

# 1

## Einleitung

Die Physik und ihre Gesetze spielen im Sport und auch in der Sportwissenschaft eine große Rolle. Dabei kann man generell zwei Bereiche unterscheiden: die Anwendung der Physik auf das Verhalten von leblosen Körpern und die Einbeziehung des Menschen in seiner Komplexität. Im ersten Fall geht es um die physikalischen Eigenschaften von Sportgeräten, Materialeigenschaften wie die Elastizität von Bällen, die Taillierung von Carving-Skiern, das Gewicht von Wurfgeräten oder die Schwingungseigenschaften eines Baseballschlägers. Andererseits sind Fragen zur Wechselwirkung von Gerät und Umgebung, zum Beispiel die Reibung zwischen Ski und Schnee, der Einfluss des Luftwiderstands auf die Flugkurve eines Balles oder die Größe der Zentrifugalkraft beim Hammerwurf, zentrale Themen. Physikalische Prinzipien wie Energieerhaltung, Impulserhaltung oder die Newton'schen Gesetze können systematisch angewandt werden und liefern wichtige Aussagen.

Bezüglich des zweiten Bereichs hört man manchmal (von Nicht-Physikern) Aussagen, dass sich die Physik nicht ohne Einschränkung auf den Menschen anwenden ließe, oder noch stärker, dass für lebende Objekte andere Gesetze gelten würden. Wie kommt es zu solchen Meinungen? Nehmen wir als Beispiel den optimalen Wurfwinkel, um einen Gegenstand möglichst weit zu werfen (siehe Abschn. 2.3). Die Physik sagt, dass der Winkel bei  $45^\circ$  liegt, eventuell etwas weniger wegen des Luftwiderstandes oder wenn die Abwurfhöhe nicht gleich der Höhe des Aufpralls ist. Messungen ergeben aber, dass Spitzenathleten bei einem Wurf geringere Winkel verwenden. Der Absprungwinkel beim Weitsprung liegt sogar sehr weit von den errechneten  $45^\circ$  entfernt. Gelten hier die physikalischen Gesetze nicht mehr? Doch, natürlich gelten sie uneingeschränkt, aber es müssen gleichzeitig auch die biologischen Bedingungen beachtet werden. Der optimale Abwurfwinkel von  $45^\circ$  wird unter der Voraussetzung berechnet, dass die Ab-

wurfgeschwindigkeit für alle Winkel gleich wäre. Der Körperbau eines Menschen lässt aber bei manchen Winkeln eine höhere Geschwindigkeit und daher ein besseres Gesamtergebnis zu.

In den Sportwissenschaften ist die Biomechanik die Disziplin, die sich mit der Anwendung der Gesetze der Mechanik auf den lebenden Organismus beschäftigt. Die Anfänge der Biomechanik reichen weit zurück. Schon Aristoteles (384–322 v. Chr.) hat sich mit Fragen zur Bewegung beschäftigt und zum Beispiel die Abhängigkeit einer Wurfbewegung vom Gewicht des geworfenen Gegenstandes thematisiert. Leonardo da Vinci (1452–1519) untersuchte mechanische Eigenschaften von Maschinen und Lebewesen und die Körperproportionen. Einen großen Fortschritt in der Untersuchung von Bewegungsabläufen brachten die technischen Möglichkeiten der Photographie im 19. Jahrhundert. Eadward Muybridge (1830–1904) konnte durch schnell hintereinander aufgenommene Fotos Bewegungen erstmals sichtbar machen und so etwa den Flügelschlag von Vögeln und die Gangarten von Pferden untersuchen (siehe Abschn. 7.2, Reiten).

Im Laufe des 20. Jahrhunderts verfeinerten sich die Messmethoden. Kraftmessplatten und spezielle Dynamometer lieferten immer genauere Daten während der Bewegungen, die Elastizität von Sehnen wurde auch *in vivo* vermessen. Mit Videoaufnahmen konnten dreidimensionale kinematische Daten erhoben werden, Messungen mittels Elektromyogramm (EMG) lieferten Auskünfte über die Ansteuerung der Muskulatur. Mit mathematischen Modellen konnten Bewegungen nicht nur simuliert werden (direkte Dynamik), sondern auch manche Eigenschaften des Menschen, die nicht direkt messbar sind, errechnet werden.

In den letzten Jahrzehnten hat sich der Fokus der Biomechanik gewandelt: Die Biomechanik wird nicht mehr nur als Anwendung der Mechanik allein betrachtet, sondern auch weitere Wissenschaften wie die Physiologie, die Anatomie oder die Neurowissenschaften spielen eine große Rolle. Die Biomechanik beschäftigt sich also mit dem Zusammenwirken von physikalischen Grundgesetzen und biologischen Gegebenheiten.

Die Betrachtung dieser Wechselwirkung der Physik mit dem Menschen kann auf verschiedenen Strukturebenen erfolgen, von Molekülen und Molekülverbindungen über Muskeln, Sehnen und Knochen, den gesamten Körper eines Menschen bis zum Zusammenspiel mehrerer Sportler.

Auf molekularer Ebene geht es zum Beispiel um die Energiebereitstellung im Körper, also welche chemischen Reaktionen dem Muskel die Energie zur Kontraktion liefern und wie viel Energie pro Zeit die einzelnen Arten des Stoffwechsels liefern können. Diese Energieraten beeinflussen auch die möglichen Rekorde (Abschn. 5.1, Schwimmen). Ein weiteres Beispiel auf molekularer Ebene ist die Sauerstoffaufnahme, die vom Außendruck abhängt (Abschn. 5.2, Tauchen).

Eine Ebene höher ist die Erzeugung von Kraft und Leistung im Muskel (Abschn. 2.1, Sportliche und physikalische Leistung) zu betrachten. Die Muskelkräfte sind letztendlich die Ursache jeder sportlichen Bewegung. Je nach Geschwindigkeit können unterschiedliche Kräfte erzeugt werden (Abschn. 2.1), was wiederum auf molekularer Ebene basiert, aber sich makroskopisch auswirkt. Die Sehnen und Knochen übertragen diese Kräfte, müssen in ihrer Festigkeit aber auch den von außen einwirkenden Kräften standhalten (Abschn. 6.1, Skifahren; Abschn. 4.2, Rotationen im Geräteturnen; Abschn. 7.1, Kampfsport; Abschn. 7.2, Reiten).

Auf der Ebene des gesamten Körpers kommen Fragen der Koordination und neuronalen Ansteuerung dazu. Im Sport ist meist eine möglichst erfolgreiche Durchführung einer Bewegungsaufgabe gefragt, sei es eine große Weite, eine bestimmte Geschwindigkeit oder eine präzise Ausführung (Abschn. 2.4, Treffersicherheit). Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Bewegung so exakt wie möglich gesteuert werden. Die Physik gibt Auskunft, welcher Spielraum dabei das biologische System hat. Die motorische Kontrolle wiederum hängt u. a. davon ab, welche mechanischen und physiologischen Voraussetzungen herrschen. So wählen etwa Radfahrer die Trittfrequenz in Abhängigkeit von der Steigung, aber auch je nach Faserverteilung und Ermüdung des Muskels.

Auf der Ebene des Zusammenspiels von Menschen können statistische Aussagen über Spielausgänge gemacht werden (Abschn. 3.1, Fußball) oder Spielzüge mit Videoanalysen und mathematischen Modellen untersucht werden (Abschn. 3.4, Volleyball).

Die Physik des Sports wird in den folgenden Kapiteln daher von einem interdisziplinären Standpunkt aus betrachtet, der auch die Einflüsse der biologischen Eigenschaften des Menschen thematisiert.

