

# Trainerhandmaterial

**Titel:** Physikalische Grundlagen – Schrittstart

**Erarbeitet von:** Dr. Jürgen Küchler

Institut für Angewandte Trainingswissenschaft  
Fachbereich Ausdauer  
Fachgruppe Schwimmen

Institut für Angewandte Trainingswissenschaft  
Ein Institut im Verein IAT/FES e. V.  
Marschnerstr. 29  
04109 Leipzig

Telefon +49 (0)341 4945-197  
Fax +49 (0)341 4945-400  
E-Mail [kuechler@iat.uni-leipzig.de](mailto:kuechler@iat.uni-leipzig.de)  
Web <http://www.sport-iat.de>

Gefördert durch:



Bundesministerium  
des Innern

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	4
2	Phasen des Startabschnitts.....	4
3	Zur Optimierung des Bewegungsablaufs .....	5
3.1	Berechnung einer Startzeit.....	5
3.2	Vorspannung und Anfangskraft bei Ausgangsstellung und Auftakt .....	8
3.2.1	Varianten der Ausgangsstellung .....	9
3.2.2	Gestaltung des Auftakts .....	12
3.3	Koordination von Teilkörperbewegungen bei Auftakt und Absprung.....	14
3.3.1	Zum Krafteinsatz der Hände an der Startblockvorderkante .....	15
3.3.2	Koordination von Schwung- und Streckbewegungen beim Absprung.....	17
3.4	Rolle des Drehimpulses bei Flug und Eintauchen.....	20
3.5	Wirkung des Wasserwiderstands .....	22
3.5.1	Optimieren des Bewegungsablaufs beim Eintauchen.....	23
3.5.2	Wasserwiderstand und Tauchtiefe .....	26
4	Fazit zur Optimierung des Bewegungsablaufs .....	30
5	Literatur.....	31

# 1 Einführung

In der Literatur sind nur wenige Beispiele zur Analyse des Startabschnitts unter Berücksichtigung mechanischer Gesetzmäßigkeiten zu finden (Hay, Guimares & Grimston, 1983; Guimares & Hay, 1985; Kuchler, 1988; Juergens, 1995; Kuchler, 1998). Diese Autoren berücksichtigen Energieerhaltungssatz, Newtonsche Axiome, Grundlagen der Strömungslehre u.a. bei der Einschätzung und Optimierung des Bewegungsablaufs im Startabschnitt. Die Mehrzahl der Autoren, die Untersuchungen zum Start im Sportschwimmen durchgeführt hat, verwendet statistische Verfahren zur Bestimmung des Einflusses verschiedener leistungsrelevanter Parameter (Hanauer, 1972; Ayalon, Gheluve, & Kanitz, 1975; Bloom, Hosler & Disch, 1978; Bonnar, 2001; El-Bahrawi, Krüger, Wick & Hohmann, 2002; Krüger, Wick, & Hohmann, 2005) oder beschränkt sich auf eine bildliche Darstellung von Details zum Bewegungsablauf (Councilman, 1980; Schramm, 1987; Pfeifer, 1991; Ungerechts u.a., 2002; Maglischko, 2003).

In den Einzelwettbewerben mit Start vom Block dominieren die verschiedenen Varianten des Schrittstarts zum internationalen Wettkampfhöhepunkt. Durch Einführung eines Startblocks mit Keil als stabiles Widerlager für den hinteren Fuß können die Vorteile des Schrittstarts (bessere Beschleunigungsmöglichkeiten: höhere Anfangskraft in horizontaler Richtung, Schwungbeineinsatz) ohne Risiko eines Abrutschens genutzt werden. Ein Greif- oder Schwungstart wird nur noch von einzelnen Schwimmerinnen und Schwimmern genutzt. In den Staffelwettbewerben sind bei den Wechseln verschiedene Varianten des Schwungstarts zu beobachten. Im Rückenschwimmen werden Varianten des Starts von der Beckenwand genutzt, die sich in Bezug auf Gelenkwinkel in der Ausgangsstellung und daraus folgend in der Koordination des Öffnens von Gelenkwinkeln beim Absprung unterscheiden.

Im Folgenden wird ein einfacher mathematischer Algorithmus zur Berechnung der Startzeit abgeleitet. Als Ergebnis erhält man eine analytische Funktion, mit deren Hilfe eine solide Abschätzung der Auswirkungen von Stärken und/oder Schwächen des einzelnen Athleten auf die 15-m-Startzeit ausgeführt werden kann. Anschließend werden einige für den Bewegungsablauf im Startabschnitt grundlegende mechanische Aspekte am Beispiel des Schrittstarts dargestellt und Aspekte zu Unterschieden in der Bewegungsausführung in den verschiedenen Phasen des Startabschnitts diskutiert.

## 2 Phaseneinteilung des Startabschnitts

Trotz deutlicher Unterschiede im Bewegungsablauf der verschiedenen Startvarianten, die in der Wettkampfpraxis zu beobachten sind, kann der Startabschnitt für alle Einzeldisziplinen in sechs Phasen gegliedert werden (Pfeifer, 1991; Kuchler, 1998; Wilke & Daniel, 2000): Ausgangsstellung, Auftakt, Absprung, Flug, Eintauchen und Übergang. Diese Gliederung des Startabschnitts orientiert sich an den unterschiedlichen Antriebssituationen, mit denen sich der Athlet auseinandersetzen muss. In Tabelle 1 sind Definition und Zielstellungen für diese sechs Phasen zusammengefasst.

Tab. 1. Definition und Zielstellung der Startphasen nach Dietze & Saborowski (2005)

Startphase	Definition	Zielstellung
<b>Ausgangsstellung</b>	Die Körperposition, die der Sportler nach der Aufforderung des Starters zur Einnahme der Startposition einnimmt und mit der ersten Bewegung als Reaktion auf das Startsignal verlässt	Es ist eine Körperposition einzunehmen, die einerseits einen sicheren Stand garantiert und andererseits die Möglichkeit bietet, schnell äußere Kräfte für eine Vorverlagerung des Körperschwerpunktes wirksam zu machen
<b>Auftakt</b>	Beginnt als erste Reaktion auf das Startsignal, bereitet den Absprung vor und endet mit dem Lösen der Hände vom Startblock	Schnelle Verlagerung des Körperschwerpunktes in die Schwimmrichtung und Vorbereitung des Absprunghes
<b>Absprung</b>	Beginnt mit dem Lösen der Hände vom Startblock und endet mit dem Lösen der Füße vom Startblock bzw. von der Beckenwand	Optimale Nutzung der muskulär zur Verfügung stehenden Antriebsleistung für eine maximale Beschleunigung des Körpers in Schwimmrichtung
<b>Flug</b>	Beginnt mit dem Lösen der Füße vom Startblock und endet mit der ersten Wasserberührung (Hände)	Einnehmen einer zweckmäßigen Körperhaltung zur Vorbereitung eines widerstandsarmen Eintauchens
<b>Eintauchen</b>	Beginnt mit der ersten Wasserberührung und endet, wenn sich der Sportler mit seinem gesamten Körper im Wasser befindet	Minimierung des Geschwindigkeitsverlustes in der Schwimmrichtung
<b>Übergang</b>	Beginnt, wenn sich der Sportler mit seinem gesamten Körper im Wasser befindet und endet mit dem Einsatz der zyklischen Bewegung in der jeweiligen Schwimmart (Gesamtkoordination) unter Einhaltung der Wettkampfbestimmungen	Minimierung des Geschwindigkeitsverlustes in der Schwimmrichtung

### 3 Zur Optimierung des Bewegungsablaufs

#### 3.1 Berechnung der Startzeit

Bei der Wettkampfanalyse wird die 15-m-Startzeit  $t_{15m}$  (Zeitintervall vom Startsignal bis zum Kopfdurchgang bei 15 m) zum Vergleich der Leistung im Startabschnitt verwendet. Für diese Startzeit wird eine analytische Funktion auf der Basis eines „Punktmassens-Modells“ abgeleitet. Dabei wird der Einfluss von Körperform und Masseverteilung vernachlässigt und die gesamte Masse ist im Körperschwerpunkt (KSP) konzentriert. Die Bewegung des KSP wird durch eine resultierende äußere Kraft (Summe aller äußeren Kräfte) bestimmt.

Im weiteren Vorgehen wird die 15-m-Startzeit in vier Zeitintervalle unterteilt. In Tabelle 2 sind Bezeichnung, Symbol und Definition für diese Zeitintervalle zusammengefasst. Die 15-m-Zeit  $t_{15m}$  erhält man als Summe dieser vier Zeitintervalle:

$$t_{15m} = t_B + t_F + t_{uW} + t_{zyk} \quad (1)$$

Tab. 2. Teilzeiten der 15-m-Startzeit

Bezeichnung	Symbol	Definition
Blockzeit	$t_B$	Zeitintervall vom Startsignal bis Lösen der Füße
Flugzeit	$t_F$	Zeitintervall vom Lösen der Füße bis Eintauchen des Körperschwerpunkts (KSP)
Unterwasserzeit	$t_{uW}$	Zeitintervall vom Eintauchen des KSP bis zum Beginn der zyklischen Bewegung in der Schwimmar
Zeit für die Bewegung in der Schwimmar	$t_{zyk}$	Zeitintervall vom Beginn der zyklischen Bewegung in der Schwimmar bis zum Kopfdurchgang bei 15 m

In der Blockzeit  $t_B$  sind drei Phasen des Startabschnitts enthalten: ein Teil der Ausgangsstellung, Auftakt und Absprung. Bei Wettkämpfen mit elektronischer Zeitmessung und speziell ausgerüsteten Startblöcken wird  $t_B$  gemessen und im Protokoll verzeichnet. Die Blockzeit kann auch aus Videoaufzeichnungen oder aus dem Verlauf der Bodenreaktionskräfte, die der Sportler am Startblock wirksam macht, bestimmt werden.

Fälschlicherweise wird die Blockzeit von vielen Trainern/Sportlern als „Reaktionszeit“ bezeichnet. Eine Reaktionszeit als Zeitpunkt einer ersten Reaktion auf das Startkommando wird aus dem zeitlichen Verlauf der Bodenreaktionskräfte (siehe Kapitel 3.2.2) bestimmt.

Die Flugzeit  $t_F$  (entsprechend der Definition aus Tabelle 2) ist nicht identisch mit der Dauer des Fluges aus Tabelle 1. Beim Eintauchen der Hände befindet sich der KSP noch über der Wasseroberfläche. In Abhängigkeit von der Körperposition dauert es noch ein bis zwei Zehntelsekunden bis der KSP die Wasseroberfläche erreicht.

Die Flugzeit des KSP wird eindeutig durch die am Ende des Absprungs erreichte KSP-Position  $P_0 = (X_0, Y_0)$  und KSP-Geschwindigkeit  $v_0 = (v_{0x}, v_{0y})$  festgelegt. Ein Einfluss des Luftwiderstandes kann bei Geschwindigkeiten  $< 5,5$  m/s vernachlässigt werden. Unter den Bedingungen des freien Falls gelten für Flugzeit  $t_F$  bzw. Flugweite  $s_F$  des KSP die allgemein bekannten Beziehungen:

$$t_F = \frac{1}{g} \left[ Y_0 + \sqrt{v_{0y}^2 + 2 \cdot g \cdot (Y_B + Y_0)} \right] \quad (2)$$

$$s_F = v_{0x} \cdot t_F \quad (3)$$

Darin sind  $g=9,81\text{m/s}^2$  der Wert für die Erdbeschleunigung und  $Y_B$  der vertikale Abstand zwischen Wasseroberfläche und Startblockvorderkante.

Eigentlich sind die Bedingungen des freien Falles mit dem Eintauchen der Hände nicht mehr gegeben. Für das Zeitintervall vom Eintauchen der Hände bis zum Eintauchen des KSP sollte der Einfluss des Wasserwiderstandes auf die Flugkurve des KSP berücksichtigt werden. Abschätzungen zur Wirkung des Wasserwiderstands belegen, dass dessen Einfluss auf die KSP-Bewegung während dieses Zeitintervalls gering ist. Im Vergleich zu den Bedingungen des freien Falls bewirkt eine Wasserwiderstandskraft von der Größe der Gewichtskraft im Vergleich zum freien Fall lediglich eine Verlängerung der Flugzeit von weniger als zwei Hundertstelsekunden und eine Veränderung der Flugweite kleiner als fünf Zentimeter. Diese geringen Abweichungen rechtfertigen die vorgenommene Vereinfachung, den Flug bis zum Eintauchen des KSP auszudehnen und die Flugparameter mit Hilfe der Gleichungen (2) bzw. (3) zu berechnen.

Mit dem Eintauchen ins Wasser wird die Bewegung des Sportlers sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung abgebremst. Die *Unterwasserzeit*  $t_{uW}$  ist der Quotient aus dem unter Wasser in horizontaler Richtung zurückgelegten Weg und dem Mittelwert der in horizontaler Richtung erzielten Geschwindigkeit. Dieser Mittelwert ist abhängig von der Höhe der Absprunggeschwindigkeit bzw. den Fertigkeiten bei Eintauchen und Tauchen. Mit dem Eintauchen ins Wasser ist die zentrale Aufgabe, den Geschwindigkeitsabfall durch eine strömungsgünstige Körperhaltung und eine zweckmäßige Antriebsgestaltung hinauszuzögern. Mit der Annahme, dass die horizontale Komponente der am Schwimmer wirksamen resultierenden **Wasserwiderstandskraft** durch

$$F_{Wx}(t) = c_{eff} \cdot v_x^2(t) \quad (4)$$

beschrieben wird, führt eine Integration der Newtonschen Bewegungsgleichung für die horizontale Komponente der KSP-Geschwindigkeit zu folgender Funktion:

$$v_x(t) = \frac{v_{0x}}{1 + \frac{c_{eff} \cdot v_{0x}}{m} [t - (t_B + t_F)]} \quad (5)$$

Darin sind  $m$  die Masse des Schwimmers und  $c_{eff}$  eine empirisch eingeführte Konstante, die aus dem Verlauf der KSP-Geschwindigkeit im Unterwasserabschnitt berechnet wird. Mit Hilfe der Gleichung (5) erhält man für die *Unterwasserzeit*

$$t_W = \frac{m}{c_{eff} \cdot v_{0x}} \left\{ e^{\frac{c_{eff} \cdot s_{uW}}{m}} - 1 \right\} \quad (6)$$

$s_{uW}$  ist die unter Wasser zurückgelegte horizontale Komponente des Weges.

Die Zeit für den Abschnitt in zyklischer Bewegung ist der Quotient aus dem zurückgelegte Weg  $s_{zyk}$  und der dabei realisierten mittleren Schwimmgeschwindigkeit  $v_{zyk}$ :

$$t_{zyk} = \frac{s_{zyk}}{v_{zyk}} \quad (7)$$

Der Weg  $s_{zyk}$  ist die Differenz

$$s_{zyk} = s_{st} - X_0 - s_F - s_{uW} - \Delta X_{KSP} \quad (8)$$

Darin sind  $s_{st}$  die Länge des Startabschnitts (=15 m) und  $\Delta X_{KSP}$  der Abstand zwischen KSP und Scheitel zu dem Zeitpunkt, wenn der Scheitel die 15-m-Marke passiert.

Setzt man die Gleichungen für Flugzeit (2), Unterwasserzeit (6) und Zeit für zyklische Bewegung in der Schwimmart (7) in die Ausgangsgleichung (1) ein, so erhält man für die Startzeit eine *analytische Funktion*, die von wenigen mechanischen Parametern abhängig ist:

$$t_{15m} = F(t_B, X_0, Y_0, v_{0x}, v_{0y}, c_{eff}, s_{uW}, \Delta X_{KSP}, v_{zyk}, m) \quad (9)$$

Mit dieser Funktion kann die 15-m-Startzeit simuliert und der Einfluss von verschiedenen Parametern quantitativ bestimmt werden. Die durchgeführten Simulationsrechnungen haben gezeigt, dass  $t_{15m}$  sehr wesentlich durch die horizontale Komponente der KSP-Geschwindigkeit  $v_{0x}$  und durch den effektiven Wasserwiderstandsbeiwert  $c_{eff}$  bestimmt wird. Da alle für eine Simulation notwendigen Parameter als Ergebnis einer Videoanalyse

des Startabschnitts zur Verfügung stehen, können individuelle Leistungsreserven quantitativ abgeschätzt werden.

In den folgenden Abschnitten wird die Antriebssituation in den verschiedenen Phasen aus mechanischer Sicht analysiert. Dabei wird auf Vor- und Nachteile einer Variation bei der Bewegungsausführung hingewiesen.

### 3.2 Vorspannung und Anfangskraft bei Ausgangsstellung und Auftakt

Im Einzelwettbewerb besteht das Ziel der Bewegung auf dem Block darin, nach Ertönen des Startsignals in kurzer Zeit eine hohe Absprunggeschwindigkeit (horizontale Komponente) bis zum Lösen des vorderen Fußes vom Block zu erzielen.

Für die Beschleunigung seines Körpers kann der Athlet vier äußere Kräfte in der Wechselwirkung mit dem Startblock und die Gravitationskraft nutzen:

- (1) Abdruck mit dem hinterer Fuß am Keil
- (2) Abdruck mit dem vorderer Fuß an der Vorderkante des Startblocks
- (3) Zug und/oder Druck mit der linken Hand an der Startblockvorderkante
- (4) Zug und/oder Druck mit der rechten Hand an der Startblockvorderkante
- (5) Gravitationskraft

Der zeitliche Verlauf der vier am Startblock wirksam gemachten Kräfte und als Folge dessen die erzielte Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes (KSP) sind abhängig von

- der Koordination der Muskelaktivitäten in den verschiedenen Gelenkbereichen und
- der Leistungsfähigkeit der dabei eingesetzten muskulären Antriebe.

Für eine individuelle Optimierung des Bewegungsablaufes spielt die Leistungsfähigkeit der einzelnen muskulären Antriebe eine entscheidende Rolle. Im Rahmen leistungsdiagnostischer Untersuchungen wird versucht, Kenntnis darüber zu erlangen. Dieses Wissen muss bei der empirischen Suche nach einer aktuell individuell besten Lösung bzw. beim Erarbeiten eines trainingsmethodischen Vorgehens zur Verbesserung der Teilleistung berücksichtigt werden.

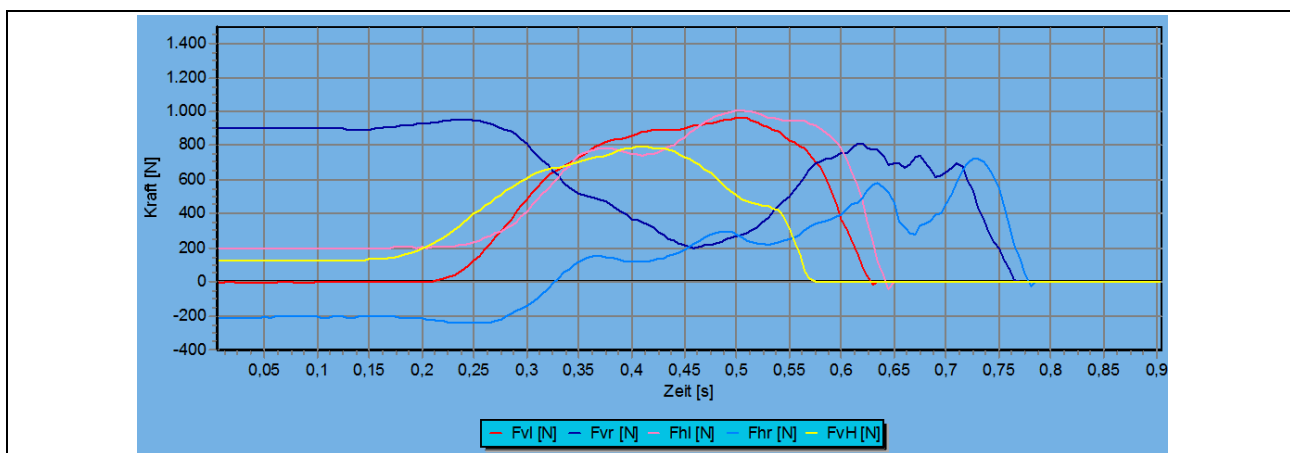


Abb. 1. Dynamogramm zum Schrittstart – Variante A



Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für den zeitlichen Verlauf der Kräfte, die vom Athleten in der Zeit vom Startsignal ( $t=0$ ) bis zum Lösen des vorderen Fußes am Startblock wirksam gemacht werden. In der Grafik gezeigt werden die horizontale (linker Fuß:  $F_{hl}$ ; rechter Fuß:  $F_{hr}$ ) bzw. vertikale Komponente (linker Fuß:  $F_{vl}$ ; rechter Fuß:  $F_{vr}$ ) für jeden Fuß und die vertikale Komponente ( $F_{vH}$ ) als Summe für beide Hände.

Das Beispiel der Abbildung 1 spiegelt wider, dass der Athlet in der Ausgangsstellung eine **Vorspannung** sowohl in horizontaler Richtung zwischen hinterem Fuß ( $F_{hl} > 0$ ) und vorderem Fuß ( $F_{hr} = -F_{hl} < 0$ ) als auch in vertikaler Richtung durch Zug an der Startblockvorderkante ( $F_{vH} > 0$ ) und Abdruck durch den vorderen Fuß ( $F_{vr} = -F_{vH} - G$ ) aufbaut. Die vertikale Komponente des hinteren Fußes (rote Linie) ist Null, d.h. das gesamte Körpergewicht ruht auf dem vorderen Bein (dunkelblaue Linie). Die Summe der fünf äußeren Kräfte ist Null - Voraussetzung für eine stabile Körperposition in der Ausgangsstellung.

Mit dem Aufbau einer Vorspannung (Aufbau einer erhöhten Muskelzugspannung in verschiedenen Gelenkbereichen) werden anatomisch mögliche Beschleunigungswege mit einer **Anfangskraft** genutzt. Als Folge dessen kann bei gleichem Beschleunigungsweg eine höhere mechanische Arbeit  $A$  am Widerlager verrichtet werden:

$$A = \sum F_i * ds_i \quad (10)$$

mit  $F_i$  : mittlere Kraft für den Abschnitt  $i$  des Beschleunigungsweges  $s$   
 $ds_i$ :  $i$ -ter Abschnitt des Beschleunigungsweges  $s$

Mit einer Vorspannung wird im ersten Teil des Beschleunigungsweges eine höhere mittlere Kraft als ohne Vorspannung realisiert. Dadurch werden einzelne Teilkörpermassen auf eine höhere Geschwindigkeit beschleunigt, so dass bei optimaler Koordination der Streckbewegungen in den verschiedenen Gelenkbereichen und ausreichender Leistungsfähigkeit der wirksamen Muskulatur eine höhere Geschwindigkeit des KSP am Ende des Absprungs möglich wird.

### 3.2.1 Varianten der Ausgangsstellung

Im Wettkampf können beim Schrittstart in Bezug auf die Ausgangsstellung verschiedene Varianten beobachtet werden. Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele: Variante A (KSP nach vorn verlagert) und Variante B (KSP nach hinten verlagert).



Abb. 2. Ausgangsstellung beim Schrittstart: Variante A (Bahn 5) und Variante B (Bahn6)

In Tabelle 3 sind charakteristische Merkmale, Vorteile und erhöhte Anforderungen für die Varianten A und B gegenübergestellt.

Tab. 3. Vergleich der Ausgangstellung von Variante A und B

	Variante A: KSP vorn	Variante B: KSP hinten
<b>Merkmale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hinterer Fuß wird auf dem Fußballen möglichst hoch auf dem Keil positioniert.</li> <li>– Kniewinkel (hinteres Bein) ca. 90 Grad</li> <li>– Schultern vor der Startblockvorderkante.</li> <li>– Unterschenkel des vorderen Beines steht senkrecht oder ist etwas nach vorn geneigt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hinterer Fuß wird auf dem Fußballen möglichst hoch auf dem Keil positioniert.</li> <li>– Kniewinkel (hinteres Bein) &lt;&lt; 90 Grad.</li> <li>– Schultern hinter der Startblockvorderkante.</li> <li>– Unterschenkel des vorderen Beines ist nach hinten geneigt.</li> </ul>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abdruck vom Keil (Strecken des Kniegelenks/hinteres Bein) sichert von Beginn an eine wirksame Beschleunigung in horizontaler Richtung (Abb. 3).</li> <li>– Blockzeiten <math>\leq 0,6</math> s werden von einigen Athleten stabil erreicht.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zug mit den Händen an der Startblockvorderkante kann wirksamer für eine Beschleunigung in horizontaler Richtung genutzt werden.</li> <li>– längerer Beschleunigungsweg bei der Kniestreckung (hinteres Bein)</li> <li>– Stabile Körperposition mit geringeren Anforderungen an das Gleichgewichtsgefühl</li> </ul>
<b>Erhöhte Anforderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– an das Gleichgewichtsgefühl</li> <li>– an die Stabilität im Fuß auf dem Keil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– an die Kraftfähigkeiten bei der Kniestreckung des hinteren Beines (enger Kniewinkel)</li> <li>– in Bezug auf die Arbeit gegen die Schwerkraft (ein Teil des Körpergewichts wird vom hinteren Bein/Fuß getragen (vgl. Abb. 4,5).</li> </ul>

Der Vergleich der Dynamogramme beider Varianten zeigt, dass der Athlet mit Variante B (siehe Abb. 3)

- einen Teil des Körpergewichts auf den hinteren Fuß verlagert (dunkelrote Linie),
- in vertikaler Richtung eine größere Vorspannung aufbaut,
- den hinteren Fuß bei annähernd gleicher Reaktionszeit ca. 0,1 s später löst.

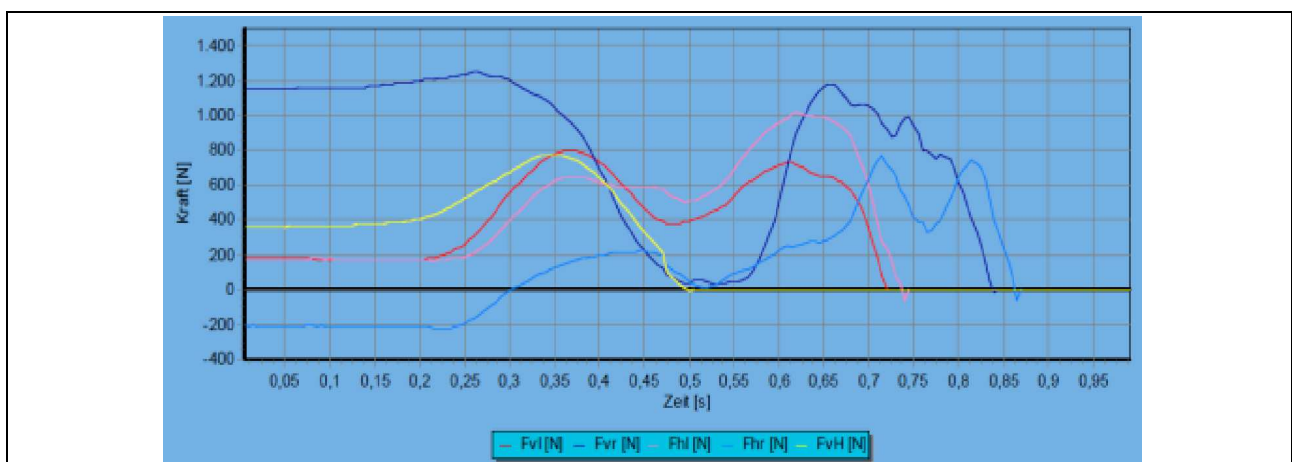


Abb. 3. Dynamogramm zum Schrittstart – Variante B

In Abbildungen 4 und 5 sind die wesentlichen Unterschiede zwischen Variante A und B in Bezug auf die Anforderungen an die muskulären Antriebe, die für eine Streckung im Kniegelenk des hinteren Beines eingesetzt werden, bei Ausgangsstellung und Beginn der Streckung im Kniegelenk dargestellt.

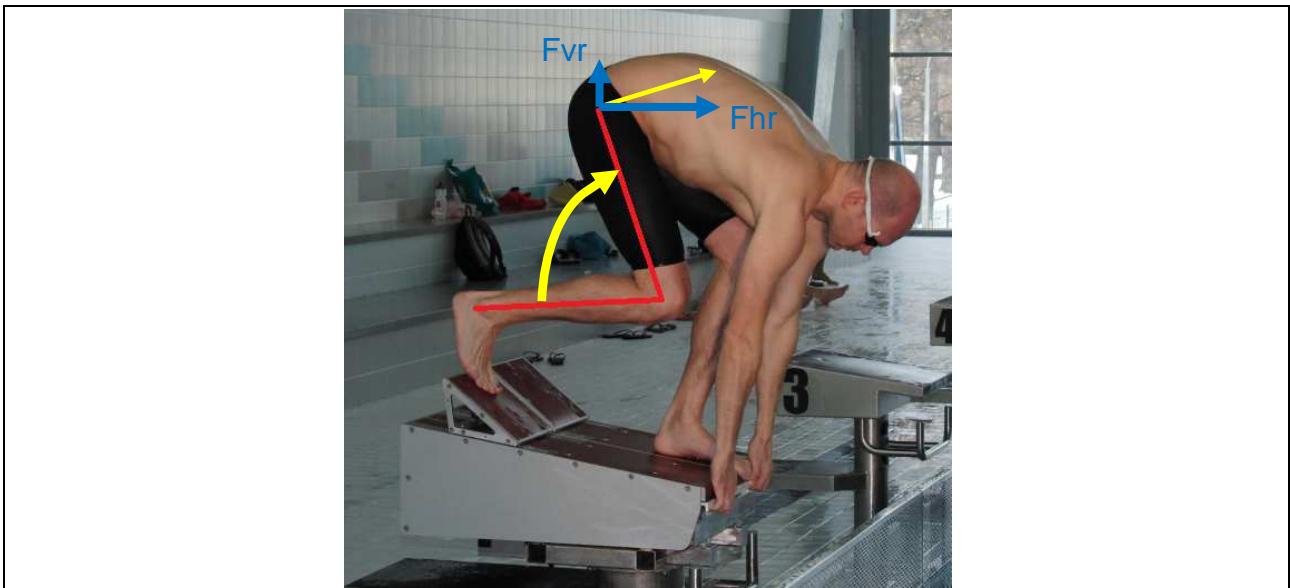


Abb. 4. Zum Kräfteinsatz bei Variante A

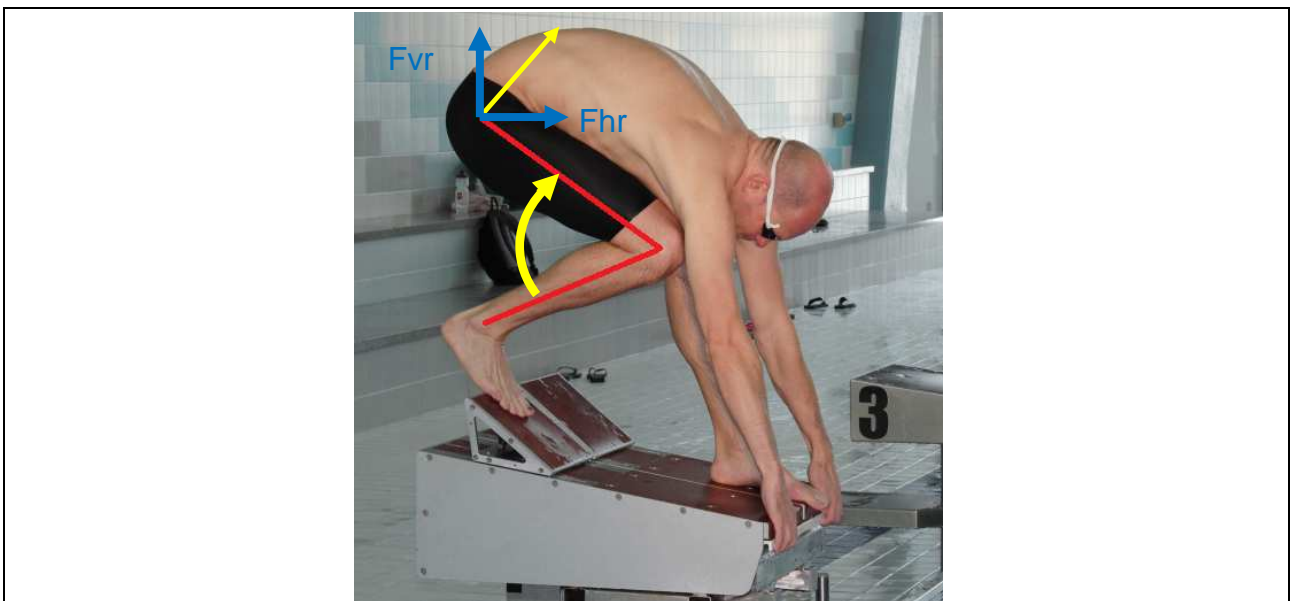


Abb. 5. Zum Kräfteinsatz bei Variante B

Die Ergebnisse aus Wettkampfanalysen spiegeln wider, dass Schwimmerinnen und Schwimmer mit beiden Varianten Top-Leistungen im Startabschnitt erreichen. Grundlage für Spitzenwerte der 15-m-Zeit sind kurze Blockzeiten und höchste Absprunggeschwindigkeiten. Für beide Parameter werden bei den Schnellsten im Startabschnitt nur geringe Unterschiede von Athleten mit Variante A gegenüber jenen mit Variante B bestimmt.

An dieser Stelle sei daraufhin gewiesen, dass Variante B extreme Anforderungen (im Vergleich zu den Anforderungen in der zyklischen Bewegung der Schwimmarten) an die Mus-

kulatur für die Kniestreckung stellt. Diesen Anforderungen sollte im Krafttraining Rechnung getragen werden.

### 3.2.2 Gestaltung des Auftakts

Das Gleichgewicht der äußeren Kräfte, das in der Ausgangsstellung realisiert wird, kann durch kleinste Veränderungen einzelner Kräfte in eine Vorwärtsbewegung überführt werden. Dafür hat der Athlet folgende Möglichkeiten:

- Erhöhung des Abdruckes durch das hintere Bein
- Verringerung des Abdruckes durch das vordere Bein
- Verstärken des Zuges an der Startblockvorderkante

Der Zeitpunkt, wo Veränderungen an einer oder mehreren Komponenten der Bodenreaktionskräfte auftreten, wird als **Reaktionszeit** bestimmt. Die Reaktionszeiten von wett-kampferfahrenen Schwimmerinnen und Schwimmern liegen im Bereich um 0,15 s und unterscheiden sich nur um wenige Hundertstelsekunden voneinander (vgl. Abb. 1, 4, 6).

Die Ergebnisse aus der Analyse zahlreicher Einzelstarts zeigen, dass längere Blockzeiten in den meisten Fällen nicht auf ein spätes Reagieren oder zu geringe Kraftvoraussetzungen sondern auch auf eine unzweckmäßige Koordination von Teilkörperbewegungen in der Ausgangsstellung und während des Auftaktes zurückgeführt werden können. Häufige Ursachen für lange Blockzeiten sind

- eine fehlende oder sehr geringe Vorspannung in horizontaler Richtung: ist mit einem verzögerter Aufbau der horizontalen Kraftkomponente am Keil verbunden (vgl. Abb. 6: Ansteigen der Kraftkomponenten erst ab 0,25 s)
- nach dem Startsignal keine oder eine zu geringe Erhöhung der Zugkraft an der Startblockvorderkante (vgl. Abb. 6: gelbe Linie)
- eine fehlende Stabilität im Fußgelenk des hinteren Fußes (vgl. Abb. 7): führt zu einer rückwärts gerichteten Bewegung des Fußes am Beginn der Kniestreckung es hinteren Beines und damit zu einem verzögerten Kraftaufbau in horizontaler Richtung

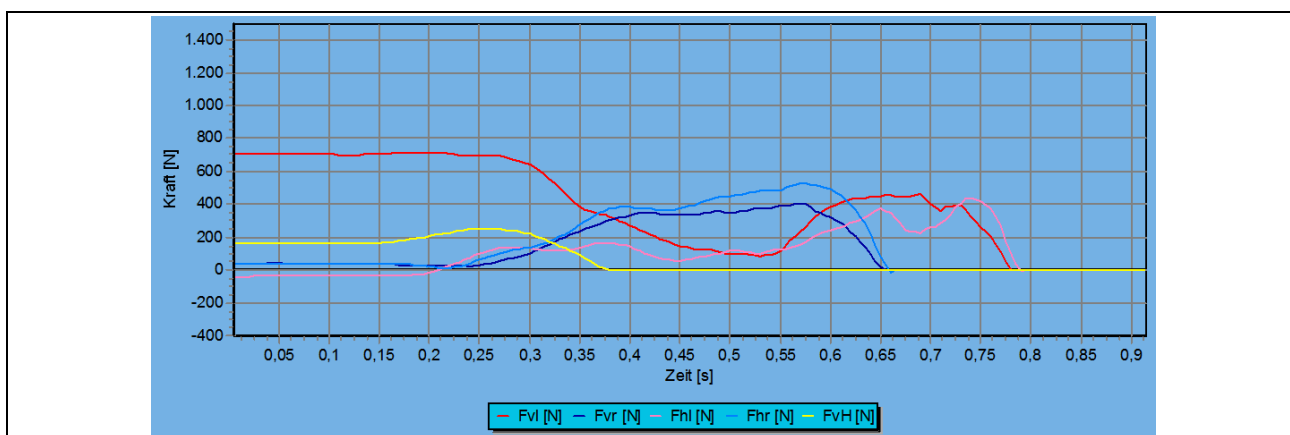


Abb. 6. Dynamogramm zu einem Schrittstart mit kleiner Vorspannung, geringer Erhöhung des Kräfteinsatzes beim Zug an der Startblockvorderkante und flachem Ansteigen der Kraft am Keil



Abb. 7. Auftakt: Fehlende Stabilität der Fußstellung (hinterer Fuß)

Abbildung 7 zeigt ein Beispiel, wo die Ferse des hinteren Fußes mit dem Beginn der Kniestreckung des zurückgestellten Beines nach hinten/unten ausweicht. Die Folge ist ein in Bezug zur Reaktion (vgl. Abb. 8: ca. 0,15 s) verzögerter Anstieg der Kraftkomponente des hinteren Fußes (vertikal/dunkelblaue Linie bei ca. 0,22 s bzw. horizontal/hellblaue Linie >0,25 s).

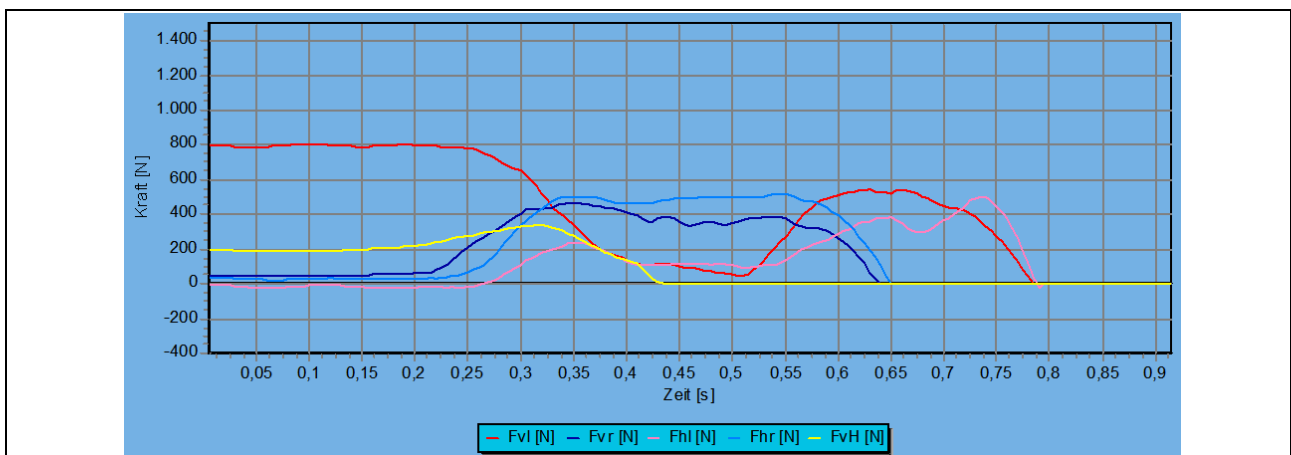


Abb. 8. Dynamogramm zu einem Schrittstart mit kleiner Vorspannung, geringer Erhöhung des Kräfteinsatzes an der Startblockvorderkante und verzögertem Kräfteaufbau am Keil

Die Ziele des Auftaktes sind (siehe Tab. 1)

- eine schnelle Verlagerung des Körperschwerpunktes in die Schwimmrichtung
- die Unterstützung eines kraftvollen Absprunges

Eine schnelle Vorverlagerung des Körperschwerpunktes gelingt, wenn schnell hohe Kräfte in horizontaler Richtung wirksam gemacht werden. Der größte Anteil der Arbeit, die durch die muskulären Antriebe am Beginn der Bewegung auf dem Block für eine Beschleunigung in horizontaler Richtung wirksam gemacht werden kann, resultiert aus der Streckung im Kniegelenk des hinteren Beines. Ein kleinerer Teil wird durch ein kraftvolles Ziehen mit den Händen an der Startblockvorderkante beigetragen. Beide Aktionen müssen nach dem Startsignal möglichst schnell ausgeführt werden. Wenn es gelingt, auf das Startkommando nahezu gleichzeitig mit einem kraftvollen Abdruck vom Keil (bei stabilem Fußgelenk) und



einem kraftvollen Zug an der Startblockvorderkante zu reagieren, ist eine schnelle Vorverlagerung des KSP möglich.

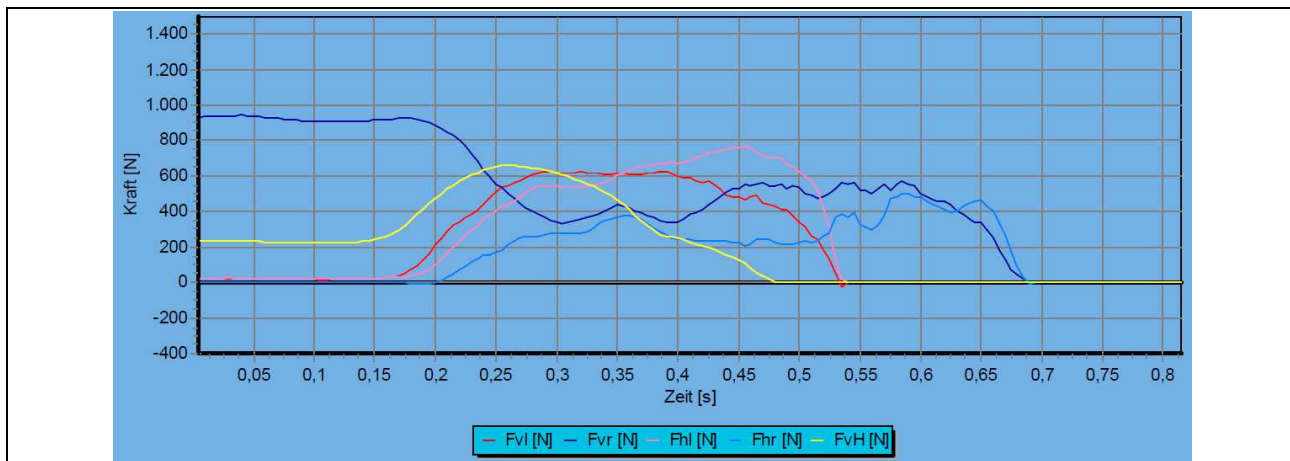


Abb. 9. Dynamogramm zu einem Schrittstart mit kleiner Vorspannung, starkem Anstieg des Kräfteinsatzes an der Startblockvorderkante und frühem Kräfteaufbau am Keil

Abbildung 9 zeigt ein dafür typisches Dynamogramm von einem Athleten, der beides in vorbildlicher Weise realisiert und sowohl im Training als auch im Wettkampf stabil Blockzeiten unter 0,7 s erreicht. Ergänzend ist anzumerken, dass für diesen Athleten bei der Leistungsdiagnose nur mittelmäßige Werte im Sprungkrafttest (Treibhöhe) bzw. beim Starttest (Absprunggeschwindigkeit) bestimmt werden.

### 3.3 Koordination von Teilkörperbewegungen bei Auftakt und Absprung

Das Hauptziel der Bewegung auf dem Block ist eine hohe Absprunggeschwindigkeit in horizontaler Richtung. Ausgehend von der Ausgangsstellung können verschiedene Teilkörperbewegungen für eine Beschleunigung genutzt werden:

- Strecken der Füße
- Strecken der Kniegelenke
- Strecken im unteren Rumpfbereich
- Strecken im oberen Rumpfbereich (einschließlich Kopf)
- Schwungbewegung der Arme
- Schwungbewegung des zurückgestellten Beines

Es gilt, die damit verbundenen anatomisch möglichen Antriebswege umfassend zu nutzen und optimal für das Beschleunigen der Teilkörpermassen in horizontaler Richtung einzusetzen.

Eine zentrale Rolle spielt die Beschleunigung des Rumpfes, weil er ca. 40 Prozent der Gesamtmasse repräsentiert und ein großer Teil der durch Muskelaktivität verrichteten Arbeit als kinetische Energie bzw. Bewegungsimpuls auf die Masse des Rumpfes übertragen wird. Im vorangegangenen Kapitel wurde bereits auf den Einfluss von Ausgangsstellung und Auftakt für eine wirksame Beschleunigung des Rumpfes am Beginn der Bewegung eingegangen. Im Folgenden soll das bisher Beschriebene weiter vertieft werden.

### 3.3.1 Zum Kräfteinsatz der Hände an der Startblockvorderkante

Der Auftakt muss in engem Zusammenhang mit dem Absprung eingeschätzt werden, weil die Gestaltung des Auftaktes die Möglichkeiten der nachfolgenden Ausführung von Teilkörperbewegungen entscheidend beeinflusst.

Tabelle 4 zeigt Eckpunkte im Bewegungsablauf auf dem Block für zwei Varianten einer Auftaktbewegung:

- (1) Variante mit aktivem Ziehen am Startblock
- (2) Variante mit Festhalten am Startblock









Bilder	Auftakt mit Ziehen am Startblock	Auftakt mit Festhalten am Startblock
Bild 1: Startsignal $t = 0 \text{ s}$		
Bild 2: Auftakt		
Bild 3: Hände Lösen		
Bild 4: Lösen des vorderen Fußes $t = t_B$		

Abb. 10. Bewegungsablauf für einen Auftakt mit Ziehen bzw. Festhalten an der Startblockvorderkante

## Variante mit aktivem Ziehen am Startblock

Nach dem Startsignal erhöht der Schwimmer (Abb. 10: linke Bildreihe) den Abdruck vom Keil. Gleichzeitig zieht er kraftvoll mit den Händen an der Startblockvorderkante. Das Beugen in den Ellenbogengelenken ist ein äußeres Zeichen für ein aktives Ziehen. Das aktive Ziehen an der Startblockvorderkante ist mit zwei Kräften verbunden (Bild 1 in Abb. 11):

- (1)  $F_{ZUG1}$ : Zugkraft 1, mit der die Hände an der Startblockvorderkante ziehen
- (2)  $F_{ZUG2}$ : Zugkraft 2, die am Rumpf angreifende Kraft

Die Summe beider Kräfte ist Null, d.h. sie haben den gleichen Betrag sind aber entgegengesetzt gerichtet (siehe B1 in Abb.11) und es gilt:

$$F_{ZUG1} = -F_{ZUG2}$$

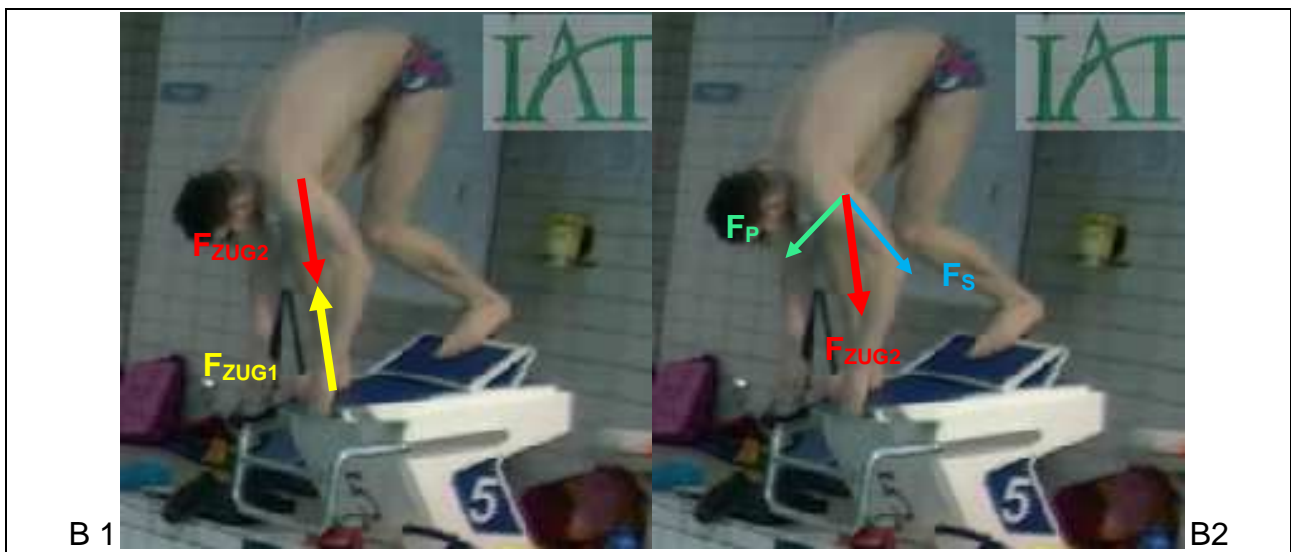


Abb. 11. Zur Wirkung der Handkraft bei kraftvollem Ziehen an der Startblockvorderkante

Die am Rumpf angreifende Kraft  $F_{ZUG2}$  kann als resultierende Kraft von zwei Teilkräften  $F_P$  und  $F_S$  dargestellt werden (siehe B2 in Abb. 11):

- $F_P$  wirkt parallel zur Verbindungslinie zwischen Schulter und Hüfte.
- $F_S$  greift senkrecht zur Verbindungslinie zwischen Schulter und Hüfte an.

Die Komponenten  $F_P$  (hellgrüner Pfeil) und  $F_S$  (hellblauer Pfeil) steigen proportional zu  $F_{ZUG2}$  (roter Pfeil) an. Je kraftvoller an der Startblockvorderkante gezogen wird umso stärker wird der Rumpfes durch  $F_P$  nach vorn/unten beschleunigt. Gleichzeitig erhöht sich durch  $F_S$  ein am Rumpf angreifendes vorwärtsdrehendes Moment, so dass die Streckbewegung im Kniegelenk des zurückgestellten Beines aktiver unterstützt wird.

Der Schwimmer in der linken Bildreihe der Abbildung 10 hat die Vorwärtsbewegung des unteren Rumpfbereiches mit dem kräftigen Ziehen an der Startblockvorderkante wirksame unterstützt. Beim Lösen der Hände wird eine Körperposition realisiert, wo der Rumpf durch ein Strecken im Oberkörper und Öffnen des Hüftwinkels wirksam in horizontaler Richtung beschleunigt werden kann. Außerdem befinden sich beide Kniewinkel in Winkelbereichen



(zurückgestelltes Bein: ca. 145 Grad; vorderes Bein: ca. 120 Grad), wo die Streckmuskulatur große Kräfte nach außen wirksam machen kann.

### Variante mit Festhalten am Startblock

Die Schwimmerin in Abbildung 10 (rechte Bildreihe) hat den Abdruck vom Keil nach dem Startsignal ebenfalls erhöht, aber sie beginnt, den Oberkörper aufzurichten und hält lediglich an der Startblockvorderkante fest. Ein Beugen im Ellenbogengelenk (als Zeichen für ein aktives Ziehen) ist nicht zu beobachten.

Das Aufrichten des Oberkörpers bei gleichzeitigem Festhalten an der Startblockvorderkante trägt zwar zur Erhöhung der gemessenen Handkraft  $F_H$  bei, ist aber mit einer Kraft  $F_{Auf}$  verbunden, die ein rückwärtsdrehendes Moment auf den Rumpf erzeugt und einem Strecken im Kniegelenk des zurückgesetzten Beines entgegenwirkt (siehe Abb. 12).

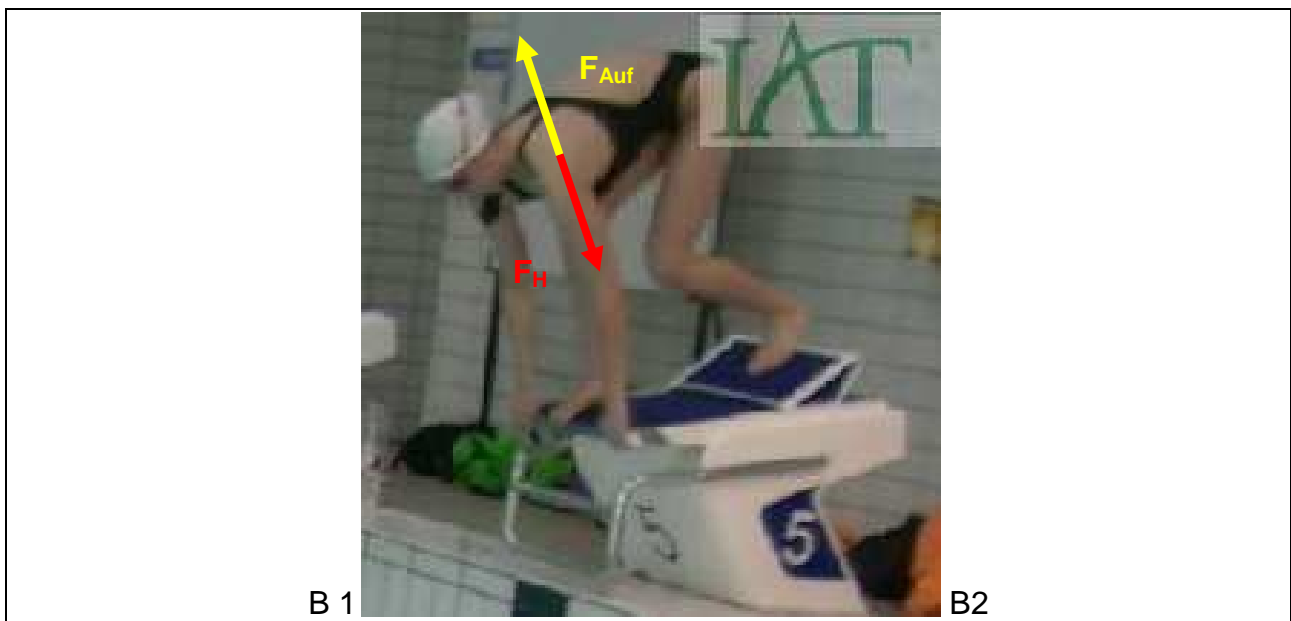


Abb. 12. Zur Wirkung der Handkraft beim Festhalten an der Startblockvorderkante

Beim Lösen der Hände hat die Schwimmerin den Rumpf nur wenig vorwärts bewegt, der Kniewinkel des zurückgestellten Beines liegt immer noch nahe 90 Grad und die Verbindungslinie zwischen Schulter und Hüfte bilden nur einen kleinen Winkel mit der Horizontalen. Aus dieser Körperposition kann diese Athletin die Streckbewegung des Oberkörpers und das Öffnen des Hüftwinkels nur noch wenig für eine Beschleunigung des Rumpfes in horizontaler Richtung einsetzen.

*Extrem kurze Blockzeiten (0,6 s und weniger) werden vorrangig für Schwimmerinnen und Schwimmern gemessen, die nach dem Startkommando aktiv und kraftvoll an der Startblockvorderkante ziehen.*

### 3.3.2 Koordination von Schwung- und Streckbewegungen beim Absprung

Beim Schrittstart kann im Vergleich zum Greifstart neben den Armen zusätzlich das zurückgestellte Bein als Schwungelement eingesetzt werden. Auch beim Schrittstart wird der größte Teil der Beschleunigungsleistung während der Bewegung auf dem Block durch die

Streckbewegungen der unteren Extremitäten generiert. Durch eine zweckmäßige Koordination der Schwungbewegungen mit den Streckbewegungen sollen die Arbeitsbedingungen der Hauptantriebe so beeinflusst werden, dass während des Abdrucks der Füße vom Keil bzw. von der Startblockvorderkante ein höherer Kraftimpuls am Widerlager (vor allem in horizontaler aber auch in vertikaler Richtung) wirksam gemacht werden kann. In Bezug auf den **Armschwung** sind in der Wettkampfpraxis zahlreiche Varianten zu beobachten. Abbildung 12 zeigt die Körperposition zu vier Zeitpunkten (erste Reaktion, Lösen der Hände, Lösen des hinteren Fußes, Lösen des vorderen Fußes) für zwei Varianten.









Zeitpunkt	Sportler A	Sportler B
Bild 1 Erste Reaktion	 A swimmer in a green cap and green briefs is in a starting crouch on a pool deck. A coach in a white shirt stands to the left.	 A swimmer in a yellow cap and purple briefs is in a starting crouch on a pool deck. A coach in a white shirt stands to the left.
Bild 2 Lösen der Hände	 The swimmer in green is leaning forward, with hands still on the starting block.	 The swimmer in purple is leaning forward, with hands still on the starting block.
Bild 3 Lösen des hinteren Fußes	 The swimmer in green is leaning forward, with the back foot still on the starting block.	 The swimmer in purple is leaning forward, with the back foot still on the starting block.
Bild 4 Lösen des vorderen Fußes	 The swimmer in green is in a streamlined position, with the front foot still on the starting block.	 The swimmer in purple is in a streamlined position, with the front foot still on the starting block.

Abb. 13. Vergleich des Bewegungsablaufes für zwei Varianten des Armschwungs

Beide Sportler A und B realisieren eine in den wesentlichen Merkmalen gleiche Ausgangsstellung:

- Kompakte Körperposition (Oberkörper eng am Oberschenkel des vorderen Beines)
- Schultern vor der Startblockvorderkante
- Fuß hoch auf dem Keil positioniert

. Körperhaltung und Vorspannung sind nur geringfügig unterschiedlich.

Tab. 4. Zeitdifferenzen in Sekunden für Sportler A und B

Zeitpunkt	in Bezug zum Startsignal		in Bezug zur ersten Reaktion	
	Sportler A	Sportler B	Sportler A	Sportler B
Erste Reaktion	0,20	0,15	0	0
Lösen der Hände	0,45	0,50	0,25	0,35
Lösen des hinteren Fußes	0,68	0,57	0,48	0,42
Lösen des vorderen Fußes	0,80	0,72	0,60	0,57

In Tabelle 4 sind die Werte für die oben genannten vier Zeitpunkte des Bewegungsablaufs einmal in Bezug zum Startsignal und zum Zweiten in Bezug zur ersten Reaktion dargestellt. Zum Bewegungsablauf beider Athleten kann Folgendes zusammengefasst werden:

- Die erste Reaktion ist bei beiden Sportlern eine Erhöhung des Kräfteinsatzes beim Griff mit den Händen an der Startblockvorderkante. Für beide Sportler wird ein Kraftmaximum von ca. 700 N gemessen.
- Im Dynamogramm zeigt sich ein kleiner Unterschied bei der Reaktionszeit (0,05 s).
- Unterschiedlich ist auch das Zeitintervall von der ersten Reaktion bis zum Lösen der Hände vom Startblock: 0,25 s für Sportler A bzw. 0,35 s für Sportler B.
- Das längere Ziehen an der Startblockvorderkante (Sportler B) ist einerseits mit einem größeren Kraftimpuls für die Vorwärtsbewegung des Rumpfes verbunden, aber andererseits verbleiben die Hände eine Zehntelsekunde länger an der Startblockvorderkante.
- Das Zeitintervall vom Lösen der Hände bis zum Lösen des vorderen Fußes dauert bei Sportler B lediglich 0,22 s. Sportler A stehen für die Ausführung eines Armschwungs 0,35 s zur Verfügung.

Wenn Sportler B den Armschwung in gleicher Weise wie Sportler A ausführen wollte, müsste er körperbezogen einen nur geringfügig größeren Gelenkwinkelbereich (Drehung um die Schulterachse; siehe Abb. 12: Bilder 2 und 4) in nur zwei Dritteln der Zeit zurücklegen. Das erfordert höhere Beschleunigungsleistungen durch die Muskulatur sowohl der oberen Extremitäten (für das nach vorn Schwingen der Arme) als auch der unteren Extremitäten (für die Beschleunigung des Rumpfes: Streckung im Rumpf, Strecken von Kniegelenk und Fuß), wenn auf den Rumpf mindestens die gleiche Bewegungsenergie wie ohne Armschwung übertragen werden soll.

Ein Beschleunigen der Arme relativ zum Rumpf ist mit einem Abbremsen des Rumpfes verbunden (Wechselwirkungsprinzip: actio = reactio). Damit unterstützt ein Armschwung (der in der Endphase der Streckbewegungen kraftvoll ausgeführt wird) die Zielstellung, im

Abdruck vom Block größere Kräfte wirksam zu machen. Das kann aber nur umgesetzt werden, wenn die Streckmuskulatur ausreichend leistungsfähig ist.

Aus dem Vergleich der zwei Varianten des Armschwungs lassen sich verschiedene, für die Praxis interessante Fragen ableiten:

- Könnte Sportler A durch eine Intensivierung des Krafteinsatzes beim Ziehen an der Startblockvorderkante die Möglichkeiten für ein Beschleunigen des Rumpfes in horizontaler Richtung noch besser nutzen und im Ergebnis eine höhere Absprunggeschwindigkeit bzw. eine kürzere Blockzeit erzielen?
- Könnte Sportler B durch ein Verkürzen des Ziehens an der Startblockvorderkante die Amplitude des Armschwungs vergrößern und den Armschwung besser für ein Beschleunigen in horizontaler Richtung nutzen?
- Wie ändern sich die Anforderungen an muskuläre Antriebe in verschiedenen Gelenkbereichen, wenn die Koordination von Teilkörperbewegungen verändert wird?

Erkenntnisse zu diesen Fragen würden Simulationsrechnungen mit einfachen Gliedmodellen liefern. Im Rahmen eines BISP-Projektes wurde am Institut für Mechatronik in Chemnitz ein solches Modell zur Beschreibung des Absprungs beim Schrittstart entwickelt. Praxisrelevante Ergebnisse liegen derzeit aber derzeit nicht vor.

Antworten auf diese Fragen liefert aktuell nur das Experiment auf der Basis von „Versuch und Irrtum“.

Mit dem Lösen des hinteren Fußes ist das in der Ausgangsstellung zurückgestellte Bein gestreckt und kann nachfolgend – in der Endphase der Kniestreckung des vorderen Beines als **Schwungbein** aufwärts bewegt werden. Bei dieser Aufwärtsbewegung wird eine Arbeit gegen die Schwerkraft verrichtet. Dafür sind Stützkräfte notwendig, die über den vorderen Fuß an der Startblockvorderkante wirksam gemacht werden. Darüber hinaus muss im Stütz des vorderen Fußes auch eine horizontale Komponente der Kraft für eine weitere Beschleunigung von Rumpf und Schwungbein wirksam sein.

### 3.4 Rolle des Drehimpulses bei Flug und Eintauchen

Der Einsatz des Schwungbeines ist neben einer Verlängerung der Flugzeit  $t_f$  durch Erhöhung der Absprungposition  $Y_0$  und/oder Vergrößerung der Geschwindigkeit in vertikaler Richtung  $v_{0y}$  auch mit einem **Drehimpuls** (Drehung um die Hüftachse) verbunden.

Der Drehimpuls  $D_i$  eines Körpers bei einer Drehung um eine Achse  $i$  ist das Produkt aus dem Trägheitsmoment des Körpers  $J_i$  bezüglich der Achse  $i$  und der Drehgeschwindigkeit  $\omega_i$  um die Achse  $i$  :

$$D_i = J_i * \omega_i \quad . \quad (11)$$

Ein Drehimpuls ist notwendig, damit sich das System „Schwimmer“ während des Fluges soweit dreht, dass ein widerstandsgünstiges Eintauchen realisiert werden kann. In Abbil-

Abbildung 14 zeigt die Körperpositionen beim Lösen der Füße und beim Eintauchen der Hände beispielhaft dargestellt.

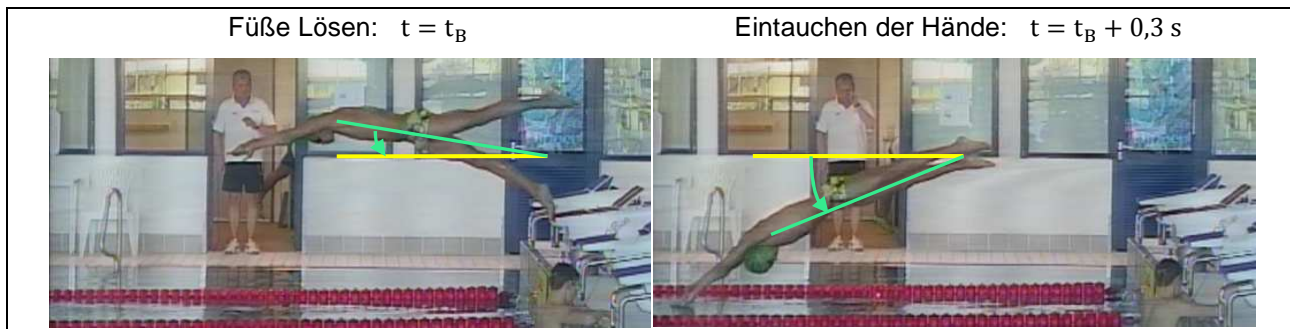


Abb. 14. Drehung während des Fluges

Im Beispiel der Abbildung 14 dreht sich das System „Schwimmer“ im Zeitintervall von 0,3 s um ca. 40 Grad. Das entspricht einer mittleren Drehgeschwindigkeit von etwa 135 Grad pro Sekunden. Dies ist ein niedriger Wert im Vergleich zu Sportarten mit hohen Rotationsgeschwindigkeiten (Wasserspringen, Turnen, Eiskunstlaufen). Im Wasserspringen werden beim Vierfachsalto Drehgeschwindigkeiten um 1100 Grad pro Sekunde bestimmt – aber nur für die Phasen, in denen eine enge Körperhaltung eingenommen wird. Dabei ist das **Trägheitsmoment** des Systems „Springer“ sehr klein. Mit der Streckung in der Endphase des Fluges wird das Trägheitsmoment um ein Vielfaches erhöht und als Folge dessen die Drehgeschwindigkeit auf einen Bruchteil reduziert.

Das Trägheitsmoment  $J_i$  hängt von der Massenverteilung in Bezug auf die Drehachse  $i$  ab:

$$J_i \propto m_k r_{ik}^2, \quad (12)$$

wobei  $r_{ik}$  der Abstand der betrachteten Masse  $m_k$  zur Drehachse  $i$  ist.

Im Beispiel der Abbildung 14 ändert sich die Körperhaltung des Schwimmers in der Zeit vom Lösen der Füße bis zum Eintauchen der Hände nur wenig, d.h. sein Trägheitsmoment und als Folge dessen auch seine Drehgeschwindigkeit sind annähernd konstant. Wenn er nach dem Lösen der Füße eine enge, kompakte Körperhaltung (wie die Wasserspringer beim Vierfach-Salto) einnehmen würde, könnte er das Trägheitsmoment reduzieren - etwa auf ein Viertel des Wertes bei gestreckter Körperhaltung, wenn sich der Abstand der drehenden Teilkörpermassen im Mittel halbiert. Entsprechend der Gleichung 11 würde sich die Drehgeschwindigkeit auf das Vierfache erhöhen.

*Durch das zeitweise Einnehmen einer engeren Körperhaltung (Hocke; Bücke) kann erreicht werden, dass während des Fluges ein größerer Drehwinkel und damit ein steilerer Eintauchwinkel realisiert wird.*

Abbildung 15 zeigt vier Momentaufnahmen zum Bewegungsablauf für einen häufig zu beobachtenden Fehler, der in der Endphase des Absprungs begangen wird: Der Hüftwinkel wird zu wenig geöffnet.

Die Folgen sind:

- Ein großer Drehimpuls im Moment des Lösens vom Startblock



- eine hohe Drehgeschwindigkeit (auch bei gestreckter Körperhaltung)
- eine steile Körperposition beim Eintauchen.

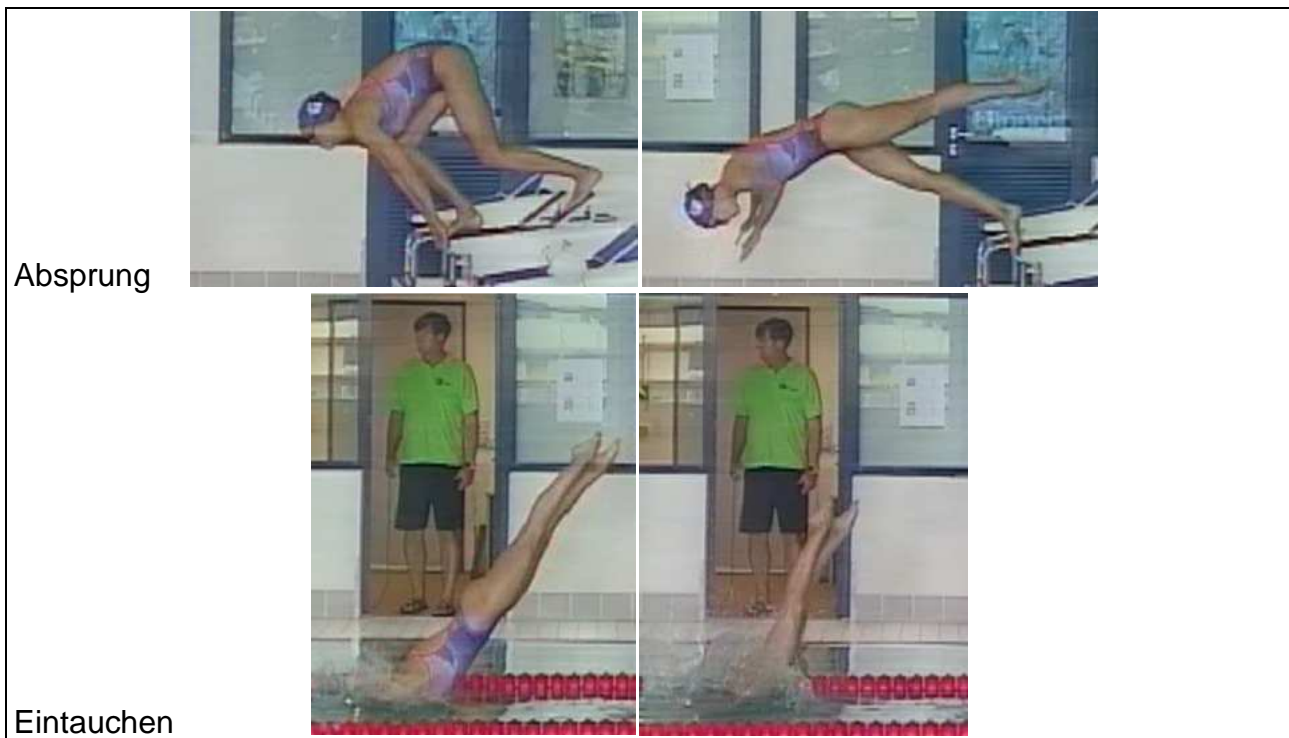


Abb. 15. Steiles Eintauchen als Folge einer zu geringen Öffnung des Hüftwinkels beim Absprung

Beim Eintauchen muss die Wirkung des Drehimpulses kompensiert werden, um ein zu steiles, tiefes Eintauchen zu vermeiden. Dafür werden Flächen gegen die Bewegungsrichtung angestellt, was nicht nur die Abwärtsbewegung (vertikale Richtung) sondern auch die Vorwärtsbewegung (horizontale Richtung) stark abbremst.

*Ein zu großer Drehimpuls am Ende des Absprungs ist unbedingt zu vermeiden, weil einer damit verbundenen hohen Drehgeschwindigkeit und daraus resultierenden negativen Auswirkungen (beim Eintauchen) auf die Schwimgeschwindigkeit nicht mehr (während des Fluges) entgegen gewirkt werden kann.*

Größe und Richtung des Drehimpulses werden wesentlich durch die Koordination der Streckbewegungen (Streckung des Oberkörpers, Öffnen des Hüftwinkels) mit den Schwungbewegungen (Armschwung, Schwungbein) bestimmt. In den Beispielen der Abbildungen 10 und 13 haben Schwimmerin bzw. Schwimmer diese Abstimmung gut gelöst.

### 3.5 Wirkung des Wasserwiderstands

Die für das Wettkampfergebnis entscheidende Größe ist der Verlauf der horizontalen Komponente der Bewegungsgeschwindigkeit des Systems „Schwimmer“. Die Endzeit  $t_{end}$  ist die Summe der Teilzeiten  $\Delta t_i$ , die der „Schwimmer“ für das Zurücklegen der Teilstrecken  $\Delta s_i$  benötigt. Dabei gilt:

$$t_{end} = \sum_i \Delta t_i = \sum_i \frac{\Delta s_i}{v_i} \quad (13)$$

Darin ist  $v_i$  der Mittelwert der horizontalen Geschwindigkeit für die Teilstrecke  $\Delta s_i$ .

In Abbildung 16 ist der Verlauf der horizontalen Komponente der Geschwindigkeit am Beispiel eines Rennverlaufs über 50 m Freistil der Männer dargestellt.

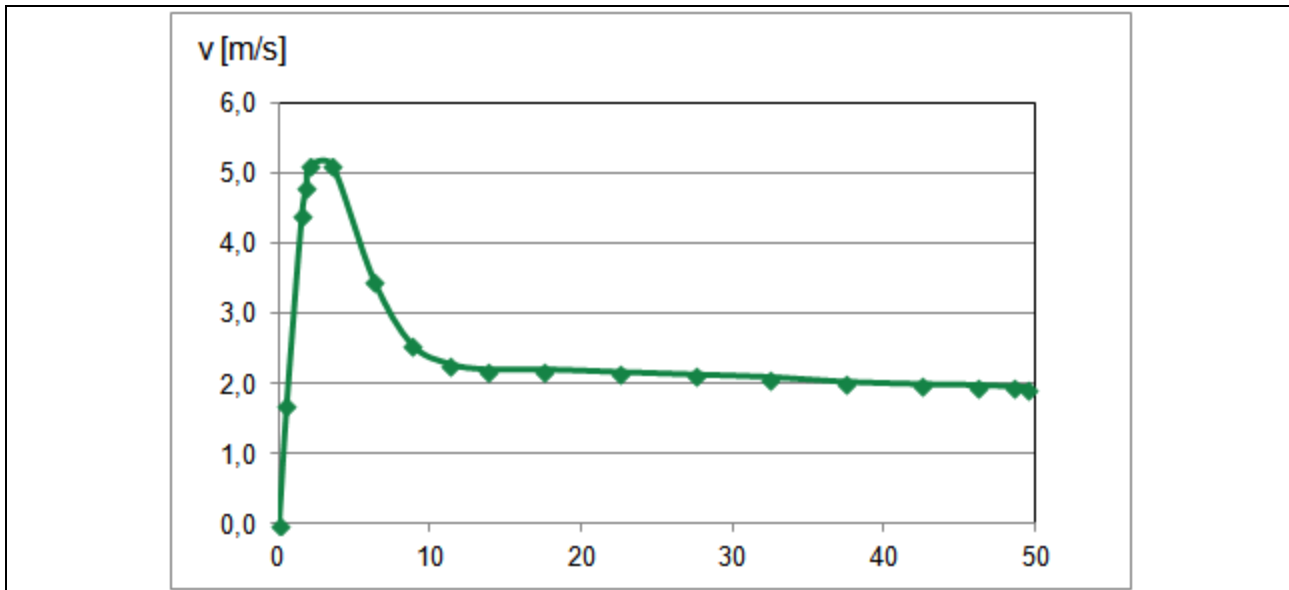


Abb. 16. Geschwindigkeit von B. Proud/GBR im Finale über 50 m Freistil bei der EM 2016

Zusammenfassend kann zum Verlauf der Geschwindigkeit eingeschätzt werden:

- Am Ende des Absprunges (beim Lösen des vorderen Fußes vom Startblock) werden von den besten Schwimmerinnen und Schwimmern Geschwindigkeiten realisiert, die zwei- bis dreimal höher als die beim Schwimmen in der zyklischen Bewegung sind.
- Während des Fluges (bis zum ersten Wasserkontakt: in der Regel bis zum Eintauchen der Hände) ist die horizontale Komponente der Geschwindigkeit annähernd konstant, weil die bremsende Wirkung des Luftwiderstandes vernachlässigbar klein ist.
- In der Zeit vom Eintauchen der Hände bis zum Eintauchen der Füße verringert sich die Geschwindigkeit im günstigen Fall (bei optimaler Gestaltung des Eintauchens) um ca. 20 %.
- Nachfolgend können auch die besten „Delfine“ im Übergang wenig gegen einen weiteren starken Abfall der Geschwindigkeit tun, weil die Antriebsimpulse, die mit den Delfinkicks erzeugt werden, viel kleiner als Summe der bremsenden Impulse durch die Wirkung des Wasserwiderstandes sind.
- Den ersten Kraularmzug beginnen die weltbesten Krauler bei ca. 2,3 m/s. Dieses Niveau kann nicht gehalten werden. Die Antriebsimpulse, die beim Kraulschwimmen in der Wechselwirkung mit dem Wasser (in der Summe) vortriebswirksam gemacht werden können, sind geringer als die Summe der in horizontaler Richtung bremsend wirkenden Impulse des Wasserwiderstandes.
- Auch bei den weltbesten Kraulern verringert sich die Geschwindigkeit in kleinen Schritten stetig. Am Ende der Bahn werden für die Schnellsten ca. 2 m/s bestimmt.

### 3.5.1 Optimieren des Bewegungsablaufs beim Eintauchen

Ein Optimieren des Bewegungsablaufs beim Eintauchen erfolgt mit dem Ziel, den Abfall der horizontalen Geschwindigkeitskomponente des Körperschwerpunktes zu minimieren. Die Wasserwiderstandskräfte, die beim Eintauchen wirken, können zwar nicht direkt gemessen werden, aber Menge und Intensität des dabei bewegten Wassers (in die Luft „spritzendes“ Wasser, Welle, Wirbelfelder unter Wasser) liefern dem aufmerksamen Beobachter Informationen dazu.

*Je mehr und intensiver Wasser beim Eintauchen bewegt wird, umso größer sind Impuls bzw. kinetische Energie, die vom Schwimmer auf das Wasser übertragen werden – umso stärker wird die Bewegung des Schwimmers abgebremst.*

Die Abgabe von Energie bzw. Impuls wird minimiert, wenn der Schwimmer die Wasseroberfläche in einem kleinen Bereich durchstößt. Dafür müssen die Hände an der Stelle eintauchen, wohin die Hüfte fliegt. Diese Stelle entspricht annähernd dem Eintauchpunkt des KSP, welcher durch die Absprungparameter bestimmt wird (vgl. Kapitel 3.1).

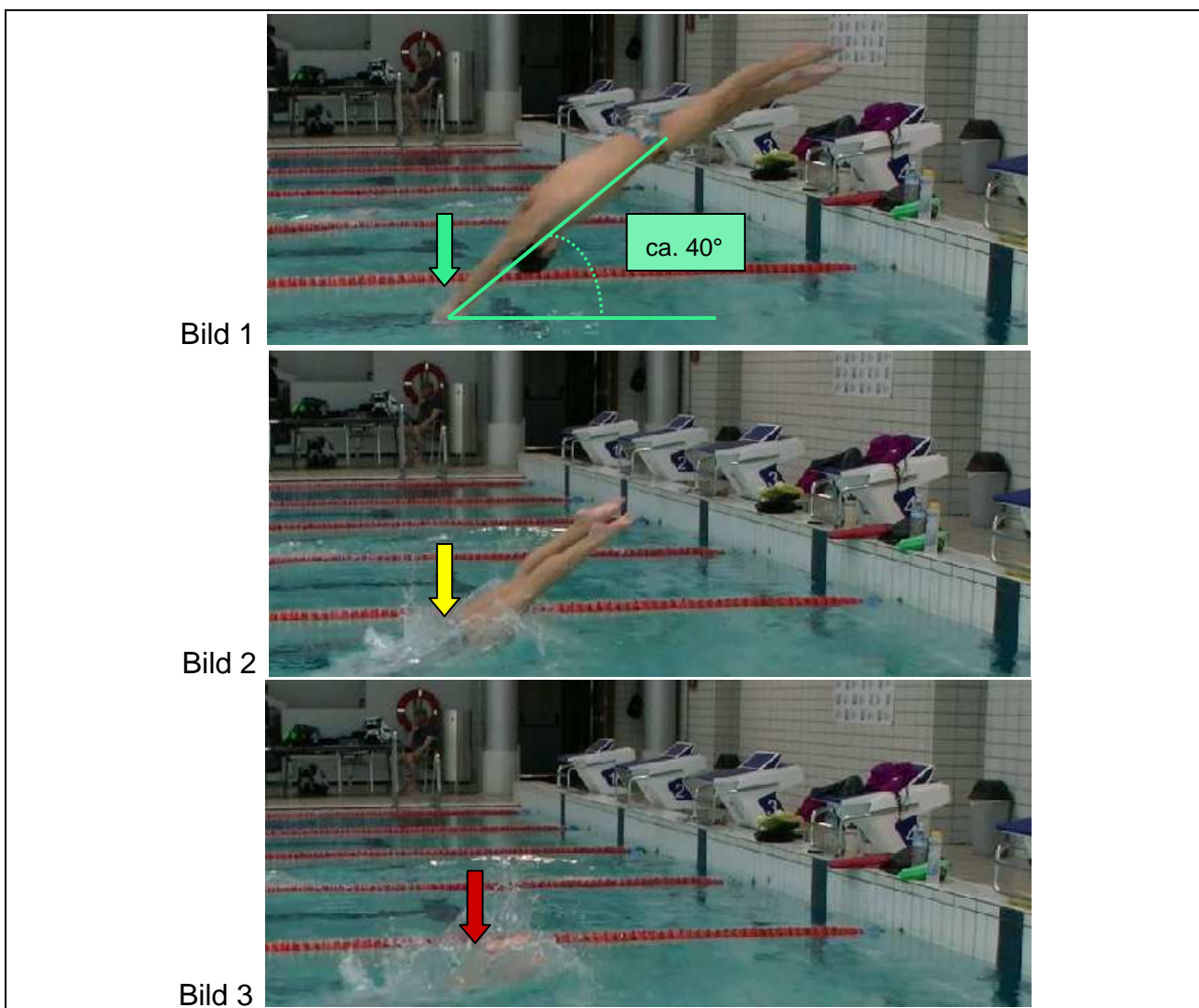


Abb. 17. Eintauchen: Körperhaltung und Eintauchpunkt von Händen bzw. Hüfte



Wenn die Hände ins Wasser eintauchen, sollte die Verbindungslinie „Hände-Hüfte“ einen Winkel von ca. 40 Grad mit der Wasseroberfläche bilden (vgl. Abb. 17 Bild 1). Damit ist gesichert, dass der Rumpf an der gleichen Stelle wie die Hände eintaucht.

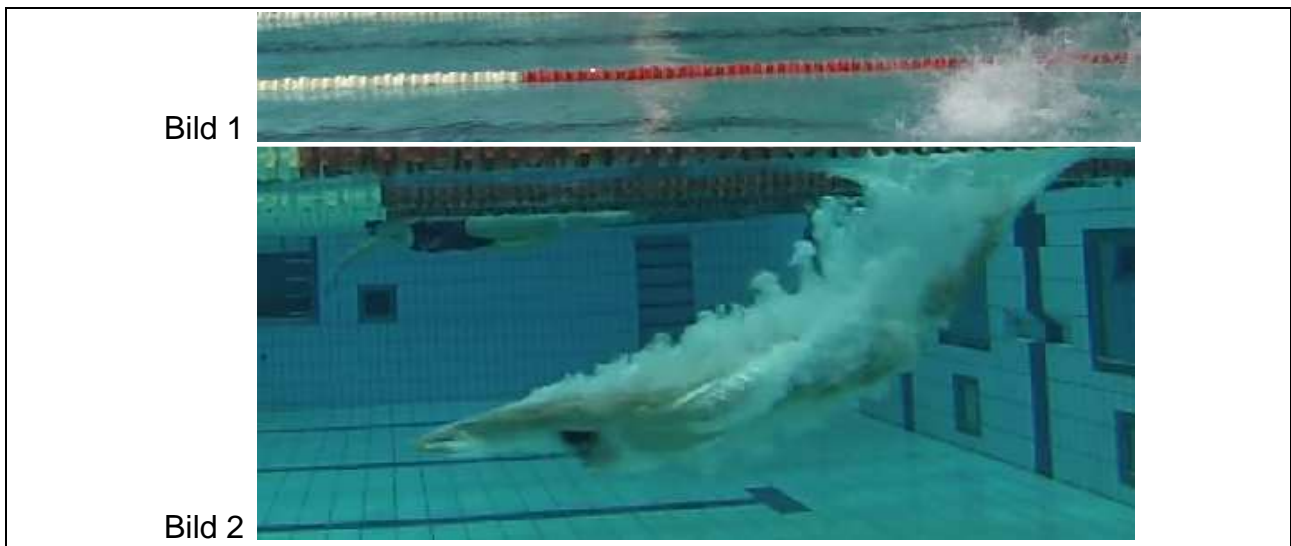


Abb. 18. Eintauchen: wenig spritzendes Wasser und kleines Wirbelfeld als Merkmale für geringes Bremsen

Mit dem so gewählten Eintauchpunkt der Hände und der beschriebenen Körperhaltung sind die Voraussetzungen geschaffen, dass beim Eintauchen nur eine kleine Fläche senkrecht zur Bewegungsrichtung (gegen das Wasser) angestellt wird. Die Hände bahnen einen Weg durch das Wasser und der „Restkörper“ folgt dieser Bahn. Damit wird gewährleistet, dass in der Wechselwirkung mit dem Wasser nur wenig Impuls und Energie an das Wasser abgegeben werden. Äußere Merkmale dafür sind:

- wenig spritzendes Wasser (vgl. Abb. 18: Bild 1)
- kleines Wirbelfeld unter Wasser (vgl. Abb. 18: Bild 2).

Die Größenordnung des in horizontaler Richtung bremsend wirkenden Wasserwiderstandes kann aus der Änderung des Impulses abgeschätzt werden. Das Eintauchen beginnt mit dem Eintauchen der Hände  $t_{Häein}$  und endet mit dem Eintauchen der Füße  $t_{Füein}$ .

Der Impuls ist das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit. Bei konstanter Masse gilt für die Änderung des Impulses (in horizontaler Richtung) beim Eintauchen:

$$\Delta I = I(t_{Füein}) - I(t_{Häein}) = m * (v_{Füein} - v_{0x}). \quad (14)$$

Darin sind:

$v_{Füein}$  : Geschwindigkeit (horizontal) des KSP bei Eintauchen der Füße,

$v_{Häein} = v_{0x}$  : Geschwindigkeit (horizontal) des KSP bei Eintauchen der Hände.

Der Mittelwert der Wasserwiderstandskraft (horizontale Komponente)  $F_{Wx}$  ist der Quotient aus der Differenz des Impulses  $\Delta I$  und der Zeitdauer  $\Delta t = t_{Füein} - t_{Häein}$ . Mit Hilfe der Gleichung (14) ergibt sich für die horizontale Komponente des Wasserwiderstands:

$$F_{Wx} = \frac{m * (v_{Füein} - v_{0x})}{t_{Füein} - t_{Häein}} \quad (15)$$

Bei widerstandsgünstigem Eintauchen verringert sich die Geschwindigkeit in horizontaler Richtung vom Eintauchen der Hände bis zum Eintauchen der Füße um ca. 1 m/s. Dieser Bremsvorgang dauert ca. 0,4 s. Für einen Schwimmer mit einer Masse von 80 kg erhält man mit Hilfe von Gleichung (15) für  $F_{Wx}$  einen Wert von 200 N.

Im ungünstigen Fall, wenn zu viel Fläche gegen die Bewegungsrichtung angestellt wird, kann der Wert aber auch doppelt so groß sein.

In ähnlicher Weise kann auch ein Wert für die vertikale Komponente der Wasserwiderstandskraft  $F_{Wy}$  abgeschätzt werden. Bis zum Eintauchen der Hände erhöht sich der Betrag der vertikalen Komponente durch das Wirken der Schwerkraft. Beim Eintauchen der Hände liegen die Werte im Bereich um 3,5 m/s. Die Schwerkraft wirkt auch während des Eintauchvorganges. Der Betrag der vertikalen Komponente der Geschwindigkeit würde sich weiter erhöhen, solange die vertikale Komponente der Wasserwiderstandskraft geringer als die Schwerkraft ist.

Wenn der Schwimmer bis zum Eintauchen der Füße die Bewegungsumkehr weitestgehend abgeschlossen hat, ist die vertikale Komponente der Geschwindigkeit nahe Null, d.h. die Änderung der Geschwindigkeit beträgt mehr als 3,5 m/s. Das ist mehr als dreieinhalb mal so groß wie in horizontaler Richtung. Folglich erhält man bei einer Masse von 80 kg für  $F_{Wy}$  Werte über 700 N.

Bei dieser Abschätzung wird aber nicht berücksichtigt, dass auch während des Eintauchvorganges die Schwerkraft weiter wirkt. Es ist davon auszugehen, dass eine höhere Geschwindigkeit in kürzerer Zeit auf null abgebremst werden muss. Deshalb sollten mittlere Werte für  $F_{Wy}$  deutlich höher als 700 N sein.

Mit der Annahme, dass der Wasserwiderstand beim Eintauchen der Arme sehr viel kleiner als die Schwerkraft ist und sich in einer Zehntelsekunde die vertikale Komponente des KSP auf 4,2 m/s erhöht, liegt der Mittelwert des Wasserwiderstandes bei ca. 1100 N.

*Die Ergebnisse einer Abschätzung der Wasserwiderstandskräfte beim Eintauchen weisen darauf hin, dass das Eintauchen beim Start vom Block hohe Anforderungen an die muskulären Voraussetzungen in Bezug auf eine gute Körperspannung stellt.*

### **3.5.2 Wasserwiderstand und Tauchtiefe**

Aus experimentellen Untersuchungen ist bekannt, dass der Wasserwiderstand eines geschleppten Körpers mit zunehmender Tauchtiefe abnimmt (Pendergast, Di Prampero, Craig, Wilson & Rennie, 1977; Wick, 2005). Abbildung 19 zeigt eine qualitative Darstellung zu diesem Sachverhalt.

An der Wasseroberfläche wirken drei Komponenten des Wasserwiderstands: Reibungs-, Form- und Wellenwiderstand. Mit zunehmender Wassertiefe verringert sich der Wellenwiderstand, weil der steigende Wasserdruck (durch die darrüberliegende Wasserschicht) der Ausbreitung von Impuls und Energie, die vom bewegten Körper an das Wasser abgegeben werden, entgegenwirkt. Impuls und Energie, die an der Vorderfront des Körpers an das Wasser abgegeben werden, verbleiben in einer schmalen Wasserschicht, die den Körper umströmt, und werden Am Ende des Körpers zum Teil an den Körper zurücküber-

tragen. Bewegt sich der Schwimmer zu nah an der Wasseroberfläche entstehen durch den Transfer von Impuls und Energie Wellen, die sich vom Schwimmer wegbewegen. Je größer diese Welle umso höher der Transfer von Energie bzw. Impuls vom Körper an das Wasser.

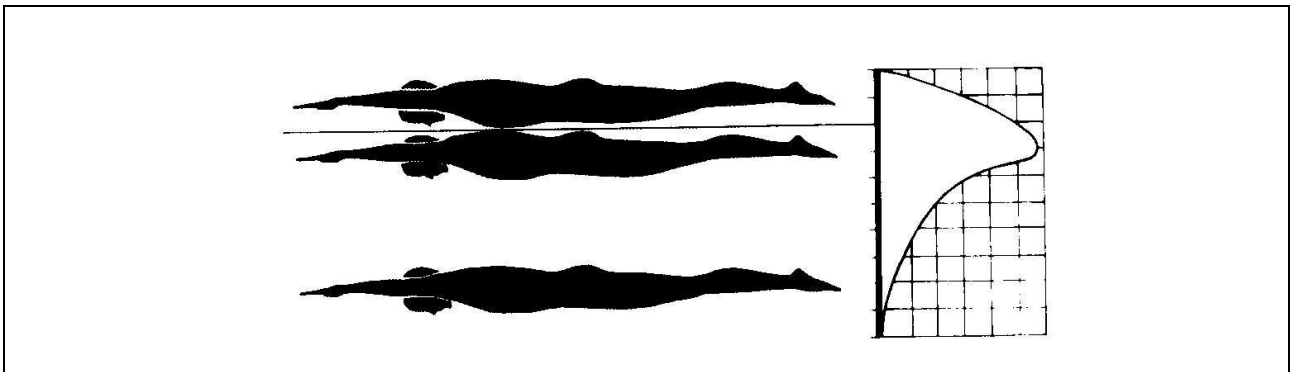


Abb. 19. Änderung des Wasserwiderstands in Abhängigkeit von der Tauchtiefe

Die Abhängigkeit des Wasserwiderstands vom Abstand zur Wasseroberfläche sollte bei der Gestaltung der Übergänge vor allem in den Gleitphasen beim Brustschwimmen aber auch bei der Delfinbewegung im Rücken-, Schmetterlings- und Kraulschwimmen berücksichtigt werden.

Zur zweckmäßigen Tauchtiefe finden sich in neuerer Literatur verschiedene Angaben (Wick, 2005; Ungerechts, Volck & Freitag, 2002). Als Erklärung für diese Unterschiede kann darauf verwiesen werden, dass die Körperform einen wesentlichen Einfluss auf die Größe des Widerstands hat. Der Praktiker kann sich am Wellenbild in der Umgebung des Schwimmers orientieren: keine Welle an der Wasseroberfläche sind ein Hinweis für eine ausreichende Tauchtiefe.

### 3.5.3 Trägheit, Antrieb und Widerstand im Übergang

Im Übergang wird die Bewegung eines Schwimmers durch die Größe der resultierenden, am KSP angreifenden Kraft  $F_{Res}$  bestimmt. Sie ist das Ergebnis aus der Summe aller antreibenden Kräfte (Antrieb  $F_{Antr}$ ) und der Summe aller die Bewegung bremsenden Kräfte (Widerstand  $F_{Br}$ ):

$$F_{Res} = F_{Antr} + F_{Br} \quad (16)$$

Aktuell kann die Wechselwirkung des Schwimmers mit dem Wasser nur in kleinen Details gemessen werden. Jedoch gibt es einige experimentelle Fakten, die „für ein gezieltes Versuch und Irrtum“ bei der Suche nach einer individuell optimalen Gestaltung des Übergangs berücksichtigt werden sollten.

In den Übergängen der verschiedenen Startvarianten können in Bezug auf die Antriebssituation im Wesentlichen drei Fälle unterschieden werden:

- (1) Gleiten
- (2) Tauchzug/Delfinkick
- (3) Delfinbewegung.

## ***Einflussgrößen auf ein Gleiten***

Mehr oder weniger lange Gleitphasen sind bei vielen Schwimmerinnen und Schwimmern nach dem Eintauchen bzw. beim Bruststart nach dem Ausführen von Delfinkick und Tauchzug zu beobachten.

In den Gleitphasen kann von einer stabilen Körperform und dem Fehlen von Antriebsaktionen ( $F_{Antr} = 0$ ) ausgegangen werden. Die resultierende, am Kraft ist eine reine Bremskraft

$$F_{Res} = F_{Br} \quad , \quad (17)$$

die in der Form

$$F_{Br} = -c_{eff} * v^2 \quad (18)$$

dargestellt werden kann. Gleichung (18) ist eine Variante zur Beschreibung des Wasserwiderstands, die in der Praxis angewendet wird, wenn die Körperform stabil ist. Der effektive Widerstandsbeiwert  $c_{eff}$  kann im Experiment (Schleppversuche bei verschiedenen Körperhaltungen und Geschwindigkeiten) bestimmt werden (Onoprienko, 1967).

Berücksichtigt man Gleichung (18) in der Newtonschen Bewegungsgleichung, so erhält man beim Gleiten den Verlauf der Geschwindigkeit  $v_G$  bzw. den zurückgelegten Weg  $s_G$

$$v_G = v_0 * \frac{1}{1 + \frac{c_{eff}}{m} * v_0 * (t - t_0)} \quad (19)$$

$$s_G = \frac{m}{c_{eff}} \ln \left[ 1 + \frac{c_{eff}}{m} v_0 * (t - t_0) \right] \quad (20)$$

Darin sind  $m$  die Masse des Schwimmers,  $t_0$  der Zeitpunkt für den Beginn der Gleitphase und  $v_0$  die Geschwindigkeit des KSP am Beginn der Gleitphase.

Der effektive Widerstandsbeiwert kann auch mit Hilfe der Gleichungen (19) und (20) aus den kinematischen Parametern einer Videoanalyse berechnet werden. Die berechneten Werte sollten individuell eine hohe Übereinstimmung zu Werten aus Schleppexperimenten (bei entsprechender Tauchtiefe) zeigen.

Gleichung (19) spiegelt wider, dass die beim Gleiten erzielte Geschwindigkeit  $v_G$  ansteigt, wenn sich

- die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  erhöht
- die Masse des Schwimmers  $m$  vergrößert
- der Widerstandsbeiwert  $c_{eff}$  verringert.

Die Anfangsgeschwindigkeit wird durch die im Absprung erzielte Geschwindigkeit und die Fertigkeit, den Abfall der Geschwindigkeit beim Eintauchen zu minimieren, bestimmt.

Ein Krafttraining, das auf eine Erhöhung der Muskelmasse (und damit der Körpermasse) orientiert wird sich in einer höheren Geschwindigkeit im Startabschnitt widerspiegeln. Die Massenzunahme ist zwar auch mit einer kleinen Zunahme des Widerstandes (Vergrößerung des Flächenquerschnitts) verbunden, aber die Zunahme des Flächenquerschnitts ist prozentual wesentlich geringer als die Massenzunahme, so dass sich der Quotient  $c_{eff}/m$  verkleinert.

Der effektive Widerstandsbeiwert  $c_{eff}$  kann durch kleine Veränderungen der Körperhaltung verringert werden.

### ***Delfinbewegung***

Die Delfinbewegung (in ausreichender Tiefe) ist eine geeignete Antriebsmöglichkeit, wenn es darum geht, nach dem Eintauchen ins Wasser den Abfall der Geschwindigkeit hinauszuzögern. Sie wird in Abhängigkeit von individuellen Leistungsvoraussetzungen in Übergängen beim Start im Rücken-, Schmetterlings- und Freistilschwimmen in unterschiedlicher Weise genutzt.

Nach dem Eintauchen der Füße liegt die Geschwindigkeit immer noch deutlich über den Werten, die im Rücken-, Schmetterlings- oder Kraulschwimmen ohne Hilfsmittel erreichbar sind (vgl. Abb. 16).

Mit der Delfinbewegung ist dieses hohe Niveau zwar nicht zu halten, aber der Abfall der Geschwindigkeit kann wirksamer verzögert werden, als es in der Schwimmart an der Wasseroberfläche möglich ist. Grund dafür ist die Tatsache, dass der Wasserwiderstand bei der Delfinbewegung unter Wasser deutlich niedriger als bei einer Bewegung an der Wasseroberfläche ist (vgl. Kapitel 3.5.2). In ausreichender Tiefe wird mit den Antriebsimpulsen der Delfinbewegung ein höherer Vortrieb als mit den Antriebsbewegungen in der Schwimmart an der Wasseroberfläche erzielt.

Dazu kommt noch ein energetischer Aspekt. Die Delfinbewegung ist mit einem geringeren Anteil an Arbeit im System „Schwimmer“ verbunden als die zyklische Bewegung der Schwimmarten, weil die muskulären Antriebe für das Beschleunigen bzw. Abbremsen von Armen und Beinen weniger Arbeit als in der Gesamtbewegung der Schwimmarten verrichten müssen.

Der Vorteil einer antriebsstarken Delfinbewegung wird in der Verbindung mit einer hohen Geschwindigkeit am Ende des Eintauchens vor allem in den Sprints über 50 m (besonders in Wettbewerben auf der 25-m-Bahn) zu einer wettkampftscheidenden Größe, weil der Vorteil einer höheren, im Übergang realisierten Geschwindigkeit nicht mehr durch eine höhere Geschwindigkeit in der zyklischen Bewegung der Schwimmart kompensiert werden kann.

### ***Antriebsvarianten im Übergang beim Bruststart***

Die Wettkampffregeln erlauben im Brustschwimmen beim Übergang als Antriebsaktion einen Delfinkick und einen Tauchzug. Die Kombination von Tauchzug und Delfinkick trägt bei der Brustwende bzw. beim Lagenübergang von Rücken nach Brust entscheidend dazu bei, dass im Übergang höhere Geschwindigkeiten als in der zyklischen Bewegung des Brustschwimmens erreicht werden.

In Bezug auf die Koordination beider Antriebsbewegungen können zwei Varianten beobachtet werden:

- Variante 1:

Bei Variante 1 werden zuerst ein Delfinkick und daran anschließend ein Tauchzug ausgeführt. Während des Delfinkicks bleiben die Hände/Arme in strömungsgünstiger Position. Die gestreckten Arme bilden außerdem ein gutes Widerlager für die Vorbereitung und Ausführung einer kraftvollen Delfinbewegung: ein Abwärtsschlag mit nachfolgender aktiver Aufwärtsbewegung. Danach wird ohne Pause mit dem Armzug fortgesetzt, weil die Aufwärtsbewegung der Delfinbewegung zugleich ein zweckmäßiger Auftakt für eine kraftvolle Ausführung des Armzuges ist. Während des Armzuges befinden sich Körper und Beine in strömungsgünstiger Position.

Bei Variante 1 werden die vortriebswirksamen Antriebsaktionen nacheinander ausgeführt, wobei sich der jeweils passive Körperbereich in einer strömungsgünstigen Position befindet.

– Variante 2:

Bei Variante 2 wird mit dem Armzug begonnen, wobei Körper und Beine eine strömungsgünstige Position einnehmen. Der Delfinkick wird in der Druckphase des Armzuges ausgeführt. In der Mitte des Armzuges werden die Füße aufwärts bewegt. Damit wird die strömungsgünstige Position verlassen, was einerseits den Anteil des „bremsenden“ Widerstands erhöht und damit andererseits dazu beiträgt, dass im Armzug höhere, antreibende Kräfte in der Wechselwirkung mit dem Wasser generiert werden können. Am Ende wird durch das Gleichschalten von Abwärtsschlag und Abdruck eine hohe Vortriebswirkung erzielt.

Variante 2 ist eine für das Schmetterlingsschwimmen typische Koordination von Arm- und Beinbewegung. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass ein international erfolgreicher Schmetterlingsschwimmer in Sprintrennen über 50 m Brust (25-m-Bahn) mit Variante 2 im Übergang sowohl beim Start als auch bei der Wende die höchsten Geschwindigkeiten erzielt.

## **4 Fazit zur Optimierung des Bewegungsablaufs**

Eine Optimierung des Bewegungsablaufs muss aus der Gesamtsicht in Bezug auf die Anforderungen der Disziplin und auf die Leistungsvoraussetzungen des einzelnen Athleten erfolgen. Daraus ergeben sich im konkreten Einzelfall Unterschiede bezüglich der Antworten auf die Frage „Was ist zweckmäßig?“. Bei der Beantwortung dieser Frage kann die Gleichung (9) eine Hilfe sein, weil sie eine quantitative Bestimmung einzelner Einflussfaktoren auf die Leistung im Startabschnitt und damit auf die Gesamtleistung im Wettkampf möglich macht.

## 5 Literatur

- Ayalon, A., Gheluve, B. van & Kanitz, M. (1975). A comparison of four styles of racing starts in swimming. In J.P. Clarys & L. Lewillie (Eds.), *Swimming II* (S. 233-239). Baltimore: University Park Press.
- Bloom, J.A., Hosler, W.W. & Disch, J.G. (1978). Differences in flight, reaction and movement time for the grab and conventional starts. *Swimming Technique*, 15, 34-36.
- Bonnar, S. (2001). *An analysis of selected temporal, anthropometric, and kinematic factors affecting the velocity of the grab and track starts in swimming*. Edinburgh: Honor Thesis. The University of Edinburgh.
- Counsilman, J. E. (1980). *Handbuch des Sportschwimmens*. Bockenem: Fahnenmann.
- El-Bahrawi, M., Krüger, T., Wick, D. & Hohmann, A. (2002). Biomechanics of the grab and track start technique [abstract]. *Book of Abstracts, IXth World Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming, 21-23 June 2002, Saint-Etienne, France*, 73.
- Guimaraes, A.C.S. & Hay, J.G. (1985). A Mechanical Analysis of the Grab Starting Technique in Swimming. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1985 (1), 25-35.
- Hanauer, E. (1972). The grab starts faster than conventional start. *Swimming World*, 13, 612-616.
- Hay, J.G., Guimaraes, A.C.S. & Grimston, S.E. (1983). A quantitative look at swimming biomechanics. *Swimming Technique*, 2, 11-17.
- Juergens, Ch. A. (1995). A kinetic and kinematic comparison of the grab and track starts in competitive swimming. Corvallis. Oregon State University. Masterarbeit.
- Küchler, J. (1988). Zur Struktur der Wettkampfleistung im Sportschwimmen aus biomechanischer Sicht. Forschungsinstitut für Körperkultur und Sport. Leipzig. Ergebnisbericht 1988. 21 S.
- Küchler, J. (1998). Zur Optimierung des Bewegungsablaufes bei Start und Wende im Sportschwimmen. In W. Freitag (Hrsg.), *Schwimmen lernen und optimieren*, Bd. 15 (S. 78-91). Rüsselsheim: Deutsche Schwimmtrainer-Vereinigung e.V..
- Maglischko, E. W. (2003). *Swimming fastest. The essential reference on technique, training and program design*. Champaign: Human kinetics.
- Pfeifer, H. (1991). *Schwimmen*. Berlin: Sportverlag.
- Schramm, E. (1987). *Sportschwimmen: Hochschullehrbuch*. Berlin: Sportverlag.
- Ungerechts, B., Volck, G. & Freitag, W. (Hrsg.) (2002). *Schwimmsport Bd.1 Technik: Schwimmen – Wasserball – Wasserspringen - Synchronschwimmen*. Schorndorf: Hofmann.
- Wilke, K. & Daniel, K. (2000). *Schwimmen: Lernen, Üben, Trainieren* (3. korr. und ergänzte Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.