

Analyse der individuellen Leistungsentwicklung, Trainingsbelastung und -steuerung im Saisonverlauf im Schwimmen

(AZ 072013/20-21)

P. Wahl (Projektleitung), S. Keller

Deutsche Sporthochschule Köln, Abteilung Leistungsphysiologie;
Institut für Trainingswissenschaft & Sportinformatik,
Das Deutsche Forschungszentrum für Leistungssport

1 Einleitung

Die sportmotorische Leistung im Schwimmen ist determiniert durch ein komplexes Zusammenspiel metabolischer und mechanischer Faktoren (Zamparo et al., 2020). Um die individuelle Leistungsentwicklung im Hinblick auf die Trainingsgestaltung zu evaluieren und vor allem langfristig anhand definierter Manipulation der Belastungsnormative zu optimieren, bedarf es möglichst fein auflösender, disziplinspezifischer leistungsdiagnostischer Methoden.

Während im höchsten Kaderbereich spezifische und umfassende Leistungsdiagnostiken (im Schwimmkanal) zur Verfügung stehen, werden im Nachwuchsbereich nur bedingt umfangreiche und regelmäßige Diagnostiken durchgeführt. Im Rahmen eines vorhergehenden BISp-Forschungsprojektes konnten wir eine alternative Testbatterie etablieren, die eine zeiteffiziente Erfassung wesentlicher metabolischer Leistungsparameter ermöglicht und daher Athletinnen und Athleten umfassender charakterisieren kann (Keller et al., 2022). Diese neue Testbatterie erlaubt zudem eine physiologisch-basierte Einteilung der Intensitätsbereiche, anhand welcher die Trainingsbelastung gesteuert und erfasst und somit wertvolle Rückmeldungen über den resultierenden Fortschritt geliefert werden können.

Neben der metabolischen stellt auch die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit eine entscheidende Determinante der sportmotorischen Leistung im Schwimmen dar (Toussaint & Beek, 1992).

Während neuromuskuläre Eigenschaften der unteren Extremitäten besonders mit Start- und Wenden-Performance korrelieren (Calderbank et al., 2020; Keiner et al., 2019), wird der neuromuskulären Kapazität der oberen Extremitäten eine größere Bedeutung hinsichtlich des Vortriebs beim Kraulschwimmen zugeschrieben (Morais et al., 2020; Muniz-Pardos et al., 2020). Daher sollte die schwimmspezifische Testbatterie in diesem Serviceprojekt um neuromuskuläre Testungen an Land erweitert werden.

Eine umfassende Analyse der Entwicklung der genannten metabolischen und neuromuskulären Determinanten im Längsschnitt ist im Nachwuchsschwimmen bislang nicht vorgenommen worden. Während in einigen Studien schwerpunktmäßig die Entwicklung mechanischer Einflussfaktoren, wie z. B. Entwicklungsstand, Zuglänge, -frequenz und -index (Abbott et al., 2021; Ferreira et al., 2021), untersucht wurden, und in anderen Untersuchungen der Fokus auf der Analyse metabolischer Zubringer, wie der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung (Lätt et al., 2009; Zacca et al., 2020) lag, wurden neuromuskuläre Einflussfaktoren in den genannten Untersuchungen völlig vernachlässigt. Ziel des Projekts war daher eine umfassende Analyse der Entwicklung metabolischer und neuromuskulärer Leistungsindikatoren bei Nachwuchskaderschwimmerinnen und -schwimmern aus NRW.

2 Methodik

2.1 Studiendesign

Im Rahmen des Projekts wurden im Saisonzyklus 2020/2021 vier leistungsdiagnostische Untersuchungen durchgeführt: jeweils zu Beginn des ersten (September 2020) und während des zweiten (März 2021) Makrozyklus, zum Saisonhöhepunkt (Juni 2021) sowie zu Beginn des ersten Makrozyklus (September 2021) in der Folgesaison. Im Rahmen der Diagnostik absolvierten die Teilnehmenden in randomisierter Reihenfolge drei schwimmspezifische Tests im Wasser (stets beginnend mit dem Sprinttest s. u.) sowie zwei Stationen zur Erhebung neuromuskulärer Parameter an Land. Zuvor waren sie mittels Antigen-Schnelltest negativ auf SARS-CoV-2 getestet und anthropometrisch vermessen worden. Vor jeder Diagnostik wurden die Teilnehmenden schriftlich dazu angehalten, 24 h zuvor nicht mehr intensiv zu trainieren, für ausreichend Schlaf zu sorgen und die Nahrungsaufnahme mit Hilfe eines Ernährungsprotokolls konstant zu halten.

2.2 Probandengruppe

26 NK2 Schwimmerinnen und Schwimmer aus NRW (Alter: 14.7 ± 1.4 Jahre, Range: 12.9 – 17.6 Jahre) nahmen an der Längsschnittuntersuchung teil, wobei nicht alle Testpersonen alle leistungsdiagnostischen Untersuchungen wahrnehmen konnten. Daher wurden 19 Teilnehmende (sieben Jungen und zwölf Mädchen) eingeschlossen, die sich in dem Zeitraum von September 2020 bis September 2021 mindestens drei der vier Untersuchungen unterzogen. Alle Versuchspersonen nahmen freiwillig an der Studie teil, wurden nebst ihren Eltern über Nutzen und Risiken der Untersuchung informiert und gaben eine schriftliche Einverständniserklärung ab. Die Studie wurde gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt und von der lokalen Ethikkommission genehmigt.

2.3 Testverfahren

2.3.1 Anthropometrie

Masse, Höhe und Körperzusammensetzung der Teilnehmenden wurde mittels Stadiometer bzw. Bioimpedanzanalyse (seca 274, seca GmbH & Co KG, Hamburg) erfasst und durch eine Messung der Armspannweite ergänzt.

2.3.2 Sprungkraftdiagnostik

Zur Erfassung der dynamischen Leistungsfähigkeit der Beinstreckerkette wurden je drei Counter-movement (CMJ) und Squat Jumps (SJ) auf einer Kraftmessplatte (Model 9281B, 1,000 Hz, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Schweiz) in einem 3D Motion Capture System (VICON™, Oxford, UK, 9 Kameras, 250 Hz) durchgeführt. Jeweils der Sprung mit der größten Höhe berechnet aus dem Integral des Kraft-Zeit-Verlaufs wurde für die Datenanalyse verwendet.

2.3.3 Load-Velocity Profile

In den Übungen Kniebeuge und Bankdrücken wurde ein Load-Velocity Profile an einer geführten Langhantel (Smith machine, Gym80 international GmbH, Gelsenkirchen) mit Hilfe eines Lineargeschwindigkeitsaufnehmers (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spanien) erhoben. Das Testprotokoll für das 1-Wiederholungsmaximum (1RM, Wiederholung mit der höchsten Last, die sicher und ohne Unterstützung ausgeführt werden konnte) wurde von González-Badillo und Sánchez-Medina (2010) adaptiert. Die initiale Last betrug 22 kg (Hantelstange) und wurde sukzessive individuell gesteigert (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017). Für jede Last wurde derjenige Versuch mit der höchsten Mean Propulsive Velocity (MPP) für die Erstellung der Profile verwendet.

2.3.4 Sprinttest

Bei dem 20-sekündigen Sprinttest starteten die Teilnehmenden aus dem Wasser (ohne Abstoß von der Wand) mit dem Ziel, die größtmögliche Strecke zurückzulegen. Neben der Durchgangsgeschwindigkeit bei 25 m (v_{20s}) als Performance-Kriterium wurden der höchste Nachbelastungslaktatwert (La_{peak}) sowie die maximale Laktatakkumulationsrate (VLa_{max}) als physiologische Kenngrößen der anaeroben Kapazität bestimmt (Heck et al., 2003). Hierzu wurde nach dem Sprint minütlich von der 2. bis 9. Minute Kapillarblut entnommen.

2.3.5 Stufentest

Der Stufentest mit 3-minütiger Stufen- und 30-sekündiger Pausendauer (für die Kapillarblutentnahmen) begann analog zu dem vorhergehenden Projekt vier Inkremente ($0.12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

unterhalb von 88 % der aktuellen 400-m Bestzeit und wurde um $+0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bis zur Ausbelastung gesteigert (Keller et al., 2022). Die Laktat-Geschwindigkeitskurve wurde mittels Polynom dritten Grades gefittet, um die erste (LT1, Steigung des Polynoms von 13.3) und zweite Laktatschwelle (LT2, modifizierte Dmax Methode) zu bestimmen, da letztere in dem vorhergehenden Projekt die höchste Übereinstimmung mit dem Maximalen Laktat Steady-State aufgewiesen hatte (Keller et al., 2022).

2.3.6 Economy und $\text{VO}_{2\text{peak}}$ Test

Die Bewegungsökonomie wurde im Rahmen einer wiederholten Messung der Sauerstoffaufnahme nach einer submaximalen Belastung (300 m + 30-sekündige Nachbelastungsmessung und 200 m + 30-s Nachbelastungsmessung) mit einer vorgegebenen Pace (weiblich: $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und männlich: $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Chatard et al., 1990)) erfasst. Im Anschluss erfolgte – analog zum vorhergehenden Projekt – nach einem 100-m Segment mit gesteigerter Geschwindigkeit aus der Wende ein 200-m all-out Segment zur Bestimmung der $\text{VO}_{2\text{peak}}$. Die Sauerstoffaufnahme wurde jeweils durch eine unmittelbare 30-sekündige Nachbelastungsmessung (METAMAX® 3B, CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig, Germany) bestimmt und mittels Herzfrequenz-Kinetik korrigiert (Chaverri et al., 2016). Der höchste über 5 s gemittelte korrigierte Wert wurde jeweils für die Datenanalyse verwendet.

Alle Wassertests wurden in einem 50-m Becken und aus Gründen der Vergleichbarkeit in der Schwimmart Kraul absolviert. Die Schwimmgeschwindigkeiten bei den Stufen- und Economy-Tests wurden mit Hilfe einer Lichtlaufleiste (Virtual Swim Trainer, Indico Technologies, Torino, Italien) vorgegeben. Die Messung der Herzfrequenz erfolgte mittels Brustgurten (HRM-Swim™, Garmin Deutschland GmbH, Garching) in Kombination mit den dazugehörigen Uhren (Forerunner® 735XT bzw. Swim2, Garmin Deutschland GmbH, Garching). Für die Laktatanalyse wurden 20 µl Kapillarblut aus dem abgetrockneten Ohrläppchen entnommen und im Nachgang mittels enzymatisch-amperometrischen Verfahrens analysiert (Biosen S-Line, EKF Diagnostics, Cardiff, Wales).

2.4 Analyse der Leistungsdaten

In dem Zeitfenster zwischen März und Juni (Qualifikations- und Wettkampfphase) wurden im Abstand von maximal vier Wochen vor und nach den entsprechenden Diagnostiken von allen Teilnehmenden Wettkampfleistungen über die Strecken (50, 100, 200 und 400 m) in der Schwimmart Kraul erfasst. Da lediglich 13 Teilnehmende in dem genannten Zeitraum Wettkampfzeiten über mindestens drei der vier Strecken vorweisen konnten, von denen lediglich einer männlich war, wurde der entsprechende Proband als „Ausreißer“ identifiziert und nur der weibliche Teil der Stichprobe ($N = 12$) analysiert.

2.5 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde mit R durchgeführt (R Core Team, 2020). Nach visueller Überprüfung der Homoskedastizität und Normalverteilung mittels Residuen- und Q-Q-Plots wurden lineare gemischte Modelle mit zufälligen Achsenabschnitten für die Teilnehmenden gerechnet (*lme4*-Paket), um Unterschiede in den leistungsdiagnostischen Parametern (abhängige Variable) zwischen den Messzeitpunkten (unabhängige Variable, vier Levels) zu untersuchen. Im Falle signifikanter Haupteffekte, wurden multiple paarweise Post-hoc Vergleiche mit Bonferroni-Korrektur (*emmeans*-Paket) durchgeführt. Zusätzlich wurden die Leistungsdaten mittels Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten r (angegeben mit 95 % CI; *stats*-Paket) mit den leistungsdiagnostischen Werten in Zusammenhang gebracht und als trivial ($r < 0.1$), niedrig ($r < 0.3$), moderat ($r < 0.5$), hoch ($r < 0.7$), sehr hoch ($r < 0.9$) und nahezu perfekt ($r \geq 0.9$) interpretiert (Hopkins, 2002). Die statistische Signifikanz wurde bei $p < 0.05$ angenommen. Alle Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt.

3 Ergebnisse

Die Längsschnittanalyse der leistungsdiagnostischen Daten zeigte eine Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit (anhand der LT2, $\text{VO}_{2\text{peak}}$ und Economy, $p < 0.05$) und Maximalkraft (anhand der 1RM in der Kniebeuge und im Bankdrücken, $p < 0.001$) über den Saisonverlauf,

spricht von September 2020 bis Juni 2021 (Abb. 1 Panels A, C, D und Abb. 2 Panels A, B). Diese sind im Kontext anthropometrischer Veränderungen (Zunahme der Höhe, Masse, Armspannweite und fettfreien Masse, $p < 0.001$, Abb. 3) bei unverändertem Trainingsumfang ($p > 0.05$, Abb. 4) im gleichen Zeitraum zu sehen. Eine Zunahme des Schwimmtrainingsvolumens wurde lediglich zu Beginn der Vorbereitung auf die folgende Saison (September 2021) im Vergleich zur zweiten Hälfte (Wettkampfperiode) der Vorsaison (März und Juni 2021) beobachtet ($p < 0.05$). Die Indikatoren der anaeroben Kapazität (VLa_{max} , $p > 0.05$, Abb. 1 Panel B) und der dynamischen Leistungsfähigkeit der Beinstrecker (Flughöhen im SJ und CMJ, $p > 0.05$, Abb. 2 Panels C, D) wiesen keine Veränderungen im Jahresverlauf auf.

Die Korrelationsanalyse von zwölf Schwimmerinnen in der Qualifikations- bzw. Wettkampfperiode 2021 lieferte auf der energetischen Seite hohe negative Zusammenhänge zwischen der 50-m-Zeit und der anaeroben Kapazität (VLa_{max}) sowie der 400-m-Zeit und der aeroben Leistungsfähigkeit (Economy und $LT2$, Abb. 5). Da sich die Korrelationskoeffizienten von VLa_{max} bzw. La_{peak} und Performance nicht unterschieden, wurde lediglich VLa_{max} in Abb. 5 aufgenommen. Auf der neuromuskulären Seite wurden hohe negative Korrelationen zwischen der 50-m-Zeit und der Maximalkraft der oberen (1RM im Bankdrücken) und der Schnellkraft der unteren Extremitäten (Flughöhe im CMJ) beobachtet, während letztere genauso wie die Flughöhe im SJ hoch positiv mit der 400-m-Zeit korreliert war (Abb. 6).

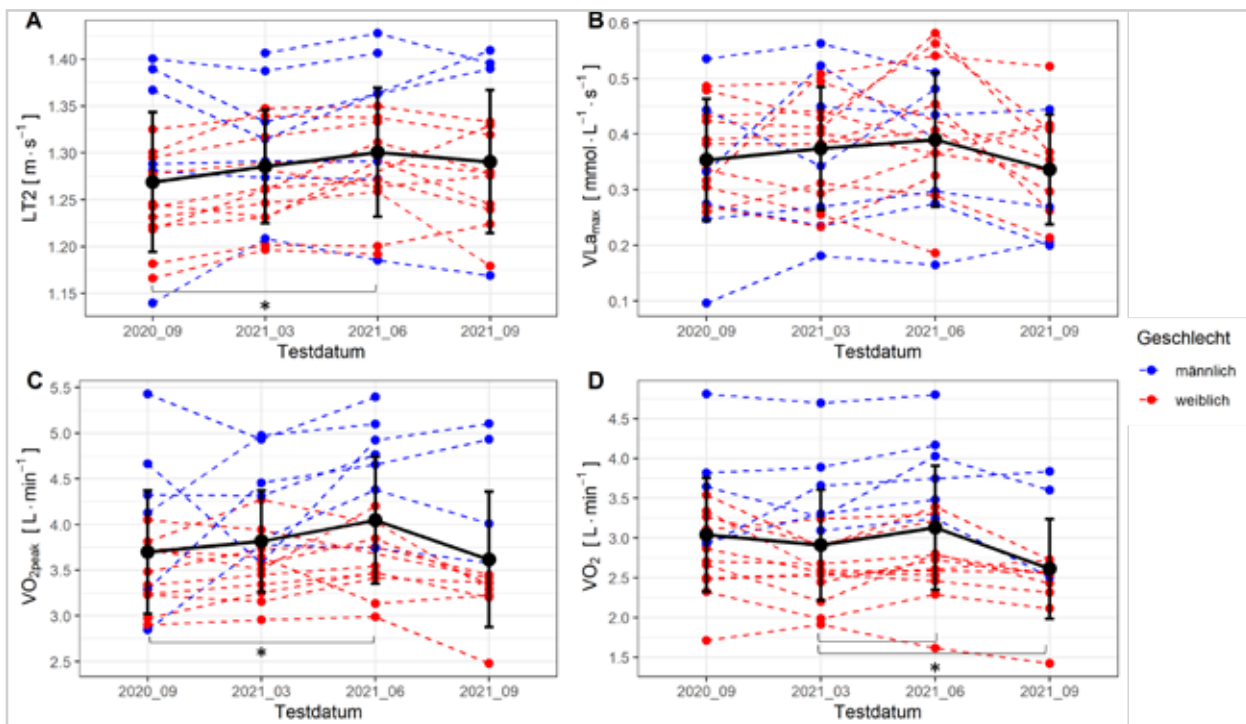


Abb. 1: Veränderungen der metabolischen Indikatoren (A: $LT2$, B: VLa_{max} , C: VO_{2peak} und D: Economy) im Jahresverlauf auf individueller (männlich blaue und weiblich rote Punkte) und Gruppenebene (Mittelwert \pm Standardabweichung in schwarz). Signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zeitpunkten: * $p < 0.05$.

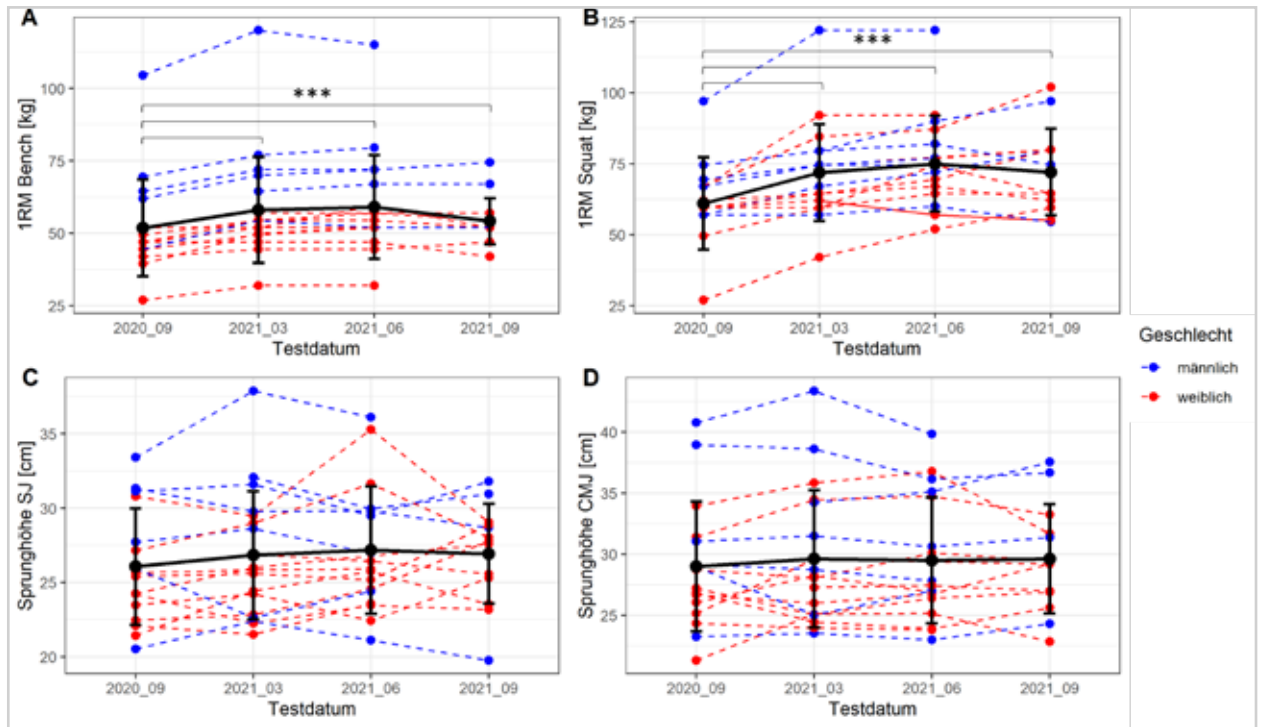


Abb. 2: Veränderungen der neuromuskulären Indikatoren (A: 1RM Bankdrücken, B: 1RM Kniebeuge C: Flughöhe SJ und D: Flughöhe CMJ) im Jahresverlauf auf individueller (männlich blaue und weiblich rote Punkte) und Gruppenebene (Mittelwert \pm Standardabweichung in schwarz). Signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zeitpunkten: *** $p < 0.001$.

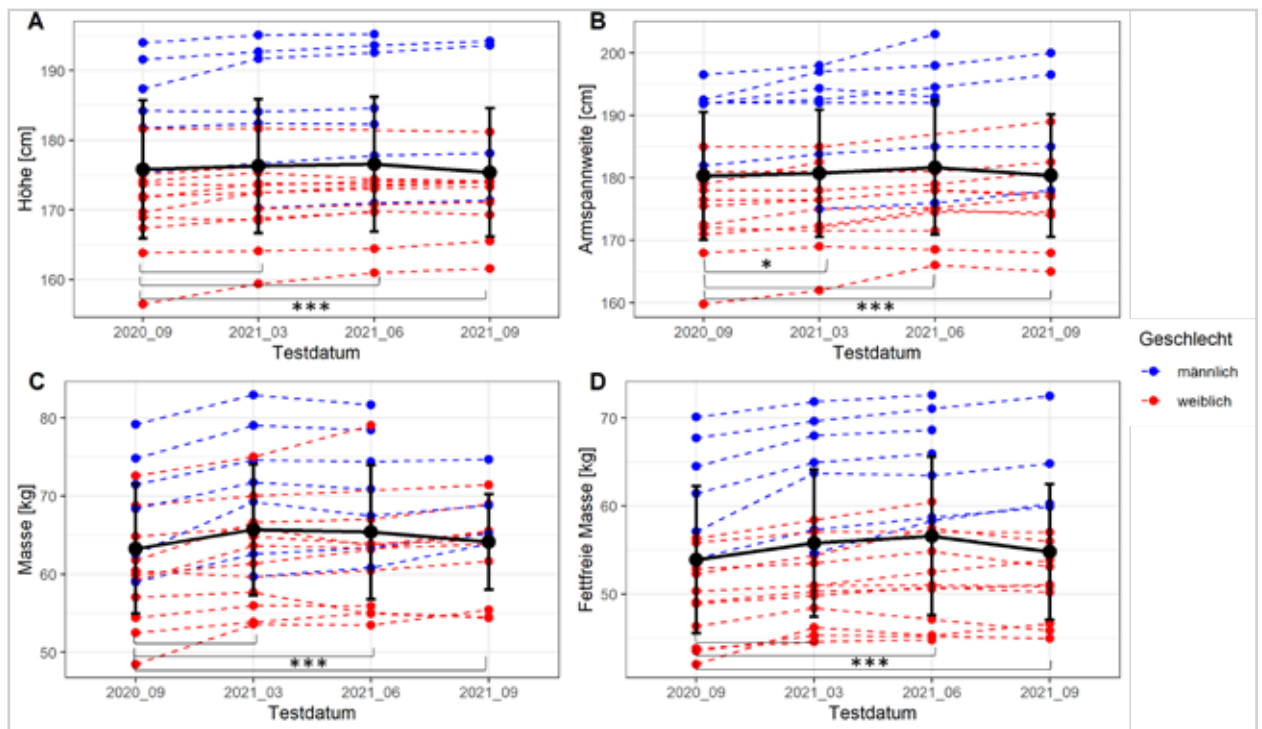


Abb. 3: Veränderungen der anthropometrischen Indikatoren (A: Höhe, B: Armspannweite C: Masse und D: fettfreie Masse) im Jahresverlauf auf individueller (männlich blaue und weiblich rote Punkte) und Gruppenebene (Mittelwert \pm Standardabweichung in schwarz). Signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zeitpunkten: * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

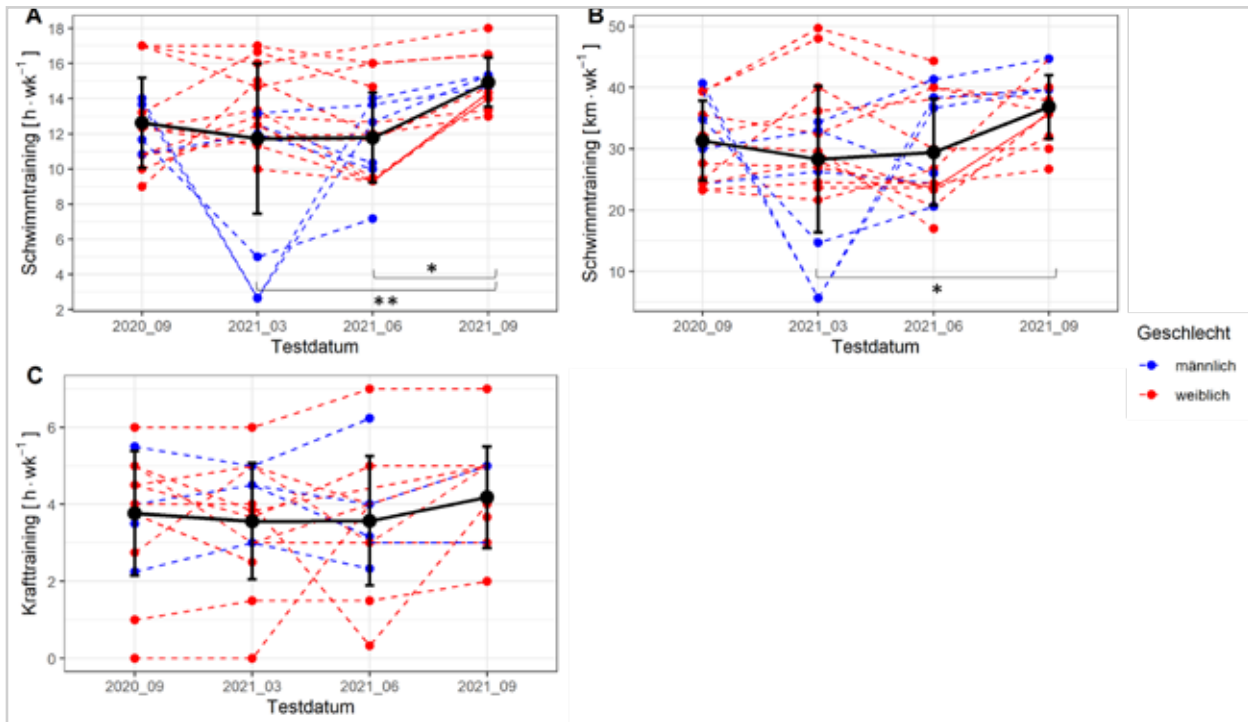


Abb. 4: Veränderungen der Trainingsumfänge jeweils in den letzten drei vollen Trainingswochen vor den Diagnostikmaßnahmen (A: Schwimmtrainingsvolumen in Stunden, B: Schwimmtrainingsvolumen in Kilometern C: Krafttrainingsvolumen in Stunden) im Jahresverlauf auf individueller (männlich blaue und weiblich rote Punkte) und Gruppenebene (Mittelwert ± Standardabweichung in schwarz). Signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zeitpunkten: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

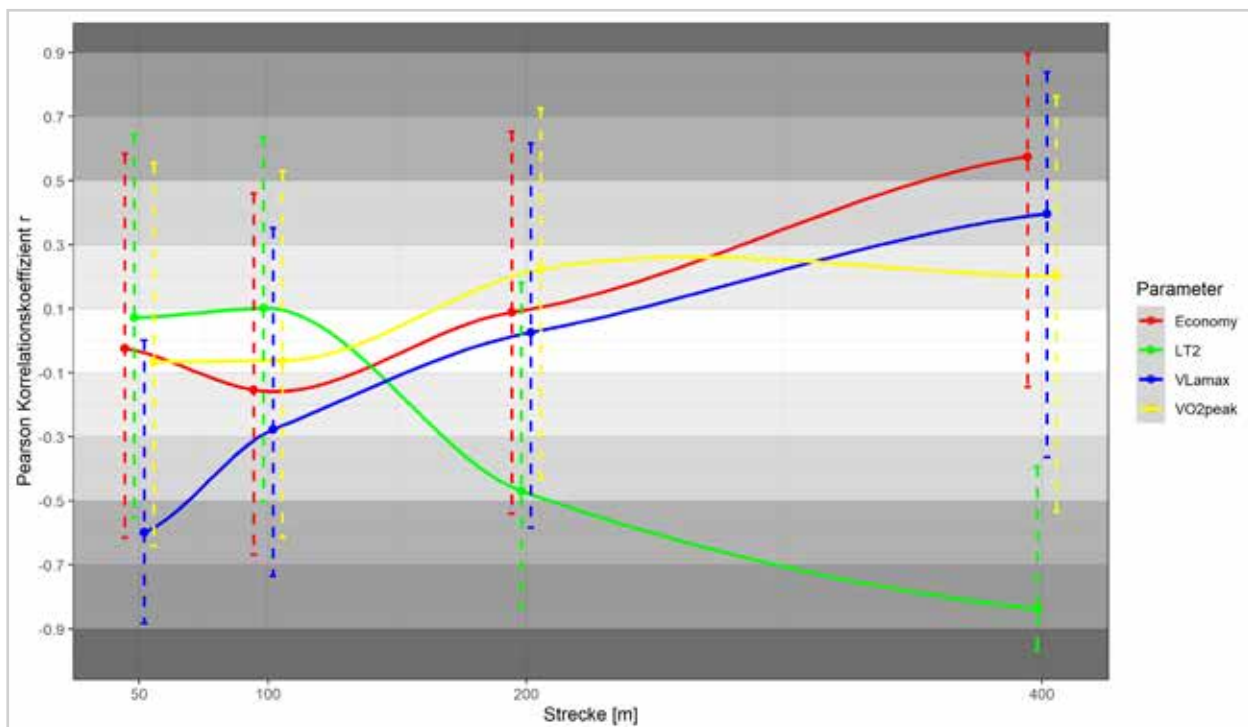


Abb. 5: Korrelationskoeffizienten (Pearson's r) zusammen 95 % Konfidenzintervallen zwischen den metabolischen Testparametern (Economy, Geschwindigkeit an LT_2 , $VL_{a_{max}}$, VO_{2peak}) und der Zeit über die entsprechenden Strecken. Der Hintergrund ist entsprechend der Klassifizierung nach Hopkins (2002) in trivial, gering, moderat, hoch und sehr hoch eingefärbt. Signifikante Korrelationen: 50 m, $VL_{a_{max}}$ ($r = -0.60$, $p = 0.029$), 400 m, LT_2 ($r = -0.84$, $p = 0.001$) und Economy ($r = 0.58$, $p = 0.045$).

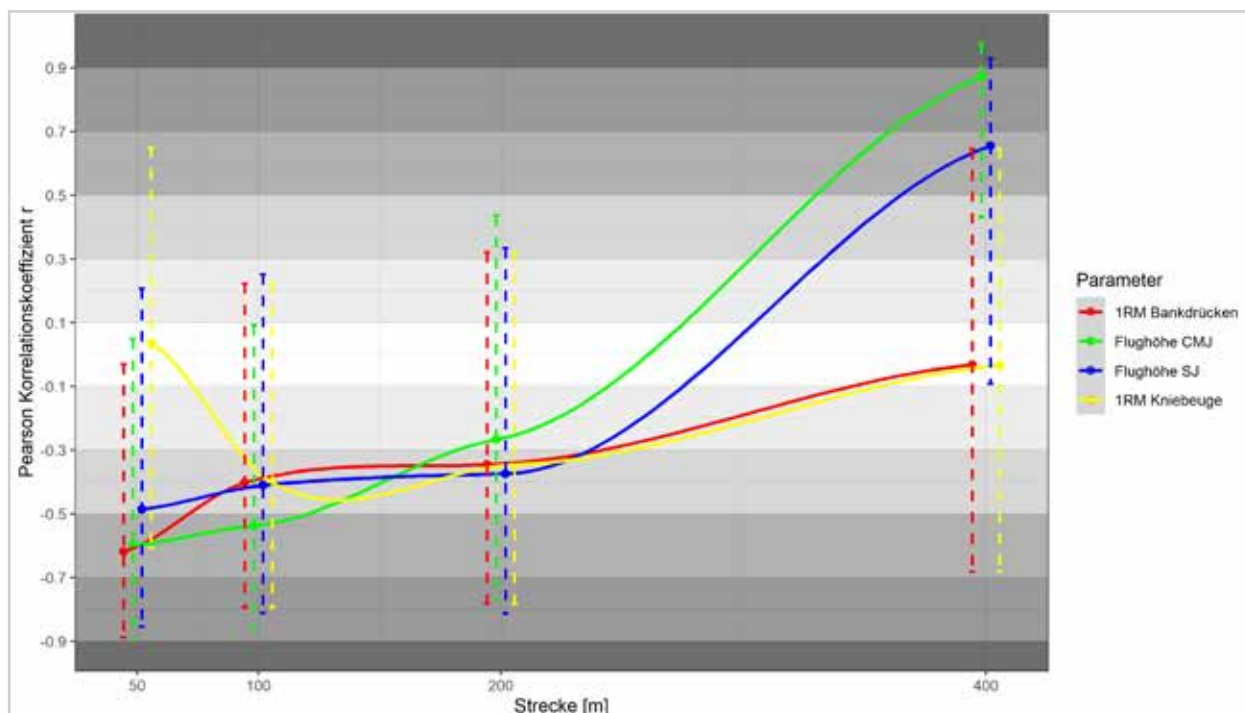


Abb. 6: Korrelationskoeffizienten (Pearson's r) zusammen 95 % Konfidenzintervallen zwischen den neuro-muskulären Testparametern (1RM im Bankdrücken, Flughöhe im CMJ, Flughöhe im SJ, 1RM in der Kniebeuge) und der Zeit über die entsprechenden Strecken. Der Hintergrund ist entsprechend der Klassifizierung nach Hopkins (2002) in trivial, gering, moderat, hoch und sehr hoch eingefärbt. Signifikante Korrelationen: 50 m, 1RM Bankdrücken ($r = -0.62$, $p = 0.023$) und Flughöhe CMJ ($r = -0.60$, $p = 0.029$), 400 m, Flughöhe CMJ ($r = 0.87$, $p < 0.001$) und Flughöhe SJ ($r = 0.66$, $p = 0.020$).

4 Diskussion

Ziel des Serviceprojekts war eine umfassende Analyse der metabolischen und neuromuskulären Leistungsentwicklung im Saisonverlauf bei Nachwuchsschwimmerinnen und -schwimmern (NK2) des Landes NRW im Kontext der Trainingsbelastung und Wettkampfperformance. Der signifikante Anstieg der Maximalkraft im Bereich der oberen (1RM Bankdrücken, +5.8 kg) und unteren Extremitäten (1RM Kniebeuge, +9.2 kg) zum zweiten Messzeitpunkt (März 2021) im Vergleich zum ersten (September 2020) ist auf eine Schwerpunktsetzung auf Hypertrophie- und Maximalkrafttraining in der Vorbereitungsperiode (September bis Dezember) zurückzuführen. Daneben stellt gerade hinsichtlich des Kraftzuwachses das in dem vorliegenden Altersbereich (> 12 und < 18 Jahre) häufig ausgeprägte Wachstum einen Einflussfaktor dar, wie anhand der signifikanten Zunahmen der Körperhöhe (+ 1.2 cm) sowie der fettfreien Masse (2.1 kg) ersichtlich wird.

Zudem wurde bei einigen Teilnehmenden – auch wenn über die Gruppe hinweg kein Unterschied hinsichtlich der Trainingsvolumina zwischen den beiden Zeitpunkten gefunden wurde – aufgrund der Lockdownmaßnahmen ab November 2020 das Wassertraining stark eingeschränkt und in Teilen durch zusätzliches Landtraining, u. a. Kraft- und Zirkeltraining, ersetzt. Zumindest auf individueller Ebene könnte auch dieses Phänomen den starken Anstieg der Maximalkraft in diesem Zeitraum begünstigt haben. Angesichts des teilweise eingeschränkten Wassertrainings überrascht ebenfalls nicht, dass auf Gruppenebene zwischen September 2020 und März 2021 keine Veränderung in der VO_{2peak} oder LT2 beobachtet wurden, da einzelne Teilnehmende aufgrund der starken Trainingsreduktion mitunter deutliche negative Veränderungen aufwiesen (z. B. Reduktion der Geschwindigkeit an LT2 um bis zu $-0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Der Übergang vom zweiten zum dritten Makrozyklus, und damit von der Qualifikations- zur Wettkampfperiode (~ März bis Juni), ist grund-

sätzlich geprägt durch eine Zunahme der Trainingspezifität mit dem Ziel, die vorhandenen neuromuskulären und metabolischen Kapazitäten optimal für die Performance-Entwicklung auszuschöpfen. Damit einher gehen nur noch nicht-signifikant verbesserte Maximalkraftwerte (1RM Bankdrücken, +1.1 kg und 1RM Kniebeuge, +3.4 kg) im Vergleich zwischen der Diagnostik im Juni und März 2021, bei gleichzeitig optimierter Schwimmperformance, wie beispielsweise an der im Vergleich zu Saisonbeginn signifikant verbesserten Geschwindigkeit an LT2 ersichtlich ($+0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Die in dieser Phase erhobenen Wettkampfdaten ermöglichen in gemeinsamer Betrachtung mit den leistungsdiagnostischen Werten einen Aufschluss über für unterschiedliche Distanzen determinierende metabolische und neuromuskuläre Eigenschaften. Während die hohe signifikante (negative) Korrelation zwischen der 50-m-Zeit und der VLa_{max} ($r = -0.60$, $p = 0.029$) den substantiellen Anteil des anaerob laktaziden Energiesystems bei kurzen Belastungen ($> 30\%$ (Almeida et al., 2020)) widerspiegelt, wird der Großteil der benötigten metabolischen Energie mit zunehmender Belastungsdauer über den aeroben Stoffwechsel abgedeckt ($\sim 90\%$ (De Assis Correia et al., 2020)), wie anhand der hohen bis sehr hohen signifikanten Korrelationen zwischen der 400-m-Zeit und der Ökonomie ($r = 0.58$, $p = 0.045$) bzw. Geschwindigkeit an LT2 ($r = -0.84$, $p = 0.001$) offensichtlich wird. Interessanterweise wurde im Vergleich zu anderen ausdauerbetonten Sportarten im Gegensatz zur Ökonomie keine hohe Korrelation zwischen der längsten Strecke (400 m) und der $VO_{2\text{peak}}$ beobachtet. Dies spiegelt die größere Bedeutung der Bewegungsökonomie im Schwimmen wider, da aufgrund des Wasserwiderstands – unabhängig von der maximalen metabolischen Energiezufuhr – lediglich ein geringer Teil der mechanischen Leistung in Vortrieb umgewandelt wird und daher eine bessere Nutzung dieser mechanischen Energie (also eine bessere Ökonomie) einen größeren Einfluss auf Performance hat als eine Steigerung der $VO_{2\text{peak}}$ (Capelli, 1999; Zamparo et al., 2011). Die trivialen bis moderaten Korrelationen mit der 100-m- und 200-m-Zeit (Belastungsdauer von ~ 1 -2 min) deuten darauf hin, dass diese Leistungen über unterschiedliche metabolische Profile realisiert werden können.

Auf neuromuskulärer Seite wurden hohe und signifikante Korrelationen zwischen der 50-m-Zeit und der Maximalkraft (1RM) im Bankdrücken ($r = -0.62$, $p = 0.023$) sowie der dynamischen Leistungsfähigkeit der Bein-strecker (Flughöhe im CMJ, $r = -0.60$, $p = 0.029$) gefunden. Während letztere die Bedeutung des Startsprungs insbesondere für die kurzen Strecken (z. B. $\sim 25\%$ bei 50 m (Born et al., 2021)) unterstreichen, könnte die Korrelation des 1RM im Bankdrücken mit der 50-m-Performance auf das Erreichen größerer Zuglängen mit Hilfe einer höheren Maximalkraft zurückzuführen sein (Morouço et al., 2011). Analog zu den metabolischen Parametern weist die Performance über die mittleren Distanzen (100 und 200 m) auch auf neuromuskulärer Seite keine eindeutigen Determinanten auf. Interessanterweise ist die Zeit über 400 m signifikant und hoch bis sehr hoch (positiv) mit der Flughöhe im SJ ($r = 0.66$, $p = 0.020$) und im CMJ ($r = 0.87$, $p < 0.001$) assoziiert. Dies bedeutet, dass die Teilnehmenden, die eine gute Ausdauerperformance aufgewiesen, gleichzeitig schlechter in der Schnellkraft der unteren Extremitäten abgeschnitten haben. Dies könnte möglicherweise auch auf Interferenzeffekte im Training zurückzuführen sein, da insbesondere hochvolumiges, niedrigintensives Ausdauertraining mit einem negativen Einfluss auf Schnellkraftadaptationen in Verbindung gebracht wird (Schumann et al., 2022).

Die deutliche Steigerung des Schwimmtrainingsvolumens zu Beginn der Saison 2021/22 im September 2021 (+2.8 h bzw. +7.2 km) im Vergleich zum Saisonhöhepunkt der Vorsaison führte trotz vorhergehender Pause von durchschnittlich vier Wochen zwischen Anfang Juli und Mitte August 2021 zu einer signifikant verbesserten Ökonomie ($VO_{2\text{peak}}$, $-0.25 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$). Dies spiegelt die Idee eines klassischen Periodisierungsansatzes wider, nach dem in der Vorbereitungsperiode mit großen Umfängen und niedrigen Intensitäten die grundlegenden Kapazitäten geschaffen werden sollen, um darauf aufbauend mit Fortschreiten der Saison die Intensität und Spezifität zu erhöhen und das Volumen sukzessive zu reduzieren.

Interessanterweise wurde über den kompletten Jahreszyklus (September 2020 bis September 2021) auf Gruppenebene keine Veränderung der

anaeroben Kapazität (VLa_{max}) sowie der dynamischen Leistungsfähigkeit der Beinstrecker (Flughöhe im CMJ oder SJ) gefunden, obwohl beide Parameter beispielsweise für die 50-m-Performance von Bedeutung zu sein scheinen (Abb. 5 und 6). Dies könnte zu dem Schluss führen, dass im Training zu wenig an den genannten Kapazitäten gearbeitet wurde. Allerdings wird bei diesem Rückschluss die Individualität der Teilnehmenden vernachlässigt, die verschiedenste Zielstrecken (von 50 bis 1500 m) anvisieren und deren Trainerinnen und Trainer daher unterschiedliche Schwerpunkte setzen (müssen). Betrachtet man folglich die Teilnehmenden individuell, z. B. eine exemplarische 50- und 100-m Schwimmerin, so ist in eben den genannten Parametern eine kontinuierliche Entwicklung im Saisonverlauf 2020/21 zu beobachten. Ihre Flughöhen im CMJ und ihre VLa_{max} betragen zu Beginn der Vorbereitungsperiode 28.7 cm und $0.32 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, im März 2021 28.1 cm (-2.5 %) und $0.51 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (+59.4 %) und zum Saisonhöhepunkt 30.1 cm (+4.9 %) und $0.54 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (+68.8 %) in der Wettkampfperiode (in Klammern jeweils die prozentuale Veränderung zum ersten Messzeitpunkt). Diese exemplarische Individualanalyse soll verdeutlichen, dass individuelle Anforderungsprofile notwendig sind, um die individuelle Entwicklung anhand leistungsdeterminierender Faktoren über eine Gruppenanalyse hinaus beurteilen zu können.

5 Transfer

Nach jeder zentralen Diagnostikmaßnahme wurde den Teilnehmenden sowie deren Trainerinnen und Trainern eine ausführliche Datenauswertung zur Verfügung gestellt, die neben den aktuell erhobenen Werten ebenfalls die individuelle Entwicklung im Längsschnitt sowie einen geschlechtsspezifischen Gruppenvergleich beinhaltete. Bereits vor Auslaufen des Serviceprojekts wurde zudem mit den verantwortlichen Landestrainern eine Fortführung der Diagnostiken dreimal pro Saisonzyklus vereinbart und 2022 bereits erstmalig umgesetzt. Dadurch ist der langfristige Transfer der Projektergebnisse in den Nachwuchsleistungssport gewährleistet.

Zudem wurde und wird die Diagnostikbatterie dahingehend weiterentwickelt, dass zukünftig die Tests der VO_{2peak} und der VLa_{max} in der jeweiligen Hauptschwimmart der Teilnehmenden absolviert werden, um die Diagnostikparameter noch spezifischer und unmittelbarer in die Trainingspraxis übertragen zu können.

6 Fazit

Durch erhöhte Trainingsumfänge im Wasser sowie einen Fokus auf Krafttraining an Land in der Vorbereitungsperiode werden insbesondere die Ökonomie sowie die Maximalkraft (1RMs) verbessert. Durch die zunehmende Spezifizierung und Intensivierung der Trainingsreize in Richtung der Wettkampfperiode werden schwimmspezifische Parameter, wie die Geschwindigkeit an LT2, optimiert. Während für kurze Strecken besonders die anaerobe Kapazität (VLa_{max}) sowie Maximal- und Schnellkraftfähigkeit der oberen bzw. unteren Extremitäten (1RM im Bankdrücken und Flughöhe im CMJ) von Bedeutung sind, sind längere Strecken mit der aeroben Leistungsfähigkeit (LT2 und Economy) assoziiert.

7 Literatur

- Abbott, S., Yamauchi, G., Halaki, M., Castiglioni, M. T., Salter, J., & Cobley, S. (2021). Longitudinal relationships between maturation, technical efficiency, and performance in age-group swimmers: Improving swimmer evaluation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(8), 1082-1088. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0377>
- Almeida, T. A. F., Pessôa Filho, D. M., Espada, M. A. C., Reis, J. F., Simionato, A. R., Siqueira, L. O. C., & Alves, F. B. (2020). VO_2 kinetics and energy contribution in simulated maximal performance during short and middle distance-trials in swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 120(5), 1097-1109. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04348-y>

- Born, D. P., Kuger, J., Polach, M., & Romann, M. (2021). Turn fast and win: The importance of acyclic phases in top-elite female swimmers. *Sports*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/sports9090122>
- Calderbank, J. A., Comfort, P., & McMahon, J. J. (2020). Association of Jumping Ability and Maximum Strength With Dive Distance in Swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(2), 296-303. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2019-0773>
- Capelli, C. (1999). Physiological determinants of best performances in human locomotion. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(4), 298-307. <https://doi.org/10.1007/s004210050596>
- Chatard, J. C., Lavoie, J. M., & Lacourl, J. R. (1990). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1-2), 88-92. <https://doi.org/10.1007/BF00236699>
- Chaverri, D., Schuller, T., Iglesias, X., Hoffmann, U., & Rodríguez, F. A. (2016). A New Model for Estimating Peak Oxygen Uptake Based on Postexercise Measurements in Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 419-424. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2015-0227>
- De Assis Correia, R., Feitosa, W. G., Figueiredo, P., Papoti, M., & De Souza Castro, F. A. (2020). The 400-m front crawl test: Energetic and 3d kinematical analyses. *International Journal of Sports Medicine*, 41(1), 21-26. <https://doi.org/10.1055/a-1023-4280>
- Ferreira, S., Carvalho, D. D., Cardoso, R., Rios, M., Soares, S., Toubekis, A., & Fernandes, R. J. (2021). Young swimmers' middle-distance performance variation within a training season. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031010>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347-352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Heck, H., Schulz, H., & Bartmus, U. (2003). Diagnostics of anaerobic power and capacity. *European Journal of Sport Science*, 3(3), 1-23. <https://doi.org/10.1080/17461390300073302>
- Hopkins, W. G. (2002). *A scale of magnitudes for effect statistics*. SportsScience. <https://www.sportssci.org/resource/stats/effectmag.html>
- Keiner, M., Wirth, K., Fuhrmann, S., Kunz, M., Hartmann, H., & Haff, G. G. (2019). The Influence of Upper- and Lower-Body Maximum Strength on Swim Block Start, Turn, and Overall Swim Performance in Sprint Swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Publish Ah(20), 1-7. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003229>
- Keller, S., Manunzio, C., & Wahl, P. (2022). Comparison of different test protocols to determine maximal lactate steady state intensity in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport* (in revision).
- Lätt, E., Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P., & Jürimäe, T. (2009). Longitudinal development of physical and performance parameters during biological maturation of young male swimmers. *Perceptual and Motor Skills*, 108(1), 297-307. <https://doi.org/10.2466/PMS.108.1.297-307>
- Morais, J. E., Marques, M. C., Rodríguez-Rosell, D., Barbosa, T. M., & Marinho, D. A. (2020). Relationship between thrust, anthropometrics, and dry-land strength in a national junior swimming team. *Physician and Sportsmedicine*, 48(3), 304-311. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1693240>

- Morouço, P., Neiva, H., González-Badillo, J. J., Garrido, N., Marinho, D. A., & Marques, M. C. (2011). Associations Between Dry Land Strength and Power Measurements with Swimming Performance in Elite Athletes: A Pilot Study. *Journal of Human Kinetics, Special Issue*, 105-112. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0065-2>
- Muniz-Pardos, B., Gomez-Bruton, A., Mátute-Llorente, A., Gonzalez-Aguero, A., Gomez-Cabello, A., Gonzalo-Skok, O., Casajus, J. A., & Vicente-Rodriguez, G. (2020). Nonspecific Resistance Training and Swimming Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ah*. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003572>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J., Pérez, C., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open*, 01(02), E80-E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>
- Schumann, M., Feuerbacher, J. F., Sünkeler, M., Freitag, N., Rønnestad, B. R., Doma, K., & Lundberg, T. R. (2022). Compatibility of Concurrent Aerobic and Strength Training for Skeletal Muscle Size and Function: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 52(3), 601-612. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01587-7>
- Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of Competitive Front Crawl Swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8-24. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002>
- Zacca, R., Azevedo, R., Ramos, V. R., Abraldes, J. A., Vilas-Boas, J. P., Castro, F. A. de S., Pyne, D. B., & Fernandes, R. J. (2020). Biophysical Follow-up of Age-Group Swimmers During a Traditional Three-Peak Preparation Program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(9), 2585-2595. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002964>
- Zamparo, P., Capelli, C., & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: A historical perspective. *European Journal of Applied Physiology*, 111(3), 367-378. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1433-7>
- Zamparo, P., Cortesi, M., & Gatta, G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *European Journal of Applied Physiology*, 120(1), 41-66. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04270-y>