

## Fit in Physik - Die Kniebeuge physikalisch betrachtet -

Adel Moussa

Institut für Physikdidaktik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
a\_mous01@uni-muenster.de

### Kurzfassung

Die Analyse des Bewegungsablaufs bei der Kniebeuge knüpft derart unmittelbar an elementare Alltagserfahrungen an, dass mit einem großen Interesse von Seiten der Schüler zu rechnen ist. Im Beitrag wird erläutert, wie unter Zuhilfenahme des Controllers der Nintendo Wii die während der Bewegung wirkenden Beschleunigungen gemessen werden können. Beispielhaft wird gezeigt, wie die dabei gewonnenen Daten unter Zuhilfenahme eines auch für die Mittelstufe geeigneten Elementarmodells dazu genutzt werden können, im Sinne eines Unterrichtens im Kontext entlang einfacher, lebensweltlicher Fragestellungen ein vertieftes qualitatives wie quantitatives Verständnis der auf den Körper wirkenden Beschleunigungen, Kräfte und Drehmomente zu motivieren.

### 1. Einleitung und Motivation

Etwas physikalisch zu betrachten, die Gegenstände und Vorgänge in unserer Lebenswelt auf die mathematisch-geometrischen Idealgestalten der Physik abzubilden und so kein besseres, sondern ein erweitertes Verständnis von Ihnen zu entwickeln, dieser für die erkenntnisöffnende Funktion der Physik ganz zentrale Aspekt des naturwissenschaftlichen Weltzugriffs, kommt im Physikunterricht nach wie vor zu kurz.

Vor diesem Hintergrund stellt die in den vergangenen Jahrzehnten immer stärker in den Fokus der Fachdidaktik gerückte Kontextorientierung sicherlich einen Schritt in die richtige Richtung dar [4]. In der Praxis krankt sie allerdings oftmals daran, dass es sich bei den konstruierten Kontexten selten um komplexe Lern-, sondern zumeist lediglich um willkommene Rechenanlässe handelt. Es entsteht, wie Reiner Müller schreibt, eine „synthetische Wirklichkeit“ [5], die eben jenem aufschließenden Aspekt der physikalischen Sehweise im Wege steht, den die Schülerinnen und Schüler in einem nach wie vor auf exaktes Messen und genaues Berechnen hin ausgelegten Unterrichtsgeschehen ohnehin schmerzlich vermissen.

### 2. Neue Inhalte für bessere Kontexte

Nicht die „Kontextorientierung“ an sich, ist also vor diesem Hintergrund zu hinterfragen, sondern die praktische Realisation dieses Konzepts. Als besonders kritisch erweist sich in diesem Zusammenhang, dass viele der von der Fachsystematik her konstruierten Kontexte, den Schülerinnen und Schülern im guten Glauben, man erleichtere Ihnen dadurch das Lernen, den konstruktiven Bruch zwischen physikalischer und lebensweltlicher Sehweise vorenthalten.

Der „vermeintliche Kontext“ [5] verkommt hier zum feigenblattähnlichen Zierrahmen, eines fachsystematisch strukturierten Standardverfahrens (vgl. „Normalverfahren“ [3] nach Mothes oder den von Muckenfuß als solchen bezeichneten „Modus des Physiktreibens“ [4]), das den Schülerinnen und Schülern die Existenz eines linear-systematischen Erkenntnisganges vorgaukelt und sie von der objektiven Naturbeobachtung über Hypothese und das Experiment bis zum formalisierten Naturgesetz zu führen sucht.

Ungeachtet der gerechtfertigten Kritik an diesem, dem Konstruktionscharakter und der Aspekthaftigkeit physikalischen Wissens nicht gerecht werdenden Vorgehen, sollte nicht vergessen werden, dass es nicht zuletzt dem Mangel an nicht fachwissenschaftlichen Unterrichtsgegenständen geschuldet ist, dass das Unterrichten in Kontexten nach wie vor seine „sinnstiftende“ [4] Funktion verfehlt. Es genügt schließlich nicht Masse und Beschleunigung eines Autos als Parameter für die Berechnung der durch die Räder auf die Straße übertragenen Kraft ( $F = m \cdot a$ ) anzugeben um aus einer simplen Textaufgabe einen „sinnstiftenden Kontext“ zu machen.

Anstatt also „vorgebliche Kontexte“ zu konstruieren, sollte ein stärkeres Augenmerk auf die Wahl und fachdidaktische Aufbereitung lebensweltlicher Kontexte gelegt werden, in denen das zu erlernende physikalische Begriffssystem die sinnliche und damit ursprünglich „sinnstiftende“ Erfahrung nicht supprimiert, sondern supplementiert.

Die im Folgenden vorgestellte physikalische Analyse des Bewegungsablaufes bei der Kniebeuge ist ein solcher Kontext, in dem Schülerinnen und Schüler ausgehend von der unmittelbaren Alltagserfahrung etwas über Kräfte, Drehmomente und Schwerpunkte

lernen und die Bedeutung dieser Begriffe unmittelbar erfahren können.

### 3. Die Kniebeuge - Zu schwierig und zu komplex für die Schule?

Was die Behandlung komplexer kinematischer Alltagsphänomene wie der Kniebeuge betrifft, wird häufig das Argument vorgebracht, dass sie für den Physikunterricht, in dem sich ohnehin nachweislich eine Vielzahl der Schülerinnen und Schüler überfordert fühlt [2], kaum geeignet seien. Darüber hinaus, so ist häufig zu lesen, ließen sich diese und etliche andere alltägliche Untersuchungsgegenstände mit den in der Schulphysik zur Verfügung stehenden Mitteln allenfalls „unzureichend“ beschreiben.

Tatsächlich könnte man aus fach- oder gar sportwissenschaftlicher Sicht sicherlich argumentieren, dass das in Abb. dargestellte Rudimentärmodell der Kniebeuge auch unter Zuhilfenahme der in Tabelle 1 zusammengefassten Daten eine allenfalls unzureichende kinematische Beschreibung des Bewegungsablaufs, sowie der dabei auftretenden Beschleunigungen und Drehmomente zulässt. Diese Beschränkung ist allerdings nur dann als unzureichend aufzufassen, wenn sie zur Folge hat, dass sie der Beantwortung der Ausgangsfragestellung im Wege steht. Eine Bedingung also, die im hier diskutierten Fall sicherlich nicht vorliegt.

Es ist vielmehr so, dass diese Besondere Art des sich Beschränkens, letztlich dem für die physikalische Sehweise konstitutiven Abbilden der unmittelbaren, sinnvermittelten Wirklichkeit auf mathematisch-geometrischen Idealgestalten der Physik geschuldet, ist und damit selbst eines der zentralen Lerhanliegen des Physikunterrichtes sein sollte.

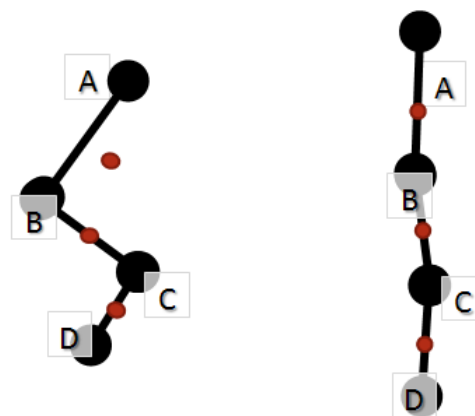
Entfernung aus lizenzrechtlichen Gründen!  
Autoren haben die Möglichkeit die  
Veröffentlichungsrechte nachzuweisen.

**Abb. 1:** Bereits der erste Schritt der Modellbildung vom lebendigen, dreidimensionalen Menschen zum zweidimensionalen aus Drehachsen A,B,C,D, Hebeln und Schwerpunkte  $SP_{OK}$ ,  $SP_{OS}$ ,  $SP_{US}$  reduzierten „Flachmann“ ist weit mehr als eine bloße Reduktion.

Körperteil	relative Masse	Position des Schwerpunkts
<b>Oberkörper</b>	67,04%	abh. von Armhaltung
<b>Oberschenkel</b>	20,60%	43,25%
<b>Unterschenkel</b>	9,28%	42,85%
<b>Füße</b>	3,08%	n.a.

**Tabelle 1: Masse und Position des Schwerpunkts relativ zur Gesamtmasse des Körpers bzw. Gesamtlänge des Körpersegments [1]**

Dazu gehört auch, dass Wirklichkeitsaspekte, für die keine entsprechenden Repräsentationen existieren, weil sie sich, wie etwa das Gefühl der Erschöpfung nach der fünfzigsten Kniebeuge, dem mathematisch-geometrischen Weltzugriff der Physik entziehen, in dem Modell ebenso wenig auftauchen, wie die exakten Hebel der einzelnen Muskelstränge, die offensichtlich in dem in Abb. 1 dargestellten Modell nicht erfasst sind.



**Abb. 2:** Ein ganz ähnliches Modell lässt sich im Unterricht entweder an der Tafel oder auch mit Streichhölzern durch die Schüler selbst realisieren.

Stellt man wie in Abb. 2 geschehen einige der Stationen des Bewegungsablaufes im Modell nach (hier wurde dies mittels einer Computersoftware gemacht, es lässt sich im Unterricht aber ebenso mit Stift und Lineal im Heft oder an der Tafel, oder aber mit Streichhölzern oder anderen Objekten in der Tischenebene durchführen) und interpretiert das Modell im Licht der eigenen Erfahrungen bei der Durchführung von Kniebeugen, lassen sich auch dennoch gerade anhand dieses einfachen Modells etliche interessante Fragestellungen qualitativ beantworten.

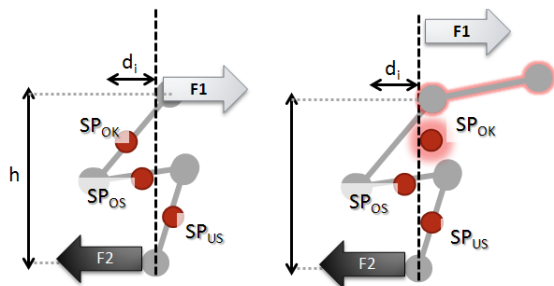
#### Frage 1: Warum kippt man bei der Kniebeuge nicht nach vorne oder hinten um?

Wie schaffen wir es zum Beispiel das Gleichgewicht zu halten? Ganz intuitiv weiß jeder, wie das funktioniert: Gehen wir in die Knie und schieben die Hüfte nach hinten, so müssen wir uns gleichzeitig nach vorne beugen, sonst fallen wir um. Alles eine Frage des Gleichgewichts – ist doch klar!

Was aus lebensweltlicher Sicht tatsächlich „klar“ erscheint und keinerlei weiterer Erläuterungen bedarf ist – physikalisch gesprochen – die Notwendigkeit ein Kräftegleichgewicht herzustellen, zwischen den auf unseren Körper wirkenden Kräften  $F_{vor}$  und  $F_{hint}$ . Geht man, wie in diesem vereinfachten Funktionsmodell davon aus dass die im Modell berücksichtigten Körperpartien starr sind und nimmt weiterhin an, dass die von der Unterschenkelmuskulatur ausgeübten Kräfte zu vernachlässigen sind (bei sauberer Übungsausführung sollte dies im Übrigen der Fall sein), ist dies der Fall wenn der Gesamtschwerpunkt des Systems unmittelbar über der idealisierten Drehachse im Punkt D liegt.

Für das Drehmoment gilt dann:

wobei  $h$  und  $F$  parallel und daher ist.



**Abb. 3:** Das Ausstrecken der Arme bei der tiefen Kniebeuge (links o. Ausstrecken der Arme, rechts mit), bewirkt eine Verschiebung des Schwerpunkts des Oberkörpers. Aufgrund des Massenverhältnisses (vgl. Tabelle 1) lässt sich hierdurch das Gleichgewicht wiederherstellen.

### Frage 2: Warum streckt man bei der tiefen Kniebeuge die Arme nach vorne?

Vollzieht man dies im Selbstversuch nach, stellt man allerdings schnell fest, dass der Ausgleich allein durch das Vorbeugen des Oberkörpers nur bis zu einem Kniewinkel von etwa  $90^\circ$  (in etwa wie bei der Abfahrtschocke) funktioniert. Beugt man sich tiefer hinab, droht man nach hinten zu kippen. Abhängig von der individuellen körperlichen Konstitution, kann man das auf Grund des nun stark nach hinten verschobenen Schwerpunkts wirkende Drehmoment aus der Unterschenkelmuskulatur ausgleichen. Aufgrund des kurzen Hebels und dem entsprechend hohen Kraftaufwand ist dies allerdings allenfalls begrenzt möglich.

Um die Balance zu halten, strecken wir daher die Arme nach vorne. Dadurch verschiebt sich der Schwerpunkt des Oberkörpers, dessen Masse in etwa 67% des gesamten Körpergewichts ausmacht [1], nach vorne.

Dies bewirkt dass der Gesamtschwerpunkt des „Systems Mensch“ wieder näher an das Lot über die Drehachse in D heranrückt und die bedingt durch

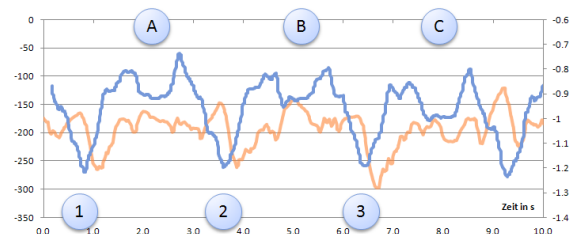
das Gesamtdrehmoment  $M_{ges}$  wirkende Kraft  $F$  verschwindet, oder soweit reduziert wird, dass sie durch den Einsatz der Wadenmuskulatur kompensiert werden kann.

### 4. Vom qualitativen Verständnis zur quantitativen Messung

Wie sich im vorangegangenen Abschnitt gezeigt hat, lassen sich auch ohne das zur wissenschaftlichen Primärtugenden verklärte exakte Berechnen und gewissenhafte Messen, allein durch die wechselseitige Erschließung von sinnvermittelter Erfahrungs- und begrifflich konstituierter Modellwelt bereits physikalisch interessante und lebensweltlich relevante Fragestellungen beantworten.

Die genauere experimentelle Analyse der Kniebeuge mit Hilfe der Nintendo Wii, die im folgenden vorgestellt werden soll, dient vor diesem Hintergrund nicht nur der Überprüfung der Voraussagen und Grenzen des Modells, sie besitzt auch einen verständnis-eröffnenden Wert. Das unmittelbare graphische Feedback, das Schüler bei der Durchführung des Versuchs mit WiiMote (Beschleunigungssensor) und Balanceboard (4-Punkt-Waage) erhalten spielt im Hinblick auf diese verständnis-eröffnende Wirkung eine zentrale Rolle. Anders als bei der im Physikunterricht sonst praktizierten asynchronen Datenauswertung, sind bei der Versuchsdurchführung mit der Wii die reale und die Modellwelt gleichzeitig präsent. Die von den Schülerinnen und Schülern sonst ex-post durchzuführende Verknüpfung von Versuchs- und Erfahrungsdaten, sie findet hier gewissermaßen „in Echtzeit“ statt.

Erste Erfahrungen mit der Durchführung eines entsprechenden Versuchs mit Studenten/innen aus dem ersten Semester des Lehramtsstudiengangs BA/HR belegen, wie sehr die zeitgleiche Präsenz graphisch aufbereiteter Mess- und sinnvermittelter Erfahrungsdaten den Umgang mit dem auch von Studenten oft als Eigenschaft sich in Bewegung befindlicher Objekte (miß-)verstandenen Beschleunigungsbegriff erleichtert.



**Abb. 4:** Belastungsdifferenz Ballen-Ferse gemessen mit dem Wii Balanceboard (orange, Primärachse) und Beschleunigungsmessung entlang der z-Achse mittels der Nintendo WiiMote (blau, Sekundärachse) beim Aufrichten (A-C) und Niederknien (1-3)

Setzt man, wie in Abb. 4 geschehen, die während der Kniebeuge gemessenen Beschleunigungsdaten der WiiMote mit der aus den Daten des Balance-

boards extrapolierbaren Information über den Gesamtschwerpunkt des Systems in Bezug, erlauben sie in Verbindung mit dem eingangs vorgestellten Elementarmodell eine grundlegende halb-quantitative Analyse der Kniebeuge, die durch entsprechende Erweiterungen des Modells auch dazu geeignet ist die von den Muskeln geleistete Arbeit, sowie die auf den Gelenken lastenden Kräfte zu berechnen und damit auch außerhalb des Physikunterrichts oder im fächerübergreifenden Unterricht Verwendung finden könnte.

### 5. Neue Technik, neue Kontexte, neuer Unterricht?

Was den Physikunterricht selbst betrifft, verdeutlicht die mittels der Steuergeräte der Nintendo Wii durchgeführte Beschleunigungsmessung auch, dass der didaktische Mehrwert derartiger alternativer Messtechnik im Physikunterricht sich erst im Rahmen durch sie erschließbarer neuer Lernkontexte zeigt.

Nintendo Wii, Xbox Kinect, aber auch die einfachen Bewegungs- und/oder GPS-Sensoren moderner Mobiltelefone, so wie es etwa bei Rooney und Somers anklingt [6], nur als kostengünstigen und als motivationsförderlich angenommenen Ersatz für professionelles und entsprechend kostspieliges Experimentalequipment zu sehen, würde den Möglichkeiten die diese Geräte gerade im Hinblick auf eine detailliertere, realitätsnähere Behandlung physikalischer Aspekte unseres Alltags bieten nicht gerecht.

### 6. Fazit und Ausblick

Vor diesem Hintergrund versteht sich dieser Beitrag auch als Hinweis auf die Möglichkeit und Notwendigkeit Physikunterrichts nicht nur einseitig konzeptionell, sondern auch inhaltlich weiterzuentwickeln und neu zu orientieren: Weg von einem nach wie vor zu stark auf die bloße von Faktenwissen und Rechenkompetenzen abzielenden fachsystematisch strukturierten und mit „vermeidlichen Kontexten“ [5] ausgestaffierten Unterrichtsgeschehen und hin zu einem, die aufschließende Wirkung der physikalischen Sehweise illustrierenden Unterricht, der den Schülern die wechselseitige physikalische Erschließung lebensweltlicher Kontexte und der für Sie relevanten Fachinhalte gestattet.

### 7. Anmerkungen

Für die Versuchsdurchführung werden neben dem Controller der Wii, der sogenannten WiiMote, das Wii Balance Board, ein bluetoothkompatibler Computer, sowie die OpenSource Software PhyMote benötigt (zu beziehen über [www.sourceforge.net/projects/phymote](http://www.sourceforge.net/projects/phymote)). Letztere stellt über die Bluetooth Schnittstelle des Computers eine Verbindung zu Controller und Balanceboard der Wii her und erlaubt die unmittelbare Darstellung, sowie Aufzeichnung der Daten in einem mit allen gängigen Tabellenkalkulationen oder vergleichbaren Softwareprogrammen auswertbaren Datenformat.

Das Vorhandensein der Konsole selbst ist für die hier vorgestellten Versuche nicht erforderlich. Ist ein entsprechendes Computersystem vorhanden, belaufen sich die Kosten für die Anschaffung auf ca. 75€. Es sollte allerdings bedacht werden, dass es angesichts der Popularität der Konsole wahrscheinlich ist, dass wenigstens einer, wenn nicht gar mehrere Schüler ein entsprechendes System zu Hause haben, wodurch sich die ohnehin nicht sehr kostspielige Hardwareanschaffung völlig erübrigen würde.

### 8. Literatur

- [1] Abelbeck, Kevin G (2002). *Biomechanical Model and Evaluation of a Linear Motion Squat Type Exercise*. Journal of Strength and Conditioning Research. 16(4), 516–524.
- [2] Merzyn, G. (2010). Physik - ein schwieriges Fach? In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 59(5), S. 9-12
- [3] Mothes, H. (1957). *Methodik und Didaktik der Naturlehre*. Braunschweig: Aulis.
- [4] Muckenfuß, H. (1995). Lernen im sinnstiftenden Kontext. Berlin: Cornelsen.
- [5] Müller, R. (2006). *Kontextorientierung und Alltagsbezug*. In: Mikelskis, In H. Mikelskis, Physikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. (pp. 102-119) Berlin: Cornelsen/Scriptor
- [6] Rooney, F.; Somers, W. (2010). *Using the WiiMote in Introductory Physics Experiments*. TCNJ Journal of Student Scholarship. Volume XII.