

Die folgenden Original-Seiten der Zeitschrift „Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule“ wurden mit expliziter Genehmigung des Aulis-Verlages (Dr. Brigitte Abel) und des Friedrich-Verlages (Hubertus Rollfing) auf die Webseite www.thomas-wilhelm.net gestellt. Vielen Dank für die Erlaubnis.

Die exakte Quellenangabe des Zeitschriftenartikels ist:

BIRKMEYER, T.; OPFERMANN, L.; WILHELM, T.

Beispiele für Stöße im Sport

Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 65, Nr. 5, 2016, S. 13 - 17

Beispiele für Stöße im Sport

T. Birkmeyer, L. Opfermann, Th. Wilhelm

1 Stöße

Eine Kraft ist eine Wechselwirkung zwischen zwei Körpern, die aufeinander einwirken. Dabei müssen sich die Körper nicht berühren, wie man am Beispiel von Gravitationskräften oder elektrischen oder magnetischen Kräften sehen kann. Meist wird allerdings nur die Einwirkung auf einen Körper betrachtet, sodass der Wechselwirkungsaspekt nicht bewusst wird.

Eine spezielle Wechselwirkung ist der Stoß, bei dem sich die Körper berühren. Ein Stoß ist ein Vorgang, bei dem zwei Körper aufeinandertreffen und eine Kraft aufeinander ausüben. Stöße kommen insbesondere in vielen Sportarten vor. Da stoßen Gegenstände aufeinander (Billard, Golf, Tennis, Tischtennis, Curling, Hockey) oder Menschen mit Gegenständen (Volleyball, Fußball) oder Menschen mit Menschen (Football, Boxen, Karate).

Im Physikunterricht hat man früher aufgrund der begrenzten Messtechnik nur die Situation vor dem Stoß mit der nach dem Stoß verglichen (Impulserhaltung, Energieerhaltung, Stoßgleichungen). Heute kann man den Stoß selbst betrachten (Kraft, Beschleunigung). So können während des Stoßes selbst Kräfte mit einer Kraftmessplatte gemessen, die Beschleunigung eines Körpers mit einem Beschleunigungssensor aufgenommen oder Kontaktzeiten elektrisch ermittelt werden.

Besonders interessant, aber auch schwieriger zu messen ist es, wenn Menschen statt Gegenstände stoßen (Stöße eines Tennisballes mit Boden oder Schläger findet man in [1], den Stoß eines Fußballs mit dem Boden in [2]). Beispielhaft sollen hier der Stoß eines Turners mit dem Boden bei der Landung nach einem Sprung und der Stoß eines Rugbyspielers mit seinem Gegner bei einem „Tackle“ betrachtet werden.

2 Der Stoß mit dem Boden

2.1 Berechnung der Landung

Bei Sprüngen in der Trendsportart Parkour, aber auch beim Turnen übt der Boden beim Landen enorme Kräfte auf den Sportler aus, weshalb Verletzungen nicht unüblich sind. Der Sportler kommt mit einer gewissen Geschwindigkeit bzw. einem gewis-

sen Impuls am Boden an, die bzw. der auf null reduziert werden muss, wozu vom Boden auf den Sportler eine Kraft ausgeübt wird. In jedem Augenblick gilt

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$$

und für die mittlere Kraft während der Einwirkung gilt

$$\vec{F}_{\text{Mittel}} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t},$$

wobei angenommen wurde, dass die Masse konstant ist. Noch einfacher kann für die mittlere Kraft während der Einwirkung geschrieben werden:

$$\vec{F}_{\text{Mittel}} \Delta t = m \Delta\vec{v}.$$

Damit ist das Thema auch schon in der Sekundarstufe I und ohne Impuls behandelbar. Für die mittlere resultierende Kraft in vertikaler Richtung, die der Sportler während der Landung erfährt, gilt demnach, dass sich die mittlere Kraft antiproportional zum Zeitintervall der Abbremsung verhält. Ob man über die Geschwindigkeitsänderung, die Impulsänderung oder die mittlere Beschleunigung argumentiert, hängt vom vorhergehenden Mechanikunterricht ab.

Komplexer werden Sprünge mit Körperlängs- oder Tiefenachsenrotation. Die Landung enthält in solchen Fällen Scherkräfte durch Torsion, beispielsweise der Hüfte gegenüber der Füße, die bereits in der Turnmatte Halt haben.

Grundlage für eine Experimentierreihe über die Landekräfte sind ein Schwedenkasten und eine Kraftmessplatte sowie ein passendes Messwerterfassungssystem für die direkte Auswertung der Daten (siehe Abb. 1). Ein Schwedenkasten ist 0,40 m hoch. Damit kann eine einheitliche Fallhöhe erzeugt werden und die Kräfte für die Landung mit gestreckten Beinen sind tragbar. Beim Fall aus einer Höhe von $h = 0,40$ m kann unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes die Geschwindigkeit des Schülers am Boden zu

$$v = \sqrt{2gh} \approx 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

und bei einer Masse von 67 kg (wie im unten stehenden Beispiel) sein Impuls zu $p = mv \approx 188$ Ns berechnet werden.

Geschwindigkeit bzw. Impuls werden auf unterschiedliche Arten reduziert, ob durch Matten, mit einer weichen Landung mit Abfedern in den Knien oder mit starren Knien. Für die theoretische Rechnung verwenden wir an dieser Stelle ein Zeitintervall $\Delta t = 0,30$ s und erhalten damit als resultierende mittlere vertikale Kraft

$$\vec{F}_{\text{Brems}} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} \approx 630 \text{ N}.$$

Diese resultierende Kraft auf den Schüler entsteht durch die Gewichtskraft nach unten und eine größere Normalkraft durch den Boden nach oben, die auch die Kraftmessplatte misst. Anders gesagt: Die Normalkraft durch den Boden kompensiert z.T. die Gewichtskraft und bremst z.T. den Schüler ab. In unserem Beispiel würde die Kraftmessplatte einen mittleren Wert von $F_{\text{Boden}} = F_G + F_{\text{Brems}} = 1280$ N anzeigen.

2.2 Gesundheitliche Aspekte einer Landung

Anatomisch gibt es unterschiedliche Punkte, die beachtet werden müssen. Wir können einerseits aus der Anatomie des Knies, einem Schlittengelenk, schließen, dass im Allgemeinen Beugungen bis etwa 150° für diese Gelenkart vorgesehen sind. Die resultierenden Kräfte im Knie, die auf das 20-Fache der Gewichtskraft ansteigen können, müssten bei Beugungen über 75° anteilig von den Sehnen und Bändern abgefangen werden [3]. Ebenso ist es im Fall der Rotation in der Landung, z.B. bei einem Salto mit einer Längsachsendrehung, die nicht vollendet ist. Landen die Füße nicht gerade, sondern um einen mehr als 10° gedrehten Winkel gegenüber der optimalen Landeposition, entstehen bereits gesundheitsgefährdende Scherkräfte. Der Oberkörper hat den Drang, die Drehung zu vollenden, was in den Knien abgefangen wird. Die Landung in der Hocke dehnt die Bänder und Sehnen bereits maximal; kommt anschließend eine Torsion vom Unterschenkel gegenüber dem Oberschenkel auf das Knie zu, ist oft das vordere Kreuzband der leidende Faktor.



Abb. 1: Fall aus 0,40 m Höhe auf eine Kraftmessplatte

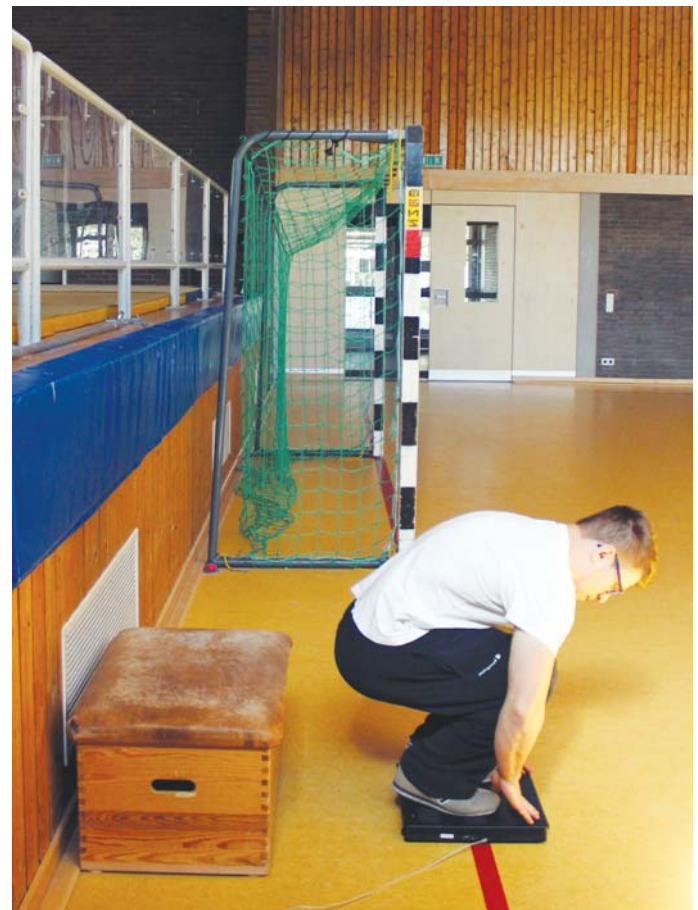


Abb. 3: „Frog-Landung“ auf eine Kraftmessplatte

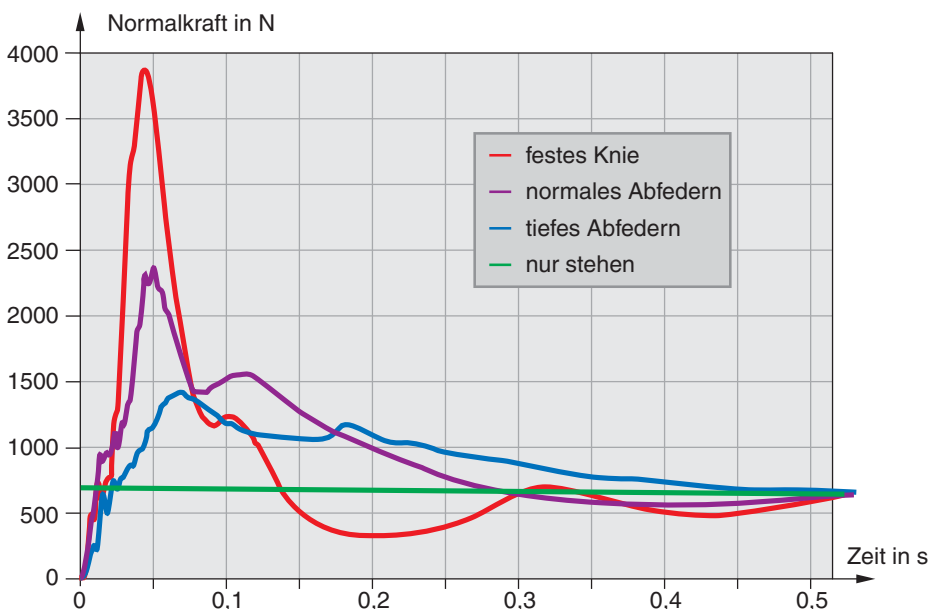


Abb. 2: Kraftverlauf bei einer Landung mit steifen Knien ohne Abfedern (rot), bei einer Landung mit „normalem“ Abfedern (lila) und bei einer Landung mit bewusstem, tiefem Abfedern (blau)

2.3 Schülerexperimente zur Landung

Zunächst kann das Verständnis für die gemessene Bodenreaktionskraft (= Normalkraft) durch Betrachtung einfacher Bewegungen geschult werden. Neben einer Kraftmessplatte ist dies auch mit manchen Personenwaagen möglich. Ohne Bewegung wird die Gewichtskraft des Schülers

angezeigt, denn zwei Kräfte, die auf ihn einwirken, kompensieren sich: die Gewichtskraft nach unten, die die Erde ausübt, und die Normalkraft nach oben, die der Boden ausübt. Springt eine Person auf der Kraftmessplatte aus der tiefen Hocke hoch, bis sie abhebt, wird eine größere Normalkraft gemessen; eine insgesamt

nach oben resultierende Kraft beschleunigt den Körper nach oben. Wird eine Kniebeuge in die tiefe Hocke ausgeführt, wird zu Beginn der Bewegung eine geringere Normalkraft durch den Boden angezeigt; eine insgesamt nach unten resultierende Kraft beschleunigt den Körper nach unten [4,5]. Am Ende der Bewegung wird eine größere Normalkraft durch den Boden angezeigt; eine insgesamt nach oben resultierende Kraft bremst den Körper ab. Damit ist man bei der Landung nach einem Sprung.

Eine erste Landung ohne besondere Aufträge an die Person zeigt aus dieser Höhe von $h = 0,40$ m bereits eine maximale Kraft vom ca. 3,5-Fachen der Gewichtskraft des Körpers. Bei der Landung mit normalem Abfedern in Abb. 2 (violette Linie) mit einer Gewichtskraft von 660 N gibt es eine maximale Normalkraft von 2380 N. Die Landung dauert etwa 0,28 s und während dieser Zeit ist die durchschnittliche Kraft 1210 N, was fast dem oben berechneten Wert entspricht (siehe Abschnitt 2.1).

Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler einen minimalen und einen maximalen Ausschlag der Kraftkurve bei gleicher Absprunghöhe erzielen. Bei dem Versuch, besonders tief und bewusst den Sprung abzufedern, kann man eine so-

nannte „Frog-Landung“ praktizieren und so tief in die Hocke gehen, dass die Hände mit auf der Kraftmessplatte abgesetzt werden (siehe Abb. 3). Mit einer solchen Landung können die Kraftwerte bis auf den 1,5- bis 2,0-fachen Wert der Gewichtskraft des Körpers gesenkt werden (siehe Abb. 2, blaue Linie). Für die optimale Kraftreduktion muss man sich vor dem ersten Kontakt maximal ausstrecken, um früh die Landefläche zu berühren und den Landeverlauf über einen großen Zeitraum zu verzögern. Aus der Streckung senkt man den Schwerpunkt innerhalb des Landevorgangs so tief wie möglich ab, geht also weit in die Hocke und senkt gleichzeitig seinen Oberkörper. Bei der tiefen Landung in Abb. 2 (blaue Linie) ist die maximale Kraft nur 1420 N. Dafür dauert die Landung etwa 0,49 s. Die mittlere Kraft während dieser Zeit beträgt nur noch 910 N.

Einen maximalen Kraftpeak schafft man dementsprechend mit der Reduktion der Landezeit. Den Landevorgang so schnell wie möglich durchzuführen, erreicht man, indem man mit gestreckten Beinen ohne Abzufedern den Fall direkt stoppt. So entstehen Bodenreaktionskräfte vom Sechsfachen der Gewichtskraft. Zu beachten ist jedoch, dass die verwendete Kraftmessplatte von Pasco einen Messbereich nur bis 5000 N hat, der hier erreicht werden kann. Bei der Landung mit festen Knien in Abb. 2 (rote Linie) ist die Landezeit 0,14 s, der Hälfte der ursprünglichen Landezeit. Die maximale Kraft ist dafür mit 3890 N deutlich größer, ebenso die durchschnittliche Kraft mit 1650 N.

Die zur Messung verwendete Software „Datastudio“ bietet nicht nur die Möglichkeit, Maximalwert und Durchschnittswert eines Zeitintervalls zu bestimmen, sondern es kann auch die Fläche unter der Kurve berechnet werden, womit obige Überlegungen überprüft werden können. Wenn eine Person der Masse von 67 kg aus einer Höhe von $h = 0,40$ m springt und mit

$$v = \sqrt{2gh} \approx 2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

am Boden landet, bedeutet diese eine Impulsänderung von $\Delta p = m\Delta v \approx 188$ Ns. Wenn wir annehmen, dass die Kraftmessplatte bei der normalen Landung aus Abb. 2 die ganze Landezeit von 0,28 s die Gewichtskraft von 660 N misst – was für den Anfang fälschlicherweise zu hoch gegriffen ist –, ergibt dies zusätzlich 185 Ns und die Summe aus beiden ist 373 Ns. Tatsächlich ergibt die Fläche unter der Kraftkurve einen gemessenen Kraftstoß von 341 Ns, was gut zu den theoretischen Überlegungen passt.

Für reales Landen beim Turnen ist noch zu bedenken, dass bei größeren Fallhöhen auch größere abbremsende Kräfte nötig sind. Zusätzlich gibt es noch den abbremsenden Schwung von Salto- und Schraubenbewegung. Um die Landung abzufedern und die Kraft zu reduzieren, verwenden Turner Matten. Eine Turnmatte mit 6 bis 8 cm Höhe reduziert die Kraft bei einer Landung aus großen Höhen wenig. Sie ist eher für Rollen im Kinderturnen geeignet, um zu verhindern, dass der Kopf den harten Boden berührt. Niedersprungmatten mit 15 bis 20 cm Dicke reduzieren die Kraftwirkung bei der Landung nur etwas, sodass die Sportler noch relativ hart landen, aber im Gegensatz zu weicherem Untergrund ohne einen Wackler stehen können. Weichböden mit Höhen ab 30 cm und einem weichen Schaumstoffkern sind die beste Möglichkeit, die resultierende Kraft zu minimieren. Hier sinkt man bis zu zwei Drittel ein und wird dabei weich abgebremst. Auf solchen Matten turnerisch zu landen, ist aber sehr schwer, da man in einem solchen Landeloch oft schräg steht und deswegen ein oder zwei Schritte machen muss.

2.4 Zusammenfassung der Landung

Bei gleicher Absprunghöhe und konstantem Körpergewicht ist also das Zeitintervall des Landevorgangs entscheidend für die Kraft, die auf den Schüler wirkt (siehe Tab. 1). Durch ein langsames Abfedern mit den Knien und Fußgelenken und ebenso durch Matten kann eine Kraftreduzierung erreicht werden. Dieses biomechanische Abfedern der Beine entspricht gewissermaßen der Knautschzone eines Autos, einem Bereich, der die Impulsänderung auf einen längeren Zeitraum strecken soll. Unsere Knochen haben natürlich nicht die Möglichkeit zu knautschen, die Gelenke wie Sprunggelenk und Knie schon. Das Z-förmige Zusammenstauchen der Beine ähnelt einer Blattfeder, die so den Aufprall bei einer Landung dämpft.

Diese Vergleiche lassen auch Rückschlüsse über aktuelle Entwicklungen der Turngeräte ziehen. In Sprungbrettern werden Kegelfedern für einen besseren Absprung gegenüber alten Sprungbrettern

mit Blattfedern aus Holz und Gummifedern eingesetzt. Außerdem werden ganze Bodenflächen mit Schraubenfedern unterbaut, um die entsprechenden Landungen leicht abzubremesen, was neue Dimensionen im Kunstturnen ermöglicht.

An der Goethe-Universität wurde das Vorgestellte in einem Schülerlabor „Salto und Co“ von Schülern durchgeführt, die bereits die Oberstufenmechanik behandelt hatten [6]. Über die einfache Biomechanik vom Laufen und Springen hinaus sollten die Schülerinnen und Schüler unterschiedliche akrobatische Sprünge mithilfe von Videoanalyse und Kraftmessplatte untersuchen. Die Erfahrung zeigt, dass Schüler und Schülerinnen daran sehr interessiert sind.

3 Das „Tackle“ im Rugby

Wenn im Rugby ein Spieler der verteidigenden Mannschaft den Ballträger stoppen möchte, kann er dies tun, indem er den Spieler mit den Armen unterhalb der Schulter umgreift und zu Boden bringt. Das nennt man einen Tackle. Im besten Fall zieht man den Ballträger nicht einfach mit sich auf den Boden, sondern versucht ihn aktiv mit der Schulter in den Boden zu rammen und zu Fall zu bringen. Man setzt bei einem Tackle möglichst tief an, meist mit der Schulter auf Hüfthöhe des Gegners oder tiefer, um auch kräftigere Gegner auf den Boden zu bringen. Wichtig dabei ist, dass beide beteiligten Spieler, also der tackelnde Verteidiger und der getackelte Angreifer, gemeinsam zu Boden gehen müssen.

Im American Football dagegen ist dies keine Regel. Dort sieht man häufiger, dass ein Spieler einen anderen mit seiner Schulter einfach rammt. Das erfolgt viel weniger kontrolliert und hierbei entstehen wesentlich mehr Verletzungen. Im Rugby, das ohne Schutz wie zum Beispiel Polster und Schoner gespielt wird, wären solche unkontrollierten Rammstöße zu gefährlich.

Nun wäre es interessant, welche Kraft der Verteidiger auf den Angreifer bei diesem Stoß ausübt. Zumindest den durchschnittlichen horizontalen Kraftanteil, der auf den balltragenden, angreifenden Spieler während des Tackles wirkt, kann man einfach aus einem Hochgeschwindigkeits-

	Stoßzeit Δt in s	F_{max} in N	F_{Mittel} in N	$F_{\text{Mittel}} - F_G$ in N
Feste Knie	0,14	3890	1650	990
Normales Abfedern	0,28	2380	1210	550
Tiefes Abfedern	0,49	1420	910	250

Tab. 1: Vergleich der wichtigsten Messwerte aus Abb. 2



Abb. 4: Ein Angreifer (links) läuft auf den Verteidiger (rechts) zu.



Abb. 5: Der Angreifer (rot) wurde vom Verteidiger (schwarz) durch einen Tackle (Stoß) erfolgreich abgebremst

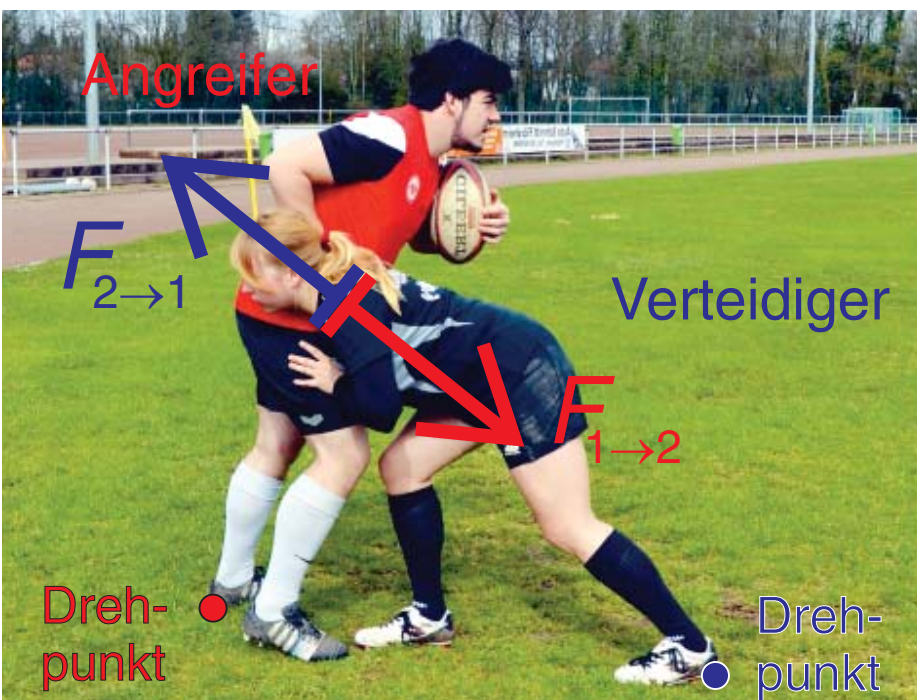


Abb. 6: Kräfte und Drehpunkte beim Tackle zwischen Angreifer (links) und Verteidiger (rechts)

video ermitteln. Der Angreifer, d.h. der Ballträger, läuft mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_A auf sein Gegenüber zu (siehe Abb. 4), nach dem Zusammenstoß ist seine Endgeschwindigkeit $v_E = 0$ (siehe Abb. 5). Diese beiden Geschwindigkeiten erhält man durch eine Videoanalyse der Bewegung (verwendet wurde das Programm „measure dynamics“). Die Zeitspanne Δt des Stoßes kann man direkt aus dem Hochgeschwindigkeits-Video entnehmen. Sie beschreibt die Zeit vom ersten Kontakt der Spieler bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Geschwindigkeit null beträgt. Teilt man nun die Geschwindigkeitsänderung Δv durch die Zeitspanne, erhält man die durchschnittliche Beschleunigung

$$a_{\text{Mittel}} = \frac{v_E - v_A}{\Delta t}$$

Um nun die durchschnittliche Kraft zu berechnen, die auf den angreifenden Spieler wirkt, kann man dies mit seiner Masse multiplizieren oder alternativ die Impulsänderung pro Zeit berechnen.

Es wurden Videos von Tackles mit einer Framerate von 120 fps aufgenommen [7]. Dazu wurde die Größe eines Spielers zur Skalierung verwendet und die Spieler wählten für ihre Trikots Farben, die sich gut vom Hintergrund unterschieden. In einem gefilmten Tackle hatte der Angreifer eine Masse $m_1 = 90 \text{ kg}$ und der Verteidiger eine Masse $m_2 = 70 \text{ kg}$. Aus der Anfangsgeschwindigkeit $v_A = 3,6 \text{ m/s}$, der Endgeschwindigkeit $v_E = 0$ des Angreifers und der Zeitdauer des Stoßes von $\Delta t = 0,080 \text{ s}$ ergibt sich eine mittlere Kraft von

$$F_{2 \rightarrow 1} = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,080 \text{ s}} 90 \text{ kg} = -4100 \text{ N},$$

was ein Vielfaches seiner Gewichtskraft ist. In einem zweiten gefilmten Tackle hatte der Angreifer die Anfangsgeschwindigkeit $v_A = 3,4 \text{ m/s}$, die Endgeschwindigkeit $v_E = 0$ und die Zeitdauer des Stoßes betrug $\Delta t = 0,060 \text{ s}$. Daraus ergibt sich eine mittlere Kraft von

$$F_{2 \rightarrow 1} = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 3,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,060 \text{ s}} 90 \text{ kg} = -5100 \text{ N}.$$

Der Spitzenwert kann dabei noch deutlich größer sein.

Nach dem dritten Newton'schen Gesetz müsste man den gleichen Wert bei analoger Betrachtung des Verteidigers erhalten. Dies gelingt aber nicht genauso gut, da sich der Verteidiger in einer gebeugten Hal-

tung befindet (siehe Abb. 6) und während des Tackles noch eine Aufwärtsbewegung macht.

Bei diesem Stoß spielen auch Drehmomente eine Rolle. Bei einem Tackle wird der Verteidiger möglichst tief an den Angreifer herangehen. Außerdem wird der hintere Fuß relativ weit hinten stehen (siehe Abb. 6), um seinen Drehpunkt zu verlagern. Beim Tackle drückt der Verteidiger dann den Angreifer schräg nach oben [8].

Der Drehpunkt befindet sich bei beiden Spielern am hinteren, den Boden berührenden Fuß. Die Wirkungslinie der Kraft, die der Angreifer auf den Verteidiger ausübt, geht fast durch den Drehpunkt des Verteidigers. Deshalb wird auf ihn bzgl. seines hinteren Fußes fast kein Drehmoment ausgeübt und er steht sehr stabil.

Die Wirkungslinie der Kraft, die der Verteidiger auf den ballführenden Angreifer ausübt, steht dagegen fast senkrecht auf seinem Dreharm, sodass eine grobe Abschätzung des Drehmomentes gemacht werden kann. Bei einem Dreharm von $l_1 = 0,89 \text{ m}$ und einer mittleren Kraft von 4100 N ergibt sich ein mittleres Drehmoment von ca. 3600 Nm auf den Angreifer. Somit dreht sich der Angreifer um seinen Drehpunkt und fällt nach hinten, da er sehr instabil steht. Der Dreharm kann aus dem Video mithilfe des Messwerkzeuges „Längenmessung“ von *measure dynamics* bestimmt werden.

Obwohl bei diesem Stoß auf beide Spieler gleich große Kräfte durch den anderen

Spieler wirken, wirken nicht gleiche Drehmomente bzgl. ihrer hinteren Füße. Auf den angreifenden, balltragenden Spieler wird ein größeres Drehmoment ausgeübt, als dieser auf den Verteidiger ausübt.

4 Schlussüberlegung

Mit heutiger Messtechnik von Lehrmittel-firmen können nicht nur Stöße von Laborobjekten gemessen werden, sondern auch Stöße von Schülern im Sport. Die dabei auftretenden mittleren Kräfte können direkt mit einer Kraftmessplatte oder einem Beschleunigungssensor gemessen werden oder indirekt über die Geschwindigkeitsänderung und die Stoßzeit bestimmt werden. Letztlich sind vier Größen interessant: die mittlere Kraft, die Stoßzeit, die Masse und die Geschwindigkeitsänderung:

$$\vec{F}_{\text{Mittel}} \Delta t = m \Delta \vec{v}.$$

Dass je zwei davon auch zur Impulsänderung $m \Delta \vec{v}$, zur mittleren Beschleunigung $\Delta \vec{v} / \Delta t$ oder zum Kraftstoß $\vec{F}_{\text{Mittel}} \Delta t$ zusammengefasst werden können, ist weniger wichtig. ■

Literatur

- [1] Egidy, B.; Wilhelm, T.: *Physikunterricht und Tennis* – In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 63, Nr. 7, 2014, S. 21–29
 [2] Zimmermann, F.; Wilhelm, T.: *Fußball im Physikunterricht – gemessen mit dem Computer* – In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 63, Nr. 1, 2014, S. 9–17

[3] Bull, A. M. J.; Amis, A. A.: *Biomechanik* – In: Kohn, D. (Hrsg.): *Orthopädie und orthopädische Chirurgie – Knie*, Stuttgart: Thieme Verlag, 2005, S. 36–44

[4] Wilhelm, T.; Gefßner, T.; Suleder, M.; Heuer, D.: *Sportaktivitäten vielseitig analysieren und modellieren – Video und Messdaten multimedial aufbereitet* – In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 52, Nr. 2, 2003, S. 23–30

[5] Weidt, M.; Wilhelm, T.: *Bewegungen des eigenen Körpers – Möglichkeiten der Messwerfassung im Vergleich* – In: *PhyDid-B – Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Münster 2011*, <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/260/415>

[6] de la Rosa Fernandez, T.: *Entwicklung eines Schülerlabors zur Mechanik im Kontext Turnen*, Staatsexamensarbeit Universität Frankfurt, 2015, www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/turnen.htm

[7] Opfermann, L.: *Rugby im Physikunterricht*, Staatsexamensarbeit, Universität Frankfurt, 2016

[8] Gay, T.: *The Physics of Football: Discover the Science of Bone-Crunching Hits, Soaring Field Goals, and Awe-Inspiring Passes*, It Books, Reprint, 2005

Anschrift der Verfasser

Timo Birkmeyer, Lisa Opfermann, Prof. Dr. Thomas Wilhelm, Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main, E-Mail: timobirkmeyer@gmx.de, lisaopf@googlemail.com, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Tablet-Spiele im Physikunterricht: Untersuchung von Stößen beim Poolbillard

P. Vogt, J. Kuhn und R. Braun

1 Einleitung

1.1 Grundidee

Zur Untersuchung elastischer Stöße eignet sich das Billardspiel infolge geringer Energiedissipationen bei Roll- und Stoßvorgängen gut. An dieser Stelle soll jedoch nicht ein reales Billard untersucht werden, sondern ein Smartphone- bzw. Tablet-Spiel. Ein reales Billardspiel wäre zwar prinzipiell

möglich, mit einer Schulklasse aber nur schwer umsetzbar. Anhand der Analysen wird letztlich beurteilt, ob das Videospiel aus physikalischer Sicht realistisch dargestellt ist. Thematisiert werden Dissipationsprozesse, nämlich die zwischen Kugel und Tisch vorhandene Reibungskraft wie auch der relative Energieverlust bei den Stößen Kugel–Kugel und Kugel–Bande. Alle Grö-

ßen werden unter Nutzung entsprechender Videosequenzen abgeschätzt und mit Literaturwerten verglichen. Darüber hinaus werden die Gesetzmäßigkeiten des geraden elastischen Stoßes sowie des schiefen elastischen Stoßes zweier Kugeln wie auch des geraden und schiefen Stoßes Kugel–Wand formuliert und auf das Billardspiel angewandt.