

Physik des Skateboardings

- Materialabhängige Elastizitätseigenschaften des Skateboard Decks -

Manuel Kerk, Alexander Pusch, Wilfried Suhr & Daniel Laumann

Institut für Didaktik der Physik
Westfälische Wilhelms-Universität
Wilhelm-Klemm-Str. 10
48149 Münster

manuel.kerk@wwu.de, alexander.pusch@wwu.de, wilfried.suhr@wwu.de, daniel.laumann@wwu.de

Kurzfassung

Zum Zwecke der Kontextualisierung von Physikunterricht existieren zahlreiche Bezüge zu unterschiedlichen Sportarten. Ergänzend zu klassischen Beispielen, wie z.B. dem schiefen Wurf beim Basketball, besitzen insbesondere Sportarten mit einer gewissen Nähe zur Jugendkultur ein großes Potential, um die Auseinandersetzung mit physikalischen Inhalten zu motivieren. So basiert das Skateboarding auf grundlegenden Prinzipien der Mechanik und weist vielfach Bezüge zum Basis-konzept Energie auf. Als Grundlage für den Einbezug eines Sportkontextes in den Physikunterricht gilt es jedoch den physikalischen Hintergrund der jeweiligen Sportart zu klären.

Bislang existieren hinsichtlich grundlegender Prinzipien des Skateboardings im Gegensatz zu anderen Sportarten nur in geringem Umfang fachliche Untersuchungen. Auch Hersteller von Skateboards nutzen selten empirische Daten zur Entwicklung von Skateboards, sondern berücksichtigen vor allem praktisches Erfahrungswissen. Der Beitrag widmet sich dieser Forschungslücke durch die experimentelle Analyse zentraler Einflussfaktoren auf die Dynamik skateboardtypischer Bewegungen. Die Untersuchungen umfassen eine experimentelle Kraftanalyse des Kicks und Pops sowie die Messung des Einflusses der Materialzusammensetzung eines Skateboard Decks auf die für das Sprungverhalten grundlegenden Elastizitätseigenschaften eines Skateboards.

1. Einleitung

Die Ursprünge des Skateboardings als Sportart und Freizeitbeschäftigung gehen bei Berücksichtigung verwandter Vorläufer bis an den Beginn des 20. Jahrhunderts in Nordamerika zurück. Die heutige Art und Weise der Ausführung des Skateboardings sowie die grundlegende Gestaltung der zugehörigen Materialien gründete sich in den 1950er Jahren an der nordamerikanischen Ostküste in Kalifornien im Zuge einer Transformation der Sportart Wellenreiten, die das Ziel verfolgte eine ähnliche Aktivität auf der Straße ausüben zu können („Asphaltsurfing“) [1].

Seit dieser Zeit unterlag das Skateboarding in der Vergangenheit über viele Jahrzehnte immer wieder wellenförmigen Popularitätszuwüchsen mit nachfolgendem Rückgang des Interesses und der Bedeutung. Seit Anfang des 21. Jahrhunderts gilt Skateboarding jedoch als etablierte und im Mainstream fest verankerte Sportart [2]. Dies drückt sich u.a. dadurch aus, dass Skateboarding bei den Olympischen Spielen 2020 in Tokio (Japan) erstmalig als offizielle olympische Disziplin vertreten sein wird [3].

Die heutige Form des Skateboardings ist maßgeblich durch das namensgebende Sportgerät gekennzeichnet. Dieses besteht stets aus vier Rollen, die mit

Achsen an einem gekrümmten Brett, dem Deck, befestigt sind. Durch die lose Verbindung zwischen FahrerIn bzw. Fahrer und Skateboard ist die Anregung dynamischer Bewegungen oder die Ausführung von Sprüngen und spezifischen Fahrtechniken bzw. so genannten „Tricks“ möglich.

Sämtliche Bewegungen folgen dabei fundamentalen und für den Physikunterricht relevanten Prinzipien (Newton'sche Dynamik, Steiner'scher Satz etc.) und zentralen Größen der Mechanik (Masse, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Drehmoment, Trägheitsmoment etc.). Berücksichtigt man weiterhin die starken Bezüge des Skateboardings zur Jugendkultur und die große Popularität der Sportart in dieser Altersklasse [4], [5], erscheint Skateboarding als Kontext für den Physikunterricht im Bereich der Mechanik grundsätzlich sehr geeignet. Entsprechende Unterrichtskonzepte zur Behandlung physikalischer Prinzipien im Kontext Sport existieren u.a. bereits für Elemente des Fußballs [6], [7] oder für Sportarten aus dem Bereich der Leichtathletik [8].

Um dem Ziel der didaktischen Strukturierung gemäß des Modells der didaktischen Rekonstruktion bei der Entwicklung von Lehr-Lernmaterialien nachgehen zu können, ist jedoch neben der Erfassung der

Schülerperspektive auch eine fachliche Klärung notwendig [9]. Diesbezüglich lässt sich jedoch für das Skateboarding im Gegensatz zu anderen Sportarten feststellen, dass bislang nur wenige fachliche Beschreibungen und Analysen der grundlegenden Vorgänge des Skateboardings existieren. Diese sind vorwiegend theoretischer Natur und beziehen sich auf das Fahren mit einem Skateboard [10], [11], [12]. Im Physikunterricht existieren Bezüge zum Skateboarding bisher meist nur durch sehr oberflächliche Kontexte, wie u.a. die Diskussion des Prinzips der Energieerhaltung am Beispiel der Halfpipe [13]. Dieser Aspekt wird allerdings durch fehlende Berücksichtigung von Reibung häufig stark idealisiert und bildet zudem nur eine kleine Facette des Skateboardings ab.

Doch nicht nur für die Entwicklung von Lehr-Lernmaterialien erscheinen grundlegende theoretische und experimentelle Analysen des Skateboardings notwendig. Die Skateboardindustrie gründet technologische Optimierungen, wie die Kombinationen „modernerer“ Materialien, Carbon und Glasfaserelemente in klassischen Holzdecks, bislang weitestgehend auf die subjektive Wahrnehmung und Intuition bei der Nutzung der Skateboards durch hinreichend erfahrene und kompetente Fahrerinnen und Fahrer.

2. Theoretischer Hintergrund

Für die nachfolgende Beschreibung der Durchführung spezifischer mechanischer Analysen zum Skateboarding erscheinen Kenntnisse zur Terminologie und die Beschreibung ausgewählter Phänomene hilfreich. Weiterhin gilt es diese Phänomene mithilfe einer zugänglichen physikalischen Modellierung zu beschreiben, um damit einen Rahmen für theoretische und experimentelle Untersuchungen zu schaffen.

2.1. Terminologie und Phänomenologie des Skateboardings (Auswahl)

Zunächst soll die Terminologie mit Blick auf den Aufbau eines Skateboards erläutert werden, siehe Abb. 1. Ein Skateboard besteht, wie bereits beschrieben, prinzipiell aus einem Deck, zwei Achsen sowie vier Rollen. Das Deck besteht aus mehreren verleimten Materialschichten (i.d.R. Ahornholz). Die Fahrerinnen oder der Fahrer kann das Skateboard z.B. durch Abstoßen mit einem Fuß vom Boden in eine Vorwärtsbewegung bringen. Auf dem Deck befindet sich zur Verstärkung der Haftreibung zwischen den Füßen und dem Deckmaterial das sogenannte Griptape, dessen Struktur und Eigenschaften Ähnlichkeiten zu grobem Schleifpapier aufweisen. Unter dem Deck ermöglichen zwei Achsen, die typischerweise aus Metall gefertigt sind, die kugelgelagerte Befestigung der Rollen. Die Achsen sind beweglich und so konstruiert, dass das Skateboard beim Fahren durch Gewichtsverlagerung gelenkt werden kann [10]. Die Decks unterschiedlicher Skateboards können sich einerseits durch die verwendeten Materialien, aber andererseits auch durch die jeweilige Form unterscheiden. Jedes Deck ist am vorderen Ende (Nose) und

hinteren Ende (Tail) leicht aufgebogen, wobei die Nose verglichen mit dem Tail in vielen Fällen länger erscheint. Ein Skateboard Deck ist zudem häufig entlang der Verbindungsachse von Nose und Tail gewölbt. Diese Wölbung wird als Concave bezeichnet. Eine Unterscheidung von Skateboard Decks ergibt sich durch die Stärke des Concave, durch den Shape, d.h. die Form der Grundfläche, oder auch durch unterschiedliche Größen des Decks (Länge, Breite).

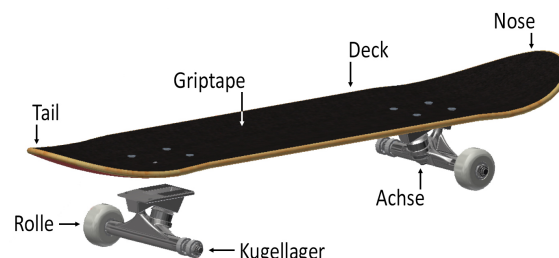


Abb.1: Darstellung des Aufbaus eines Skateboards und Angabe relevanter Bauteile.

Weitere Begrifflichkeiten ergeben sich bei Betrachtung unterschiedlicher Fahr- oder Sprungbewegungen. Im Gegensatz zu den bereits existierenden Analysen der Fahrt eines Skateboards [10], [11], [12], bezieht sich dieser Beitrag auf die Sprungbewegung, die als Ollie bezeichnet wird, siehe Abb. 2. Folgende phänomenologische Beschreibung fasst den Ollie anschaulich zusammen:

„Ein kurzer Tritt auf das Tail des Skateboards – Kick. Das Skateboard rotiert um die hintere Achse Richtung Boden und wird beim Aufprall des Tails in die Luft katapultiert – Pop. In der Luft führt der vordere Fuß das Skateboard im Bereich der Nose und drückt diese leicht nach unten. Schließlich erfolgt zum richtigen Zeitpunkt die Landung mit beiden Füßen auf dem Deck und der Ollie ist beendet.“

2.2. Physikalische Beschreibung und Modellierung mechanischer Prinzipien (Auswahl)

Der Ollie gilt als einer der einfachsten Skateboardtricks und ist Grundlage für die Ausführung nahezu sämtlicher komplexerer Sprünge. Die Fahrerinnen oder der Fahrer geht zunächst auf dem Skateboard stehend in die Hocke und bereitet damit den eigenen Sprung vor. Beim Absprung drückt der hintere Fuß auf das Tail (Kick), sodass ein Drehmoment auf das Deck wirkt und das Skateboard um die hintere Achse rotiert. Da die Rotationsachse nicht durch den Schwerpunkt verläuft, wird das Skateboard relativ zu diesem zusätzlich in Translation versetzt.

Durch die Rotation schlägt das Tail auf den Boden und biegt sich leicht, sodass ein Teil der vom Boden wirkenden Normalkraft die Durchbiegung des Decks sowie eine vertikale Beschleunigung verursacht und das Skateboard vom Boden hochspringt (Pop). Sowohl die Spannkraft der Biegung als auch die Normalkraft sind entgegengesetzt zum ursprünglichen Drehsinn der Rotation ausgerichtet, sodass ein entgegengesetztes Drehmoment wirkt.

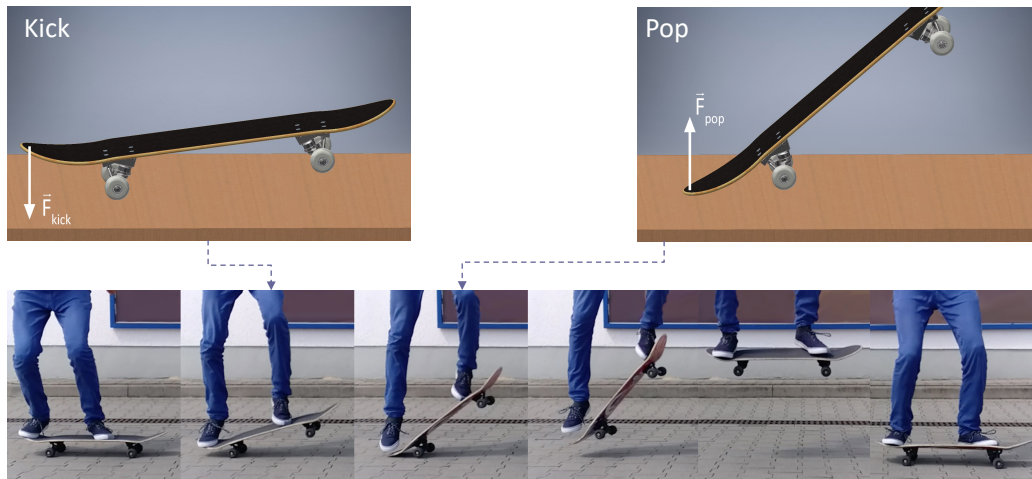


Abb.2: Darstellung des Bewegungsablaufs beim Ollie sowie Visualisierung der wirkenden Kräfte beim Kick und Pop.

Die Dynamik des Ollies ist somit insbesondere durch die ursprünglich von der Fahrerin oder vom Fahrer ausgeübte Kraft F_{kick} sowie die anteilmäßig beim Pop wirkende Kraft F_{pop} (Merkmal M1) in Abhängigkeit vom Trägheitsmoment J des Skateboards (Merkmal M2) bestimmt. Weiterhin werden im Rahmen des Pops die Elastizitätseigenschaften des Deckmaterials bei Durchbiegung (Merkmal M3) sowie die Abmessungen und Formparameter des Skateboards (Merkmal M4) wirksam, siehe Abschnitt 2.1.

Die weiteren Phasen des Ollies nach dem Pop sind für die vollständige Durchführung wichtig, aber aus physikalischer Perspektive im Rahmen dieses Beitrags nicht relevant.

3. Untersuchungsziel und Forschungsfragen

Die beschriebene physikalische Modellierung der Anfangsphase des Ollies ermöglicht die Durchführung theoretischer und insbesondere experimenteller Analysen. Folgt man der physikalischen Beschreibung und Modellierung, nehmen die vier Merkmale (M1) bis (M4) des Skateboards Einfluss auf dessen Sprungeigenschaften. Hinsichtlich der Materialparameter (M3) ist festzustellen, dass ein Deck typischerweise aus sieben dünnen Holzschichten, meist kanadisches Ahornholz, die mit Epoxidharz verbunden werden, hergestellt wird. Moderne Skateboard Decks bestehen jedoch häufig auch aus alternativen Materialien, wie Fiberglas oder Carbon, die einzelne Holzschichten ersetzen, siehe Abschnitt 4. Insbesondere stellt sich hier die Frage, inwiefern die häufig nur geringfügigen Materialvariationen die physikalischen Eigenschaften des Skateboard Decks beeinflussen.

Dieser Beitrag soll eine erste Annäherung an die Frage des Einflusses der Materialzusammensetzung auf den Ollie leisten, siehe Abschnitt 5, und erste Erkenntnisse hinsichtlich der Vertiefung spezifischer Messungen erbringen. Um Aussagen über den genannten Einfluss beim einfachsten Skateboard Sprung treffen zu können, d.h. im Sinne der

Phänomenologie den Einfluss des Deckmaterials auf Kick und Pop zu bestimmen, ist jedoch zunächst eine Abschätzung der wirkenden Kräfte F_{kick} und F_{pop} (M1) in Abhängigkeit vom Trägheitsmoment J (M2) notwendig, siehe Abschnitt 4.

Wir fokussieren aufgrund der vergleichsweise komplexen Modellierung und Klassifizierung der Formparameter auf die Analyse der Merkmale (M1) bis (M3) und vernachlässigen den Einfluss der Formparameter durch die Untersuchung (nahezu) identischer Deckgeometrien.

4. Kraftanalyse des Kicks und Pops

Zur Bestimmung der wirkenden Kräfte F_{kick} und F_{pop} wird vereinfacht davon ausgegangen, dass diese durch das Trägheitsmoment J , die Winkelbeschleunigung α sowie den Abstand r zwischen der wirkenden Kraft und der Rotationsachse gemäß

$$F = J \cdot \alpha / r \quad \{1\}$$

gegeben sind. Wie aus Beziehung {1} hervorgeht, ist für die Berechnung der wirkenden Kräfte die Kenntnis der Winkelbeschleunigungen α der in Abschnitt 2.2 beschriebenen Rotationsbewegung beim Kick und Pop erforderlich. Zur experimentellen Bestimmung erfolgten zunächst Videoanalysen von realen Ollies. Diese wurden von Amateur- und Profiskatern ausgeführt, um den absoluten Einfluss der Kraft abschätzen zu können. Da die Kraftanalyse, wie in Abschnitt 3 beschrieben, als Grundlage zur Untersuchung der Elastizitätseigenschaften dient und sich diesbezüglich der experimentelle Aufbau durch eine statische Apparatur vereinfachen würde, soll die Durchführung von Analysen des Ollies aus der Fahrt und aus dem Stand erfolgen, um den zusätzlichen Einfluss der Translationsdynamik auf die wirkenden Kräfte abschätzen zu können.

Die Bestimmung des Trägheitsmomentes J erfolgte durch Messung der Schwingungsdauer mit

Periodendauer T bei Masse des Skateboards m an einer bifilaren Aufhängung gemäß einer gängigen Methode [14]. Tab. 1 zeigt die ermittelten Trägheitsmomente für die unterschiedlichen Deckmaterialien. Diese sind bei der Kraftanalyse in Abschnitt 5 zu berücksichtigen.

Material	Trägheitsmoment J in $[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
Deck A	$0,1157 \pm 0,0007$
Deck B	$0,1272 \pm 0,0009$
Deck C	$0,1219 \pm 0,0007$

Tab.1: Trägheitsmomente J unterschiedlicher Deckmaterialien (Deck A: 7-Layer Ahornholz, Deck B: 7-Layer Ahornholz + Fiberglas-Schicht, Deck C: 7-Layer Ahornholz + Carbon CFRP Einlage).

Die Bestimmung der Trägheitsmomente J und die direkte Messung der Abstände r von der wirkenden Kraft zur Rotationsachse ermöglicht die Bestimmung der gesuchten Kräfte bei Kenntnis der Winkelbeschleunigung α .

4.1. Versuchsaufbau- und Durchführung

Die Durchführung der Videoanalyse der Ollies erfolgte mit einem Smartphone Typ *Samsung Galaxy S8+* aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung der Kamera (240 fps bei 1280x720 Pixeln). Für die Analyse der Bewegung und die Bestimmung der Winkelbeschleunigungen α wurde die Software *Tracker Video Analysis* eingesetzt. Die Durchführung der Sprünge erfolgte durch einen Amateurskater sowie zwei Profiskater in einer mit Markierungen zur Definition des Maßstabs vorgegebenen Umgebung. Es wurden Sprünge mit sämtlichen genannten Decks sowohl aus der Fahrt ($N_{\text{Fahrt}} = 28$) als auch aus dem Stand ($N_{\text{Stand}} = 25$) ausgeführt.

Aus den Beschleunigungsdaten im zeitlichen Verlauf lässt sich, wie in Abb. 3 exemplarisch dargestellt, jeweils die Winkelbeschleunigung beim Kick α_{kick} als Maximum und beim Pop α_{pop} als Minimum ermitteln (rote Markierungen).

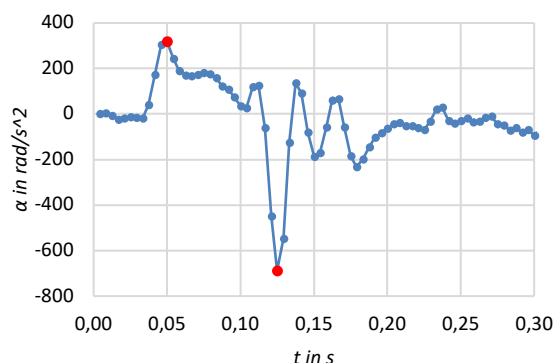


Abb.3: Winkelbeschleunigung α der Vorderachse (exemplarischer Befund Videoanalyse; rote Markierung Maximum: α_{kick} , Minimum: α_{pop}).

4.2. Ergebnisse und Diskussion

Die Bestimmung der Kräfte ergibt die Mittelwerte $F_{\text{kick,mean}} = 390 \pm 66 \text{ N}$ und $F_{\text{pop,mean}} = 260 \pm 24 \text{ N}$ bei Berechnung über alle Messungen nach Beziehung {1}, siehe Abb. 4. Es folgt somit als Erkenntnis aus den Untersuchungen, dass durchschnittlich etwa 2/3 der ursprünglich von der FahrerIn oder dem Fahrer aufgebracht Kraft beim Kick für die vertikal nach oben gerichtete Beschleunigung des Pops aufgewendet werden. Die durchschnittlich etwa 80 kg schweren Skater haben dabei maximal eine Kraft von 500 N für den Kick aufgebracht. Die Betrachtung der Highspeed-Aufnahmen lässt weiterhin eindeutig erkennen, dass die Skater den Kick erst ausführen, nachdem sie selbst eine gewisse vertikale Geschwindigkeit aufweisen.

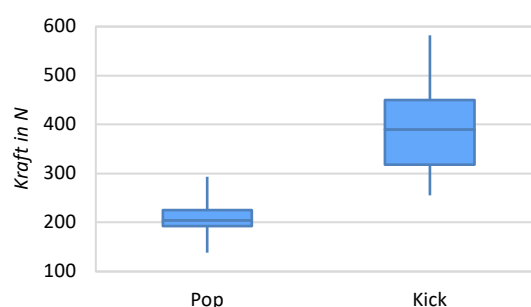


Abb.4: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Kräfte bei Videoanalyse sämtlicher Ollies unterteilt in Pop und Kick.

Die Tatsache, dass die Kräfte beim Pop deutlich geringere Werte aufweisen als beim Kick, folgt maßgeblich durch eine Verschiebung der Rotationsachse. Während das Board beim Kick um die hintere Achse rotiert, erfolgt die Rotationsbewegung beim Pop aufgrund der freien Beweglichkeit um eine im Schwerpunkt befindliche Rotationsachse. Infolge dieser Verschiebung der Rotationsachse verändert sich das Trägheitsmoment, das beim Pop im Vergleich zum Kick deutlich geringer ist. Zu berücksichtigen ist an dieser Stelle, dass bei den Berechnungen der Anteil des Drehmoments, der durch die Gewichtskraft des Boards verursacht wird, aufgrund des geringen Einflusses, etwa 20 N, nicht extrahiert wurde und es sich somit stets um Angaben der Gesamtkraft handelt.

Wie ebenfalls in Abb. 4 zu erkennen ist, liegen vor allem die beim Pop auftretenden Kräfte in einem vergleichsweise schmalen Wertebereich. Die Kenntnis dieses Bereichs ist zur angemessenen Durchführung der Messungen im Rahmen der Bestimmung der Elastizitätseigenschaften notwendig, siehe Abschnitt 5.

Ob die Ollies während der Fahrt oder aus dem Stand ausgeführt werden, ließ sich anhand der dabei gemessenen Kräfte nicht unterscheiden, sodass für die nachfolgenden Messungen davon ausgegangen wird, dass beide Vorgänge hinsichtlich der vertikalen Sprungeigenschaften als äquivalent anzusehen sind.

Die durchgeführten Untersuchungen sind hinsichtlich des Merkmals (M2), d.h. der Betrachtung der Trägheitsmomente, umfassend. Es erscheint jedoch sinnvoll hinsichtlich des Merkmals (M1), d.h. der Kräfte des Kicks, die Anzahl der per Videoanalyse ausgewerteten Ollies zu vergrößern und diese von zusätzlichen Fahrerinnen und Fahrern sowie mit einer größeren Varianz ihrer Masse ausführen zu lassen.

5. Elastizitätseigenschaften des Skateboard Decks

Nach der Analyse der wirkenden Kräfte beim Kick und Pop unter Berücksichtigung der gegebenen Trägheitsmomente, d.h. der Merkmale (M1) und (M2) sollen weiterhin die Elastizitätseigenschaften von Skateboard Decks (M3) hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Sprungverhalten des Skateboards beim Olli untersucht werden.

Wie in Abschnitt 2.2 bereits beschrieben, ergibt sich der Pop u.a. aufgrund der elastischen bzw. Federwirkung des Tails. In einem einfachen Modell, siehe Abb. 5, wird die Elastizität des Tails durch eine lineare Feder, d.h. einen proportionalen Zusammenhang von Kraft und Auslenkung, modelliert und folgt somit dem Hooke'schen Gesetz

$$F = k \cdot \Delta s \quad \{2\}$$

bei wirkender Kraft F , Federkonstante k und Auslenkung Δs . Voruntersuchungen mithilfe einer in der Software *Algodo* programmierten Simulation im Vergleich zur Videoanalyse eines vollständigen Ollies deuten an, dass sich die beschriebene Modellierung eignet, um näherungsweise die elastischen Eigenschaften des Skateboards zu beschreiben.

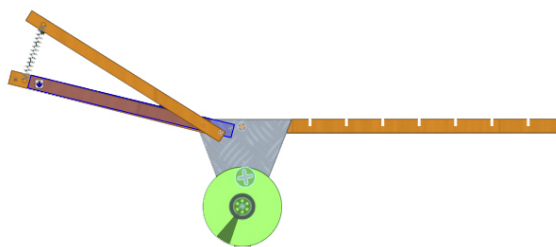


Abb.5: Darstellung der *Algodo*-Simulation zur Modellierung des Tails eines Skateboards als lineare Feder.

Zur Untersuchung des Einflusses des Deckmaterials auf den Pop, wurde die jeweilige Federkonstante des Tails der unterschiedlichen Deckzusammensetzungen, siehe Tab. 1, experimentell analysiert, da sich zunächst grundsätzlich die Frage stellt, ob eine geringfügige Variation des Deckmaterials durch das Hinzufügen einzelner Schichten oder Ausschnitte von Schichten die physikalischen Eigenschaften des Skateboard Decks nennenswert beeinflusst.

5.1. Versuchsaufbau- und Durchführung

Dem Hooke'schen Gesetz folgend soll mithilfe eines statischen Versuchsaufbaus die Auslenkung eines Skateboards Decks Δs bei Belastung mit einer Kraft

$F = m \cdot g$ durch eine Masse m bestimmt werden, um anschließend die jeweilige Federkonstante k durch lineare Interpolation zu bestimmen, siehe Abb. 6.

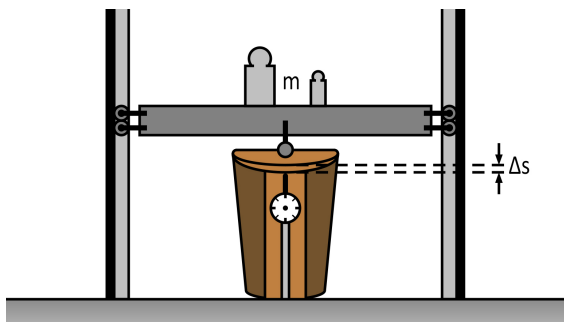


Abb.6: Versuchsaufbau zur Bestimmung der elastischen Eigenschaften des Skateboard Decks.

Da die elastischen Eigenschaften des Skateboards Decks gemäß der Modellierung des Ollies insbesondere beim Pop wirksam werden und dabei eine Kraft auf die Unterseite des Tails ausgeübt wird, soll der experimentelle Aufbau dieser Situation entsprechen, siehe Abb. 6. Dies erscheint weiterhin notwendig, da auf diese Art und Weise die Anisotropie der Form des Skateboards berücksichtigt wird. Da das Formmerkmal die Elastizitätseigenschaften voraussichtlich ebenfalls beeinträchtigt, werden für sämtliche untersuchten Deckmaterialien, siehe Tab. 2, möglichst identisch geformte Decks untersucht.

Die Auslenkung der Decks erfolgt durch Auflegen von Massestücken. Die Belastung wurde schrittweise auf eine Gesamtmasse von 40 kg erhöht. Dabei wurden insgesamt zehn vollständige Messdurchläufe durchgeführt. Die Bestimmung der Auslenkung erfolgte durch eine (sehr sensitive) Messuhr.

5.2. Ergebnisse und Diskussion

Die in Tab. 2 dargestellten Befunde ergeben sich aus der Interpolation der massenabhängigen Auslenkung. Die Messergebnisse deuten Unterschiede zwischen den untersuchten Deckmaterialien an. Entgegen der Beschreibung des Herstellers Titus und einer möglichen Hypothese aufgrund bekannter Materialeigenschaften von Fiberglas gegenüber Holz, zeigt sich in unseren Experimenten für Deck B mit zusätzlicher Fiberglas-Schicht jedoch keine Versteifung des Boards.

Material	Federkonstante k in [N/mm]
Deck A	$73,7 \pm 0,9$
Deck B	$69,0 \pm 1,1$
Deck C	$76,4 \pm 1,0$

Tab.2: Federkonstanten k unterschiedlicher Deckmaterialien (Deck A: 7-Layer Ahornholz, Deck B: 7-Layer Ahornholz + Fiberglas-Schicht, Deck C: 7-Layer Ahornholz + Carbon CFRP Einlage).

Insgesamt sind die dargestellten Ergebnisse als Pilotierung nachfolgender ausführlicherer Messungen zu beurteilen. Bei der Durchführung der Experimente erwies sich der eingesetzte Versuchsaufbau als

sinnvolle Konstruktion, die jedoch hinsichtlich der Steifigkeit noch optimiert sollte. Ein in der Entwicklung befindlicher alternativer Versuchsaufbau wird im Sinne der Triangulation eine Überprüfung der dargestellten Befunde ermöglichen. Zudem soll untersucht werden, welchen Einfluss die zeitliche Änderung der Kraftereinwirkung auf die Elastizitätseigenschaften des Decks hat.

Mit Blick auf die Durchführung der Experimente ist zu konstatieren, dass eine Variation der Belastung im gesamten Massenspektrum bis 40 kg erfolgte. Berücksichtigt man jedoch die Ergebnisse der Untersuchungen zur Kraftwirkung beim Kick und Pop nicht nur als obere Grenze für die wirkende Kraft, sondern fokussiert stärker den relevanten Kraftbereich des Pops, erscheint eine selektivere Belastung im Bereich von etwa 15 – 25 kg mit kleinen Variationen der Masse sinnvoll, um validere Aussagen über die Elastizitätseigenschaften des Skateboard Decks beim Pop treffen zu können.

Eine grundsätzliche Schwierigkeit hinsichtlich der Beurteilung der durchgeführten Messung ergibt sich dadurch, dass der jeweilige spezifische Aufbau der Decks und der Massenanteil der zusätzlich eingebrachten Materialien unbekannt ist, weshalb sich diesbezüglich keine theoretischen Elastizitätswerte berechnen lassen und somit die experimentellen Resultate die einzige Datenquelle darstellen.

6. Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag strebt eine Erweiterung der fachlichen Beschreibung des Skateboardings aus physikalischer Perspektive und dabei insbesondere eine Erweiterung bestehender Untersuchungen an. Der Beitrag fokussiert die Sprungeigenschaften eines Skateboards beim Ollie und erweitert bestehende Analysen auch methodisch durch den Einsatz experimenteller Analysemethoden.

Durch die Videoanalyse der Ollies und die Kraftanalyse ergeben sich erste Implikationen, die möglicherweise ein besseres Verständnis der Bewegungsabläufe ermöglichen. Insbesondere der Vergleich der wirkenden Kräfte beim Kick und Pop und ein Vergleich der Gewichtskraft der Fahrerinnen oder des Fahrers mit der maximalen Kraft auf das Skateboard beim Kick eröffnen eine interessante Perspektive.

Hinsichtlich einer Erweiterung der durchgeführten Untersuchungen ist festzuhalten, dass die ermittelten Befunde notwendigerweise durch eine vergrößerte Anzahl an Messungen mit verschiedenen Fahrerinnen und Fahrern, siehe Kraftwirkung in Abschnitt 4, oder alternative Messaufbauten und präzisere Messungen, siehe Elastizitätseigenschaften in Abschnitt 5, optimiert werden sollten. Für diese nachfolgenden Messungen stellen die im Beitrag beschriebenen Analysen jedoch eine Grundlage dar.

Neben diesen Aspekten erscheint auch der Einbezug der Formparameter für nachfolgende Analysen von

großer Bedeutung, da die charakteristische Biegung des Skateboard Decks dessen Elastizitätseigenschaften möglicherweise ebenfalls maßgeblich beeinflusst.

7. Anmerkungen

Die durchgeführten Untersuchungen zur Physik des Skateboardings wurden maßgeblich durch die *Titus GmbH* und insbesondere Herrn Ralf Middendorf unterstützt. Im Rahmen dieser Kooperation erfolgte freundlicherweise die Bereitstellung diverser Skateboards sowie die Mitarbeit von zwei professionellen Skateboardfahrern zur Durchführung der Kraftanalyse beim Sprung eines Skateboards.

8. Literatur

- [1] Marcus, B. & Griggi, L. D. (2011): *The Skateboard: The Good, the Bad, and the Gnarly: An Illustrated History*. Minneapolis, MN: MVP Books.
- [2] Donnelly, M. K. (2008): *Alternative and Mainstream: Revisiting the Sociological Analysis of Skateboarding*. In M. Atkinson & K. Young (Eds.): *Tribal Play – Subcultural Journeys through Sport, Research in the Sociology of Sport Vol. 4* (pp. 197-214). Bingley, United Kingdom: Emerald Group Publishing.
- [3] O'Connor, P. (2017): *Beyond the youth culture: Understanding middle-aged skateboarders through temporal capital*. In: *International Review for the Sociology of Sport*, 1-20.
- [4] Buckingham, D. (2009): *Skate Perception: Self-Representation, Identity and Visual Style in a Youth Subculture*. In D. Buckingham & R. Willett (Eds.): *Video Cultures – Media Technology and Everyday Creativity* (pp. 133-151). New York, NY: Palgrave Macmillan.
- [5] McCulloch, K., Stewart, A. & Lovegreen, N. (2006): *'We just hang out together': Youth Cultures and Social Class*. In: *Journal of Youth Studies* 9, 5, 539-556.
- [6] Wilhelm, T. (Hrsg.) (2014): *Physik und Fußball*. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 63, 1.
- [7] Laumann, D. (2014): *Theoretisches Modell und Videoanalyse einer Bananenflanke*. In: *PhyDid B – Beiträge zur Frühjahrstagung*, Frankfurt.
- [8] Mück, T. & Wilhelm, T. (2009): *Physik und Sport – Fächerverbindender Unterricht mit moderner Videoanalyse*. In: *PhyDid B – Beiträge zur Frühjahrstagung*, Bochum.
- [9] Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997): *Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3, 3, 3-18.

- [10] Hubbard, M. (1979): *Lateral Dynamics and Stability of the Skateboard*. In: Journal of Applied Mechanics 46, 4, 931-936.
- [11] Hubbard, M. (1980): *Human control of the skateboard*. In: Journal of Biomechanics 13, 9, 745-754.
- [12] Ispolov, Y. G. & Smolnikov, B. A. (1996): *Skateboard dynamics*. In Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 131, 3-4, 327-333.
- [13] Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P. & Perkins, K. K. (2010): *Teaching Physics Using PhET Simulations*. In: The Physics Teacher 48, 4, 225-227.
- [14] Schmidt, W. (1932): *Messung von Trägheitsmomenten*. In: Technisches Messen 13-24, 448-449.