



Pfeilschnell durchs Wasser gleiten

Beim Schwimmen kommt es darauf an, den Strömungswiderstand möglichst effizient zu überwinden.

Denise Müller-Dum und Jens Kube

Wer sich das „Seepferdchen“ erarbeitet hat, beherrscht verschiedene Übungen im Wasser, darunter das Schwimmen einer 25 Meter langen Strecke am Stück. Die meisten Kinder müssen dafür geduldig trainieren, weil unser Körperbau für die Bewegung an Land optimiert ist: Im Wasser kommen wir nur bedingt vorwärts. Dort wirken unterschiedliche Kräfte auf den Körper (Abb. 1). Eine davon macht sich bereits vor dem Losschwimmen bemerkbar: Der statische Auftrieb F_{stat} entspricht nach dem archimedischen Prinzip der Gewichtskraft des Wassers, das ein Objekt verdrängt, und wirkt der Gewichtskraft F_G entgegen. Sind beide genau gleich groß, schwebt der Körper.

Ist die Dichte des Körpers größer als diejenige von Wasser, übersteigt seine Gewichtskraft die Gewichtskraft

des verdrängten Wassers: Er sinkt. Umgekehrt schwimmen Gegenstände mit geringerer Dichte. Da der Mensch zum Großteil aus Wasser besteht, liegt die Dichte seines Körpers im Durchschnitt sehr nah an derjenigen von Wasser. Auf dem Wasser zu schweben, ist daher ohne weiteres Zutun keine zuverlässige Angelegenheit – außer im Toten Meer, wo das Wasser besonders salzig ist und darum eine hohe Dichte hat. Auch die Atmung hat einen Einfluss: Das Schweben gelingt leichter, wenn die Lunge nach dem Einatmen mit Luft gefüllt ist; beim Ausatmen sinkt der Körper leicht ab. Entscheidend ist die mittlere Dichte inklusive der luftgefüllten Lunge.

Doch auch wenn das Treiben gelingt, fällt es oft schwer, die Beine über Wasser zu halten. Denn die Ge-

wichtskraft F_G greift am Massenmittelpunkt oder Schwerpunkt an, also in der Regel auf Höhe des Bauchnabels. Dagegen wirkt die Auftriebskraft F_{stat} auf den etwas höher liegenden Volumenmittelpunkt des Körpers, den sogenannten Formschwerpunkt. Das dadurch entstehende Drehmoment lässt die Beine absinken. Massen- und Volumenmittelpunkt rücken näher zusammen, wenn sich die Arme als eher schwere Körperteile ausgestreckt neben dem Kopf befinden. Im Wasser eine stabile Position zu finden und zu halten, bleibt trotzdem oft schwierig.

Bewegung stabilisiert

Besser gelingt dies, sobald sich der Körper durch das Wasser bewegt, weil dann zusätzlich der dynamische Auftrieb F_{dyn} ins Spiel kommt (Abb. 1). Diese Kraft wirkt senkrecht zur Anströmrichtung des Wassers; sie tritt auch an den Tragflächen eines Flugzeugs auf, wenn es sich durch die Luft bewegt. Im Wasser sorgt sie dafür, dass die Beine nicht absinken.

Um sich aus eigenem Antrieb im Wasser fortzubewegen, also zu schwimmen, gilt es, Rückstoßkräfte zu nutzen. Wer das Wasser nach hinten wegschiebt, übt eine Kraft aus. Nach dem Newtonschen Prinzip von „actio et reactio“ überträgt das Wasser eine Gegenkraft vom gleichen Betrag und drückt den Körper vorwärts. Dabei vermittelt der Widerstand des Wassers diese Kraft, weil er ein „Abstoßen“ mit Armen und Beinen vom Wasser ermöglicht. Um sich einen

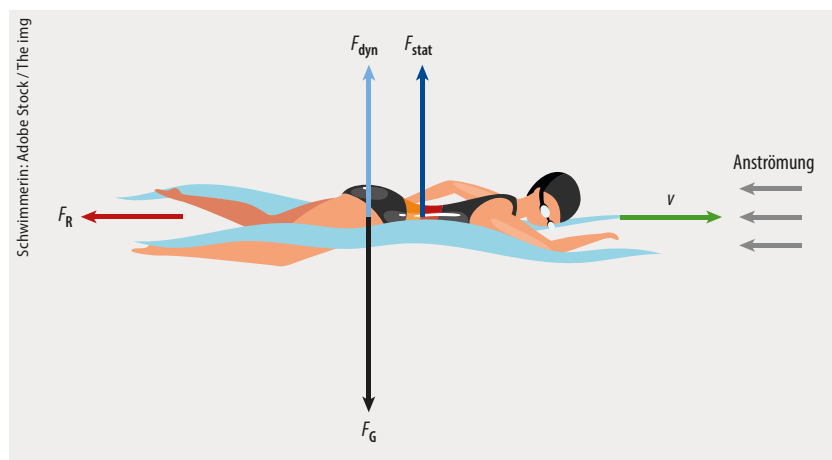


Abb. 1 Durch die Bewegung mit Geschwindigkeit v (grün) strömt das Wasser gegen den schwimmenden Körper an (grau). Um vorwärts zu kommen, gilt es, den resultierenden Strömungswiderstand F_R (rot) zu überwinden. Der statische und der dynamische Auftrieb F_{stat} (dunkelblau) und F_{dyn} (hellblau) wirken der Gewichtskraft F_G (schwarz) entgegen.



Adobe Stock / Microgen / Neijon
Photo / Microgen / iStock

◀ Wettkämpfe finden (von links) im Freistil, Schmetterlings- oder Delfinschwimmen, Rückenschwimmen und Brustschwimmen statt. Beim Lagerschwimmen sind alle vier Stile zu zeigen.

möglichst großen Vorwärtsimpuls zu verschaffen, braucht es also den maximalen Widerstand. Das gelingt, wenn die Hände in diesem Moment wie „Schaufeln“ mit voller Fläche zum Einsatz kommen. Sobald eine Bewegung vorliegt, wird der Wasserwiderstand allerdings lästig: Er bremsen den Körper abhängig von der Geschwindigkeit, dem Widerstandsbeiwert c_w und der Querschnittsfläche in Schwimmrichtung.

Der Widerstand setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei Reibungs-, Form- und Wellenwiderstand entscheidend sind und sich in gewissen Grenzen beeinflussen lassen. Der Reibungswiderstand entsteht an der Grenze zwischen der Oberfläche des bewegten Körpers und den umgebenden Wasserteilchen; er verringert sich durch das Tragen von Schwimmkappen und enger Badekleidung. Der Form- oder Druckwiderstand hängt von der Körperform ab. Beim Durchqueren des Wassers lösen sich aufgrund von Reibung Grenzschichten ab, und es kommt zu Verwirbelungen. Diese führen zu einer Druckdifferenz, weil der Druck in Schwimmrichtung vorne höher ist als hinten. Der resultierende Druckwiderstand ist bei Objekten mit großer Querschnittsfläche größer als bei schlanken stromlinienförmigen Kör-

pern. Dabei beeinflusst vor allem die Lage im Wasser den Widerstand: je flacher, desto geringer die Stirnfläche und desto stromlinienförmiger der Körper. Dann fällt es leichter, durch das Wasser zu gleiten. Auch besondere Schwimmzüge versprechen, den Formwiderstand zu verringern. Weil das Schwimmen an der Wasseroberfläche erfolgt, kommt es zusätzlich zu einem Wellenwiderstand, der mit wachsender Geschwindigkeit zunimmt. Denn die Vorwärtsbewegung führt an Kopf und Schultern zu Bugwellen, die Energie forttragen. Um eine hohe Schwimmgeschwindigkeit zu erreichen, darf der Körper nicht zu weit aus dem Wasser hinausragen; am schnellsten ist es zu tauchen. Im Wettkampf sind daher die Tauchphasen auf 15 Meter nach dem Start und jeder Wende begrenzt.

Optimale Körperhaltung gesucht

Weil der Wasserwiderstand mit höherer Geschwindigkeit stark ansteigt, geht es beim Wettkampfschwimmen um einen darum, mit einem hohen Krafteinsatz einen möglichst starken Antrieb zu erzeugen. Zum anderen gilt es, durch eine optimale Körperhaltung den Widerstand so weit wie möglich zu verringern. Als schnellste Schwimmtechnik hat sich das Kraul-

schwimmen erwiesen (**Infokasten**), sodass es in der Regel bei der Wettkampfdisziplin „Freistil“ zum Einsatz kommt. Regelmäßige Beinschläge halten die Beine oben, und der Körper liegt recht flach im Wasser. Beim Luftholen den Kopf nur seitlich zu drehen gewährleistet, dass der Körper entlang der Stromlinien horizontal ausgerichtet bleibt. Die S-förmige Bewegung des Arms unter Wasser erzeugt zusätzlich zum Antrieb einen vorwärtsgerichteten, hydrodynamischen Auftrieb. Eine leichte Rollbewegung entlang der Körperlängsachse reduziert den Wellenwiderstand.

Aktuell liegt der Rekord über 50 Meter Freistil bei 20,91 Sekunden: Der Brasilianer Cesar Cielo Filho erreichte dabei eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 8,6 km/h. Im Vergleich zur Tierwelt ist das allerdings sehr langsam: Die schnellsten Fische bringen es auf deutlich mehr als hundert Kilometer pro Stunde – nicht nur, weil sie tauchen, sondern weil ihre Körper für die Bewegung im Wasser optimiert sind.

Die Autor:innen

Dr. Denise Müller-Dum und **Dr. Jens Kube**,
awk/jk – Agentur für Wissenschaftskommunikation, awkj.k.de

Schwimmtechniken

Beim **Kraulschwimmen** liegt der Körper flach im Wasser. Die nach vorne ausgestreckten Arme ziehen durch das Wasser und die Luft zurück in ihre Ausgangsposition; sie tragen etwa zwei Drittel zum Vortrieb bei. Währenddessen bewegen sich die Beine im Wechsel auf und ab. Beim Kraulschwimmen entwickelt der Mensch die höchste Geschwindigkeit, sodass es im Wettkampf beim Freistil die Regel ist.

Das **Schmetterling- oder Delfinschwimmen** hat sich als Wettkampfdisziplin

aus dem Brustschwimmen entwickelt. Bei angehobenem Rumpf werden die Arme über dem Wasser nach vorne geführt, was wie der Flügelschlag eines Schmetterlings aussieht. Die daraus folgende wellenförmige Bewegung des ganzen Körpers endet mit einem Kick der parallel gehaltenen Füße – ähnlich dem Flossenschlag eines Delfins. Die Arme leisten beim Zug unter Wasser den wesentlichen Teil des Vortriebs.

Beim **Rückenschwimmen** gilt es, bei kontinuierlichem Beinschlag die Arme im

Wechsel am Körper vorbeizuführen – ähnlich dem Kraulschwimmen, aber in Rückenlage. Der Vortrieb kommt fast nur aus den Armen, die Beinschläge dienen unter anderem der Stabilisierung.

Zum **Brustschwimmen** gehört es, zunächst die Arme über die Seite nach hinten zu ziehen und unter dem Körper in die Ausgangsposition zurückzuführen. Im direkten Anschluss führen die Beine einen Grätschlag aus wie ein Frosch beim Sprung; sie liefern mehr als die Hälfte des Vortriebs.