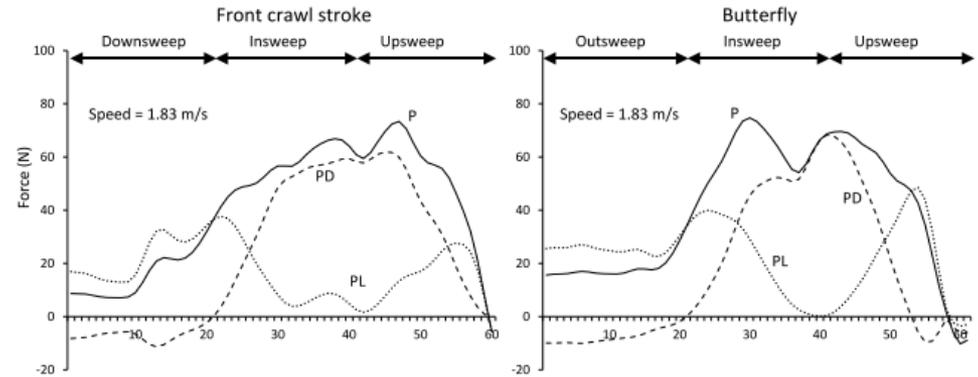
	Front crawl stroke					Butterfly				
	R	P	PD	PL	PD/PL	R	P	PD	PL	PD/PL
Insweep	53 (14)	46 (9)	31 (8)	15 (4)	2.1	61 (22)	56 (20)	31 (9)	24 (11)	1.3
Upsweep	57 (23)	39 (16)	22 (13)	17 (9)	1.3	55 (11)	39 (11)	21 (4)	18 (6)	1.2

Values are mean (standard deviation). R: resultant force exerted by the hand (N), P: propulsion exerted by the hand (N), PD: propulsive drag exerted by the hand (N), PL: propulsive lift exerted by the hand (N).

Table 3. Hand velocities and angle of attack in the front crawl stroke and the butterfly

	Front crawl stroke			Butterfly		
	Vx	Vyz	α	Vx	Vyz	α
Insweep	1.41 (0.18)	1.46 (0.16)	60 (3)	1.21 (0.20)	1.61 (0.24)	46 (9)
Upsweep	1.24 (0.23)	2.16 (0.23)	39 (16)	1.66 (0.19)	2.40 (0.21)	33 (6)

Values are mean (standard deviation). |Vx|: magnitude of hand velocity in the x-axis (m/s), |Vyz|: magnitude of hand velocity in the yz-plane (m/s), α : angle of attack (°).



Der Ansatz des dynamischen Drucks wurde entwickelt, um den von einem Schwimmer ausgeübten Handantrieb zu quantifizieren (Kudo & Lee 2010; Kudo, Miwa & Sakurai 2013). Der Ansatz des dynamischen Drucks liefert auch Informationen über den Widerstand und den Auftrieb des Handantriebs. Durch die Quantifizierung des Handantriebs aufgrund von Widerstands- und Auftriebskräften, der Handverschiebung, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung können wir die Details der Handantriebstechnik analysieren. Ziel dieser Studie war es daher zu untersuchen, ob sich die Handantriebstechnik beim Kraulschwimmen von der beim Schmetterlingsschwimmen unterscheidet, indem der dynamische Druckansatz verwendet wird.

Kudo, S., Miwa, T., & Sakurai, Y. (2014). Differences in stroke technique of skilled swimmers to exert hand propulsion between the front stroke and the butterfly. *Biomechanics and Medicine in Swimming XII*. Canberra, 163–168.

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die erste Druckphase - Einwärtsphase

Der Butterfly-Einwärtsdruckphase ähnelt der Front-Crawl-Aktion in folgenden Punkten: die Beugung des Ellbogens und die Kombination von Schulter-Innenrotation, horizontaler Adduktion und Streckung, um eine hohe Handgeschwindigkeit und damit eine hohe Kraft zu erzielen.



Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die erste Druckphase - Einwärtsphase



Vorteile:

1. Eine längere Strecke (Weg) der Hände als wenn diese gerade nach hinten bewegt werden!
2. Die Hände führen Richtungswechsel während des Unterwasserzuges, was es ihnen ermöglicht Wasser zu finden, anstatt die gleiche (beschleunigte) Wassersäule zu schieben (Maglischo 2003)!
3. Am Ende des Eintauchens sind die Ellbogen teilweise gebeugt und die Schultern befinden sich in einer mittleren Position. Dadurch wird das Hebelsystem so eingestellt, dass große Kräfte durch eine Kombination aus Schulter-Innenrotation, Schulterextension und Ellbogenstreckung erzeugt werden können!
4. Die Hände können sich in der Auswärtsbewegung die Kickbewegung unterstützen durch eine erneute Verlagerung des Körperschwerpunktpendels um die Breitenachse!

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

Die zweite Druckphase – Rückwärtsschub

Ein starker Rückwärtsschub, der auch die Hände an die Oberfläche bringt, findet durch einen Übergang von der Innenrotation zu einem Rückwärtsstoß statt, bei dem Ellenbogenstreckung, Schulterstreckung und Schulterabduktion im Vordergrund stehen. Diese Aktion ist schnell und stark, und die Hände beschleunigen permanent (Maglischo 2003). Doch anders als beim Kraulen vorwärts kann die Körperrolle die Aktion nicht unterstützen. Die Beibehaltung eines hohen Ellbogens während des gesamten Aufwärtsschwungs bis zum Loslassen und Ausstieg ist wichtig um das Wasser nach hinten und nicht nach oben zu drücken. Während des Rückwärtsschub erfolgt der Abwärtsschlag des zweiten Kicks. Dieser Tritt, in Kombination mit dem Aufwärtsschwung erzeugt er Vortrieb und hebt den Schwerpunkt der Masse. Die Hände bewegen sich auf natürliche Weise nach außen und runden die Erholungsphase ab.



Energieaufwand und intrazyklische Variation der Geschwindigkeit des Massenschwerpunkts beim Schmetterlingsschwimmen

Ziel dieser Studie war es, die Beziehung zwischen der Variation der horizontalen Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes innerhalb eines Zyklus und den Energiekosten beim Schmetterlingsschwimmen zu untersuchen. Fünf portugiesische Nationalschwimmer absolvierten ein maximales und zwei submaximale 200-m-Schmetterlingsschwimmen. Der Sauerstoffverbrauch wurde Atemzug für Atemzug mit einem tragbaren Stoffwechselwagen gemessen. Zur Messung der Lungenventilation und zur Entnahme von Atemluftproben wurden ein Atemschnorchel und ein Ventilsystem mit geringem hydrodynamischen Widerstand verwendet. Vor und nach jedem Schwimmen wurden Blutproben aus dem Ohrläppchen entnommen, um die Laktatkonzentration im Blut zu analysieren.

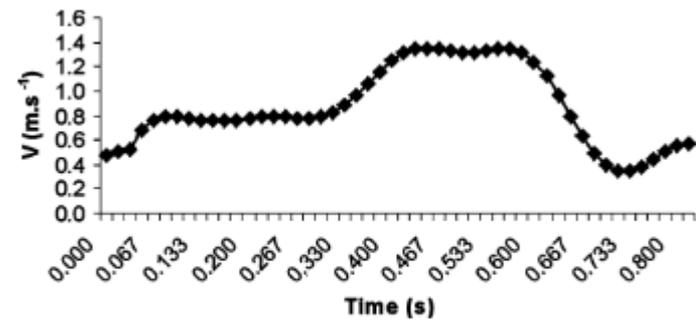


Fig. 2 The intra-cyclic fluctuation of the velocity of the centre of mass for one of the swimmers

Energieaufwand und intrazyklische Variation der Geschwindigkeit des Massenschwerpunkts beim Schmetterlingsschwimmen

Der Gesamtenergieverbrauch stieg linear mit zunehmendem Geschwindigkeit an, wobei ein signifikanter Korrelationskoeffizient zwischen diesen Parametern bestand ($r=0,827$, $P<0,001$). Der Anstieg der Energiekosten war signifikant mit dem Anstieg der Variation der Geschwindigkeit innerhalb eines Zyklus verbunden ($r=0,807$, $P<0,001$). Daraus wird geschlossen, dass eine hohe Variation der Geschwindigkeit des Massenschwerpunkts innerhalb eines Zyklus mit einem weniger effizienten Schwimmen zusammenhängt.

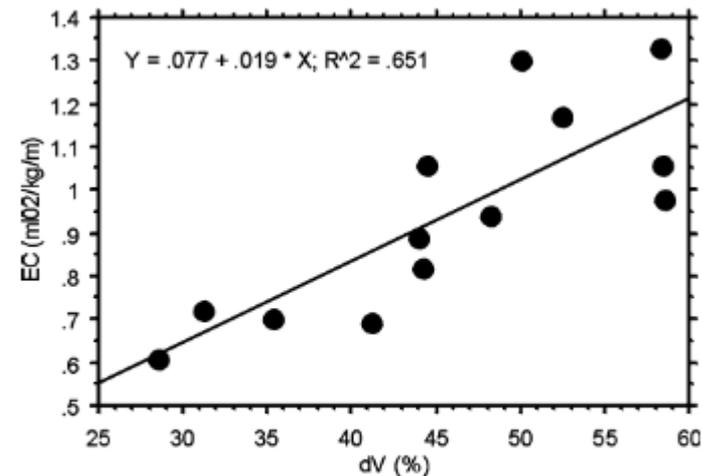


Fig. 4 Overall regression between the energy cost (EC) and the intracyclic variation of the horizontal displacement of the centre of mass (dV)

Biomechanik des Schmetterlingsschwimmen

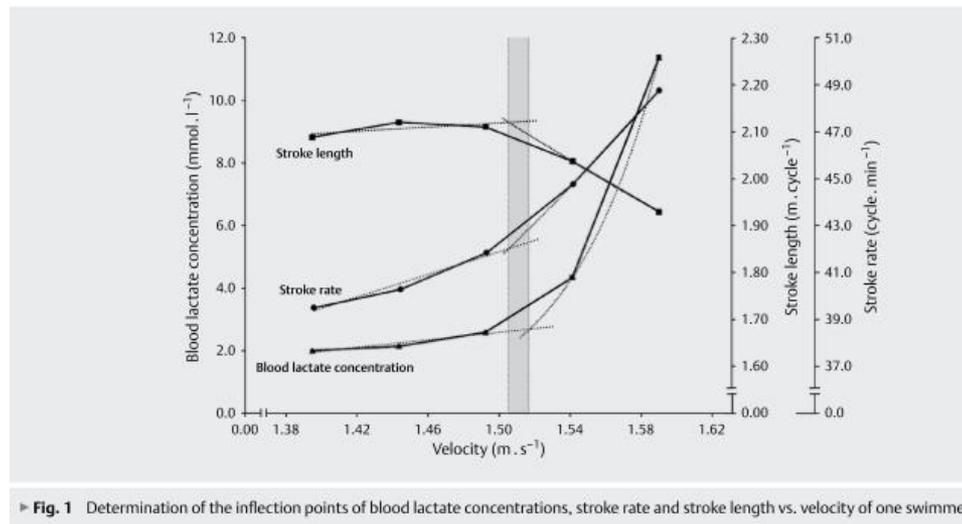
Die zweite Druckphase – Rückwärtsschub

- 2 Kicks: 1x beim Eintauchen der Arme & 1x am Ende der Druckphase der Arme
- häufig wird der zweite Kick (Ende Druckphase) vernachlässigt
- Für einen effektiven (2ten) Kick ist eine aktive Knieführung nach vorne-unten (Verringerung Hüftwinkel) notwendig
- Aktive Knieführung = Verkleinerung der Kniewinkels (90 Grad)



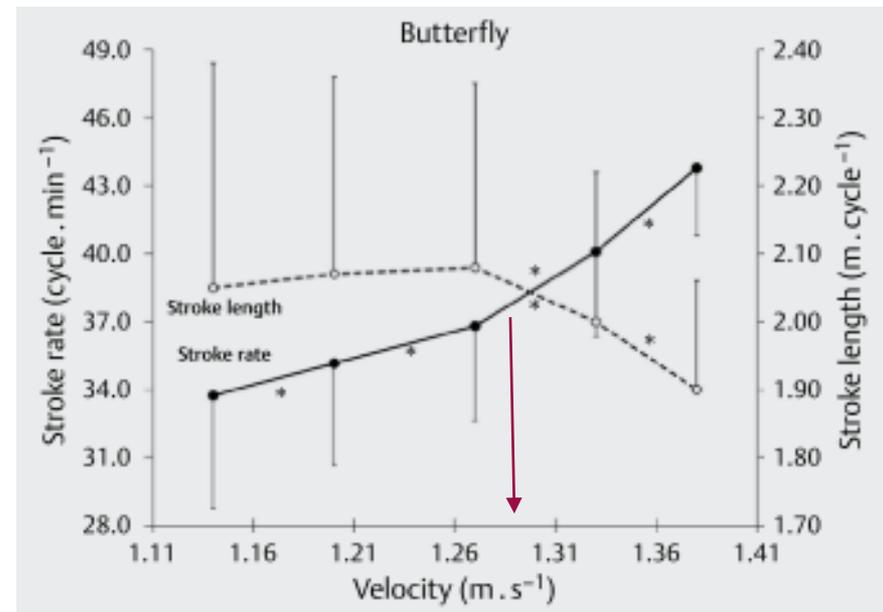
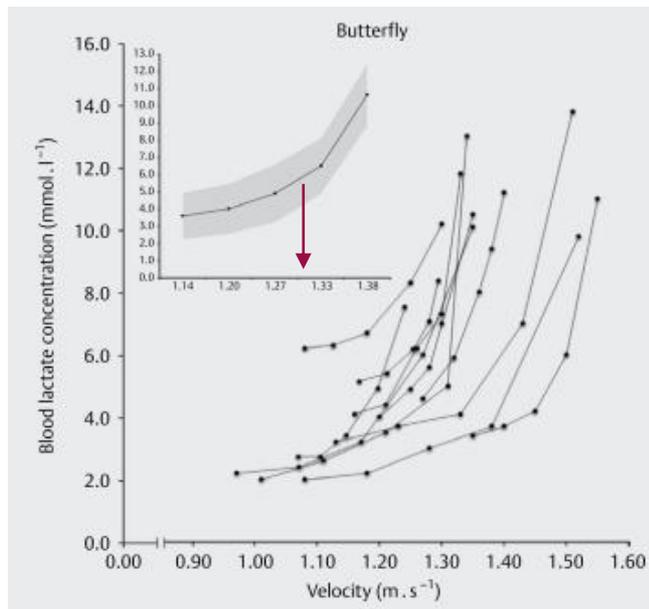
Die Anaerobe Schwelle als biophysikalische Charakterisierung der vier Schwimmtechniken

Die anaerobe Schwelle (AnT) scheint nicht nur eine physiologische Grenze zu sein, sondern auch ein Übergang, nach dem sich die Technik der Schwimmer ändert, wodurch sich ihr biomechanisches Verhalten verändert. Wir haben das AnT-Konzept zu einem biophysikalischen Konstrukt in den vier herkömmlichen Schwimmtechniken erweitert. Zweiundsiebzig Eliteschwimmer führten ein 5×200 m-Inkrementprotokoll in ihrer bevorzugten Schwimmtechnik durch (mit einer Steigerung von $0,05$ m/s und einem Intervall von 30 s zwischen den Schritten). Es wurden Kapillarblutproben aus der Fingerspitze entnommen und die Zugfrequenz (SR) und Zuglänge (SL) für die Bewertung der Geschwindigkeit bestimmt.



Die Anaerobe Schwelle als biophysikalische Charakterisierung der vier Schwimmtechniken

Die anaerobe Laktatschwelle betrug $4,5 \pm 1,4$ mmol/l (Mittelwert \pm SD) für das Schmetterlingschwimmen und die entsprechende Geschwindigkeit korrelierte in hohem Maße mit der Geschwindigkeit an den Wendepunkten von SR und SL ($r = 0,91-0,99$, $p < 0,001$). Die Übereinstimmungsanalysen bestätigten, dass die anaerobe Schwelle eine biophysikalische Grenze in den vier Wettkampfschwimmtechniken darstellt und individuell mit [La] und/oder SR/SL bestimmt werden kann.



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**