Die folgenden Seiten sind so in einem DPG-Tagungsband erschienen und dürfen auch unter www.thomas-wilhelm.net wiedergegeben werden.

Die exakte Quellenangabe des Artikels ist:

MÜCK, T.; WILHELM, T.
Physik und Sport - Fächerverbindender Unterricht mit moderner Videoanalyse
NORDMEIER, V.; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Bochum 2009, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, 2009, ISBN 978-3-86541-371-0

Didaktik der Physik
Frühjahrstagung Bochum 2009

Physik und Sport – Fächerverbindender Unterricht mit moderner Videoanalyse

Tobias Mück, Thomas Wilhelm

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Am Hubland, 97074 Würzburg

Kurzfassung
Eine Möglichkeit, um im Unterricht interessante, alltagsnahe Themenbezüge herzustellen, bietet in der Mechanik die Videoanalyse. Speziell wurde versucht, mithilfe des neuartigen Videoanalyseprogramms „*measure Dynamics*" fächerverbindenden Unterricht zwischen Physik und Sport zu konzipieren. Intention der hierzu erstellten Staatsexamensarbeit ist es, reale Sportbewegungen aufzunehmen und mithilfe der Software gemeinsam im Unterricht aufzuarbeiten. Die behandelten Unterrichtsbeispiele erstrecken sich von leichtathletischen Disziplinen bis hin zum Fußball und können in vielfältiger Weise sowohl im Physik- als auch im Sportunterricht eingesetzt werden: So kann zum Beispiel der Stabhochsprung herangezogen werden, um Energieumwandlungsprozesse in einem sportlichen Kontext darzustellen, wohingegen der Weitsprung eine alternative Anwendung des schiefen Wurfes bietet. Andere Sportarten wie etwa der Schleuderball- und der Hammerwurf bieten weitere Ansatzpunkte. Die auf Kontrast und Bewegung basierende automatische Analyse der Software trägt dabei zu einer leichteren Umsetzung im Unterricht bei. Durch neuartige Darstellungsmöglichkeiten wie Stroboskopbilder, Einblenden von Vektoren oder Serienbilder werden manche Betrachtungen erst möglich. Mithilfe berechneter Fitfunktionen kann die real gemessene Bewegung außerdem mit dem zugrunde gelegten physikalischen Modell verglichen werden. Im Beitrag werden einige konkrete Beispiele zur Umsetzung im Unterricht gezeigt.

1. Didaktische Überlegungen

Der erste Teil des Beitrags beinhaltet einige didaktisch-methodische Überlegungen, welche einerseits die Fächerverbindung Sport und Physik motivieren, andererseits aber auch auf die Videoanalyse als Unterrichtselement eingehen.

1.1 Warum Physik und Sport?

Wie unter anderem die IPN-Interessenstudie belegt, ist Physik in der Schule eines der unbeliebteren Fächer, wobei die Gründe dafür sehr facettenreich sind [1]. Dabei gibt es hinsichtlich Unterrichtskonzeption und -realisierung gerade in naturwissenschaftlichen Fächern vielfältige Möglichkeiten, um den in der Schule zentralen Prozess von Kompetenzvermittlung und Kompetenzerwerb zu verbessern. Dadurch, dass Schüler immer mehr als Konstrukteure ihres eigenen Wissens angesehen werden, wird der Lehrkraft gleichzeitig die etwas passivere Rolle des Bereitstellers von Lernumgebungen zugesprochen.

In diesem Kontext wird versucht, mit fächerverbindendem Unterricht interessante und motivierende Unterrichtselemente zu konzipieren, was in der Kombination Physik und Sport sehr gut möglich ist. Dadurch, dass viele Schüler selbst regelmäßig sportlich aktiv sind, wird die in Verbindung mit Sport vermittelte Physik interessanter und alltagsnaher. Durch Messungen am eigenen Körper erhält der Lernstoff zudem eine persönliche Note, wodurch manche physikalischen Sachverhalte lebendiger erscheinen. Die während dieses Prozesses gewissermaßen spielerisch entstehende emotionale Bindung mit den Lerninhalten verstärkt ebenfalls den Lerneffekt.

1.2 Warum Videoanalyse?

Mit Videoanalyse ist es leicht möglich, verschiedene Ansatzpunkte zur Optimierung des Lernprozesses wie beispielsweise der Einsatz neuer Medien, kooperative Lernformen oder auch offenere Aufgabenstellungen umzusetzen. Diese Art der Aufarbeitung physikalischer Themen bietet zahlreiche Vorteile. Generell kann festgestellt werden, dass zweidimensionale Bewegungen durch Videoanalyse einfach messbar werden [2]. Ein weiterer Vorzug besteht darin, dass jegliche Messungen berührungsfrei ablaufen. Wenn die Analyse automatisch vom Programm durchgeführt wird, können auch längere Videos ausgewertet werden. Hinzu kommt, dass die multimediale Arbeit am Computer allgemein neuartige Unterrichtsformen zulässt. So kann die Auswertung von Videos im Frontalunterricht, arbeitsteilig im Rahmen kooperativer Lernformen oder auch in häuslicher Arbeit geschehen.

1.3 Vorteile von *measure Dynamics*

Für eine aussagekräftige und ansprechende Auswertung der aufgezeichneten Sportbewegungen ist eine gute Videoanalysesoftware unabkömmlich. Für die

Gestaltung der nachfolgenden Unterrichtsbeispiele wurde das neue Videoanalyseprogramm *measure Dynamics* (von PHYWE) verwendet (Version 1.3f built 336) [3]. Mithilfe der Software werden Lerninhalte multicodal aufgearbeitet. Dies bedeutet beispielsweise, dass sich die Schüler simultan das Video des aufgezeichneten Bewegungsablaufes und die zugehörigen kinematischen Diagramme anzeigen lassen können. Die dabei bestehende räumliche und zeitliche Kontiguität der verschiedenen Darstellungsformen von Video und Diagrammerstellung wird als hilfreich angesehen [4]. Hinzu kommen vielfältige Möglichkeiten zur Visualisierung physikalischer Sachverhalte direkt im Video wie unter anderem Vektoreinblendungen sowie Serien- und Stroboskopbilder [5]. Parallel dazu ermöglichen Fitfunktionen, welche den Diagrammen zugeschaltet werden können, einen kritischen Vergleich von Modell und Realität.

1.4 Umsetzungsmöglichkeiten im Unterricht

Eine aktive, schülernahe Behandlung einer sportlichen Bewegung ist nicht immer ganz einfach zu realisieren. So richten sich konzeptionelle Überlegungen bezüglich des Unterrichtseinsatzes immer nach der jeweiligen Sportart. Der Stabhochsprung wird wohl mehr in passiver Form in den Unterricht eingebunden werden, wohingegen sich der Weitsprung sehr gut für ein Schülerprojekt heranziehen lässt, bei dem am Ende schließlich jeder einzelne seine eigene Bewegung auswerten kann. Dabei können Planung, Durchführung und Auswertung des Projektes je nach Art der Klasse auch komplett den Schülern anvertraut werden. Auf diese Weise können sportlich uninteressiertere Schüler z. B. mit der Projektkonzeption sowie der Videoaufnahme beauftragt werden, so dass im Idealfall alle Schüler aktiv am Weitsprungprojekt beteiligt sind. Die Basis eines solchen Projekttags können offene Aufgabenstellungen bilden, welche die Schüler möglichst selbstständig bearbeiten sollen. Dabei kann sich der Arbeitsprozess, wie eben beschrieben, vom Versuchsentwurf bis hin zur Auswertung der Videos mit der Analysesoftware am Computer erstrecken. Im weiteren Verlauf werden einige Sportarten samt ihrer Relevanz für den Physikunterricht skizziert.

2. Unterrichtsbeispiele

Im zweiten Teil des Beitrags werden konkrete Beispiele analysierter Sportbewegungen diskutiert. Im Einzelnen werden die jeweils relevanten physikalischen Lerninhalte angerissen sowie deren Umsetzungsmöglichkeiten im Unterricht mit *measure Dynamics* aufgezeigt. Dabei wird versucht, einerseits Sportarten aufzuführen, welche im Rahmen eines Projekttags schüleraktiv behandelbar sind, andererseits aber auch Disziplinen zu besprechen, die sich für einen Einsatz im Unterricht eignen.

2.1 Stabhochsprung

Der Stabhochsprung stellt ein sehr schönes Beispiel eines Energieerhaltungsprozesses dar, bei dem versucht wird, die im Anlaufvorgang erworbene kinetische Energie mithilfe eines elastischen Stabes im Idealfall komplett in potentielle Energie umzuwandeln. Eine entscheidende Bedeutung kommt dabei dem verwendeten elastischen Glasfiberstab zu. Denn dadurch, dass die Bewegungsenergie in Form von Spannenergie im Stab zwischengespeichert werden kann, kann diese wesentlich effektiver zur Überwindung einer Höhendifferenz eingesetzt werden als dies beispielsweise beim Hochsprung der Fall ist. Mithilfe des Stabhochsprungs können somit auf interessante Weise Energieumwandlungen thematisiert werden.

Der Bewegungsablauf eines direkt im Unterricht einsetzbaren Beispielprojektes kann auf verschiedene Arten mit dem Videoanalyseprogramm visualisiert werden. Analysiert wurde im Folgenden die Bewegung eines Markierungsklebepunktes auf Hüfthöhe, welcher vereinfachend den Körperschwerpunkt der Athletin darstellen sollte. Zunächst kann die komplette Bahnkurve des Objektes z. B. in Form von farbigen Punkten ins Video eingeblendet werden (siehe Abb. 1).

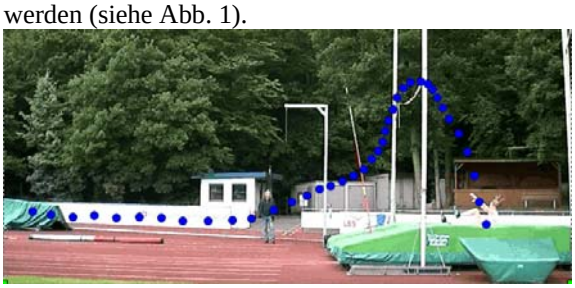

Abb. 1: Bahnkurve eines Stabhochsprunges

Alternativ bietet das Programm die Erstellung eines Stroboskopbildes an, welches den Bewegungsablauf des Athleten zusätzlich verdeutlicht (siehe Abb. 2).

Abb. 2: Stroboskopbild des Sprungvorganges

Die Darstellungsmöglichkeit des Stroboskopbildes hilft vor allem bei technisch sehr anspruchsvollen Sportarten, wie eben dem Stabhochsprung, den Bewegungsablauf einzelner Körperteile vor allem aus sportwissenschaftlicher Sicht genauer studieren zu können. Auf diese Weise ist es möglich, technische Defizite wie etwa falsche Körperhaltungen oder Schrittfehler beim Anlaufvorgang zu minimieren, um somit den Bewegungsablauf zu optimieren.

Nach erfolgreicher Analyse gilt es nun die ermittelten Daten auszuwerten. Auch diese Arbeit wird aufgrund der neuartigen Möglichkeiten mit *measure Dynamics* enorm erleichtert. In Abbildung 3 werden die Verläufe der kinetischen Energie (E_kin), der potentiellen Energie (E_pot) sowie der Summe beider Energieformen (E_ges) als Funktion der Zeit veranschaulicht.

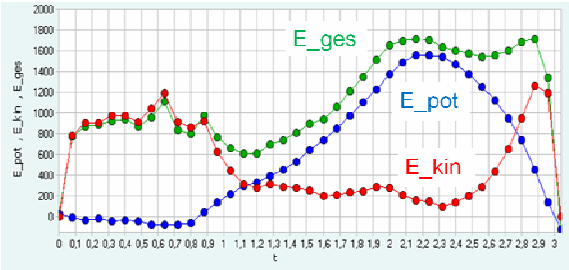

Abb. 3: Energiebeiträge beim Stabhochsprung

Der Athlet erwirbt zunächst während des Anlaufvorganges (t = 0,0 – 0,8 s) zunächst kinetische Energie (E_kin). Wird die geringe vertikale Bewegung des Körperschwerpunktes vernachlässigt, so besteht die Gesamtenergie während dieser Zeit ausschließlich aus kinetischer Energie. Um beim Absprung einen hohen Energiebetrag aufzuweisen, versucht der Sportler sein Tempo bis zum Einstich konstant hoch zu halten. Daher ist es wichtig, den Stab während des Laufens ruhig zu halten, um Schwingungen des Stabes zu vermeiden, da diese zu einer Abbremsung und damit zu energetischen Verlusten führen würden.

Die Zusammensetzung der Gesamtenergie (E_ges) aus beiden Energieformen ändert sich nach dem Einstich des Stabes (t = 0,8 s) grundlegend. Der Springer benutzt nun den Stab, um einen möglichst großen Teil seiner vorher erworbenen Energie (E_kin) in Höhenenergie (E_pot) umzuwandeln. Dies erscheint auf den ersten Blick nicht der Fall zu sein, denn die Summe beider Energien E_ges = E_kin + E_pot nimmt von knapp 1000 Joule auf ungefähr 600 Joule ab (t = 0,8 – 1,2 s). Genau jenen scheinbaren Energieverlust gilt es in der Schule zu diskutieren. Denn bei genauerem Hinsehen fällt im Video auf, dass gerade während dieser Zeit die Stabbiegung zunimmt. Dies bedeutet, dass dem Stab Spannenergie zugeführt wird. Aufgrund der Elastizität des Glasfiberstabes kann hiermit ein Großteil der Bewegungsenergie zwischengespeichert werden. Sehr schön zu erkennen ist auch, dass E_ges genau dann minimal ist, wenn die Stabbiegung am größten ist (t = 1,2 s). Im folgenden Zeitintervall (t = 1,2 – 1,7 s) gibt der Stab die gespeicherte Energie wieder an den Athleten ab. Durch die schnelle Streckung des Stabes wird der Athlet nach oben katapultiert und verzeichnet somit einen Höhengewinn. Bei vollkommen gestrecktem Stab (t = 1,7 s) ist E_ges wieder auf den anfänglichen Wert von 1000 J angestiegen.

Erstaunlich ist jedoch, dass die Summe beider Energiekomponenten E_kin + E_pot im nächsten Zeitabschnitt weiter ansteigt (t = 1,7 – 2,2 s), was dem Energieerhaltungssatz zu widersprechen scheint. Auch dieser Effekt kann ein sehr reizvolles Thema einer Schulstunde sein. Für die beobachtete Energiezunahme ist eine nicht visualisierbare Energiezufuhr verantwortlich, welche der Springer durch Muskelarbeit leistet. Aus dem Diagramm kann entnommen werden, dass dieser Beitrag mit ungefähr 700 J in Wirklichkeit einen beträchtlichen Teil der Gesamtenergie ausmacht. Die Schüler lernen so das Prinzip der Energieerhaltung kritisch anzuwenden.

Daneben gibt es zahlreiche andere physikalische Sachverhalte, die anhand des Stabhochsprunges behandelt werden können. Das System Sportler-Stab kann z. B. als Doppelpendel modelliert werden.

Abb. 4: Springer-Stab als Doppelpendel

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, stellen die Einstichstelle des Stabes (rot) sowie die Schulter des Sportlers (blau) die Drehachsen der beiden Pendel dar. Durch geschickte Variation von Trägheitsmomenten einzelner Körperteile wird nach dem Einstich der Sprung optimiert. Es wird zwischen kraftorientierter und schwungorientierter Technik unterschieden.

Bei der ersten Technikvariante wird versucht, durch Muskelkraft die Stabbiegung während des Aufrichtvorgangs zu maximieren, um auf diese Weise höhere Spannenergie zu erreichen, welche dann in Höhenenergie umgesetzt werden kann. Dies wird realisiert, indem der Springer seinen Körperschwerpunkt (KSP) möglichst weit von der Schulter als Drehachse entfernt hält. Daraus resultiert eine kleinere Winkelgeschwindigkeit und somit eine langsamere Aufrichtbewegung. Der Sportler hat mehr Zeit, Kraft auf den Stab auszuüben und damit eine größere Biegung zu erwirken. Vor allem massereichere Springer nutzen mit dieser Technik ihr Kraftpotential vollkommen aus, um das durch die Körpermasse oftmals langsamere Anlauftempo kompensieren zu können.

Genau gegensätzliche Absichten verfolgen schwungorientierte Athleten. Sportler dieses Typs haben in der Regel eine wesentlich geringere Masse. Sie zielen darauf ab, ihre hohe Anfangsgeschwindigkeit schnell in Höhenenergie zu übertragen, weshalb eine zügige Stabaufrichtung angestrebt wird. Die Stabbiegung erfolgt bei dieser Variante in wesentlich geringerem Maße.

Des Weiteren können im Rahmen des Doppelpendels die auftretenden Drehbewegungen analysiert und dabei physikalische Größen wie Winkelge-

schwindigkeit oder Trägheitsmomente erörtert werden.

2.2 Weitsprung

Der Weitsprung bietet eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für den Physikunterricht. Er eignet sich gut dazu, die grundlegenden Prozesse der Modellbildung und Simulation zu diskutieren. So kann der Sprung als schiefer Wurf des Körperschwerpunkts modelliert werden. Da hierzu Elementarisierungen notwendig sind, lernen Schüler gleichzeitig die Grenzen von Modellen in der Physik und Fehlerabschätzungen kennen. Weitere mögliche Lerninhalte sind unter anderem vektorielle Betrachtungen der Anlaufgeschwindigkeit sowie die physikalische Interpretation verschiedener Sprungtechniken.

Vorteil dieser Sportart ist, dass sie von den Schülern selbstständig ausgeführt werden kann, was beim Stabhochsprung nicht der Fall war. Auf diese Weise ist es möglich, ein schülernahes, aktives Unterrichtsprojekt zu diesem Thema zu konzipieren. Die Messungen am eigenen Körper machen den Lernstoff dabei lebendiger und persönlicher, sodass positive Lerneffekte erzielt werden können.

Um den schiefen Wurf des Körperschwerpunktes (KSP) zu verfolgen, werden den Schülern Klebepunkte etwa auf Hüfthöhe angebracht, die vereinfacht den KSP darstellen sollen. Abbildung 5 zeigt ein Stroboskopbild eines derartigen Sprunges. Zur besseren Übersicht wurde ein einfarbiger Hintergrund gewählt. Zudem kann die Bahnkurve des KSP komplett als Diagramm eingeblendet werden (siehe Abb. 6) oder vom Videoanalyseprogramm simultan mit dem Ablauf des Videos entwickelt werden.

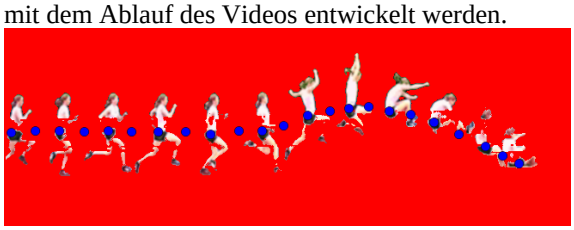

Abb. 5: Stroboskopaufnahme des Weitsprungs

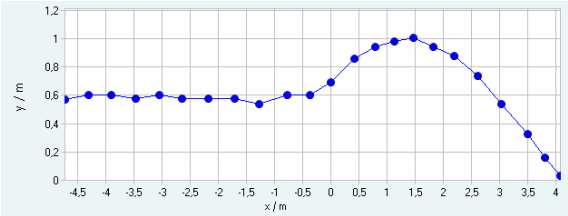

Abb. 6: Bahnkurve in Diagrammdarstellung

Die Fragestellungen rund um ein Weitsprungprojekt können sich von Messung von Anlauftempo und Sprungweite für eine Modellierung bis hin zu Auswirkungen von Variationen der Modellparameter im entwickelten Modell erstrecken. *measure Dynamics* bietet dafür alle nötigen Voraussetzungen. So kann z. B. in einem. der aufgenommene Sprung mit einer zugeschalteten Simulationskurve verglichen werden.

Die Parameter der Simulationskurve werden dem Video mittels Messfunktionen entnommen. In diesem Fall werden Absprungtempo, Absprungwinkel und die Absprunghöhe benötigt. Daraus ergibt sich schließlich eine Simulationskurve, welche die gemessene Bahnkurve möglichst gut approximieren sollte. Im vorliegenden Fall ergeben sich tatsächlich trotz des sehr simplen Modells des schiefen Wurfes erstaunlich gute Approximationen, wie in Abbildung 7 in einem x-y-Diagramm gezeigt wird.

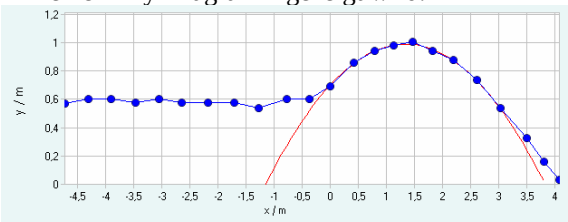

Abb. 7: Vergleich Modell - reale Bewegung

Zu erkennen ist, dass sich erst kurz vor der Landung des Springers signifikante Abweichungen von Modellkurve zur real gemessenen Bewegung ergeben. Dies liegt an der Sprungtechnik des Athleten, welche später noch behandelt wird.

Sollen Aussagen über den Einfluss der einzelnen Parameter auf die Sprungweite gemacht werden, so bietet sich die so genannte Schiebereglerfunktion an, über welche *measure Dynamics* verfügt. Bei spezieller Eingabe der verwendeten Fitfunktionen der Simulation lassen sich sämtliche Einflussgrößen manuell regeln. Die durch Variation der Parameter resultierenden Veränderungen der Simulationskurve werden instantan angezeigt. Auf diese Weise kann die Bedeutung wesentlicher Einflussfaktoren des Modells verständlich erläutert werden. Im vorliegenden Fall wurde der Einfluss des Absprungtempos auf die Sprungweite analysiert (siehe Abb.8).

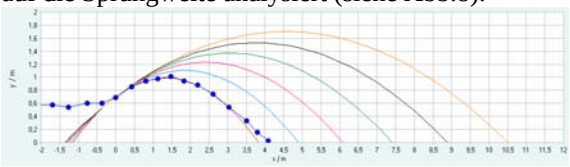

Abb. 8: Variation des Absprungtempos

Die einzelnen Simulationskurven in Abbildung 8 unterscheiden sich im Absprungtempo jeweils um $1\,ms^{-1}$. Deutlich sichtbar ist, dass ein hohes Absprungtempo einen entscheidenden Faktor für einen erfolgreichen Sprung darstellt. Analoge Variationen können natürlich auch für den Absprungwinkel sowie die Absprunghöhe gemacht werden. Die Auswertung der dabei erhaltenen Ergebnisse kann je nach Klassenstufe und Lernziel variiert werden. So ist es beispielsweise bereits in unteren Klassenstufen möglich, qualitative Beziehung zwischen den Einflussgrößen, etwa in der Form „Je..., desto...“ zu erarbeiten, ohne den Sprung vorher mathematisch modelliert zu haben.

Aber nicht nur für den Physiker ist die Auswertung des Weitsprungs per Videoanalyse sinnvoll. Gerade

Sportwissenschaftler nutzen vielfach diese Arbeitsmethode aus, um verschiedene technische Details zu optimieren, um dadurch größere Sprungweiten zu erzielen. Generell kann festgehalten werden, dass alle Technikmethoden physikalische Gesetzmäßigkeiten ausnutzen. Dies soll im weiteren Verlauf kurz anhand der Hangsprungtechnik, deren Bezeichnung sich aus der Haltung des Athleten während der Flugphase ableitet, diskutiert werden. Der beim Hangsprung erzielte Weitengewinn kann mithilfe der Newtonschen Axiomatik begründet werden. Betrachtet wird das Gesamtdrehmoment des Springers nach dem Absprung. Auf den Springer wirkt unter Vernachlässigung von Reibungskräften während des Fluges lediglich die Gewichtskraft in Folge der Erdbeschleunigung, wodurch jedoch keine zusätzlichen Drehmomente erzeugt werden. Es gilt damit Drehimpulserhaltung. Trotzdem ist es möglich, durch Änderung von Massenträgheitsmomenten einzelner Körperteile dort Drehmomente zu induzieren. Gemäß der Erhaltung des Drehimpulses muss dabei jedes so erzeugte Drehmoment ein gegenläufiges hervorrufen. Genau dieser Sachverhalt tritt beim Hangsprung auf. Nachstehende Abbildungen zeigen einerseits ein mit *measure Dynamics* erstelltes Stroboskopbild eines Hangsprungs (siehe Abb. 9), andererseits zum Vergleich einen technisch korrekten Sprungablauf nach sportwissenschaftlichen Überlegungen (siehe Abb. 10).

Abb. 9: Stroboskopbild eines Hangsprunges

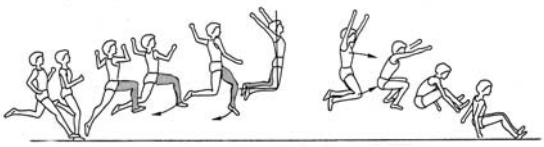

Abb. 10: Schematischer Ablauf des Hangsprunges (aus [6])

Der Athlet kann zwar nach Absprung die Flugbahn seines Gesamtkörperschwerpunktes nicht mehr beeinflussen, jedoch die Bahn verschiedener Körperteilschwerpunkte schon. Beim Hangsprung wird dies in Form einer Art „Klappbewegung“, die der eines Klappmessers ähnelt, realisiert. Dazu streckt der Sportler den Kopf samt Oberkörper nach vorne. Die Arme rotieren gleichzeitig dazu im Uhrzeigersinn nach unten, wodurch ein Drehmoment bezüglich der Hüfte als Drehachse induziert wird. Dieses Drehmoment muss durch ein gegenläufiges egalisiert werden, damit der Gesamtdrehimpuls erhalten bleibt. Jene Ausgleichsbewegung wird durch die Beine vollzogen. Diese bewegen sich in entgegengesetzter Drehrichtung, also nach vorne oben. Der Anfangsdrehimpuls bleibt somit erhalten. Welche Auswirkung diese Anhebung der Beine letztlich auf die Landung bzw. die Sprungweite hat, wird in Abbildung 11 ersichtlich. Schwarz gezeichnet ist ein Sprung ohne Anwendung einer speziellen Technik, weiß hingegen der Hangweitsprung. Es wird deutlich, dass der schwarz hinterlegte Sportler eine wesentlich geringere Weite zu verzeichnen hat als der weiße. Grund hierfür ist die aufgrund der Technik resultierende deutlich niedrigere Flugbahn der Beine.

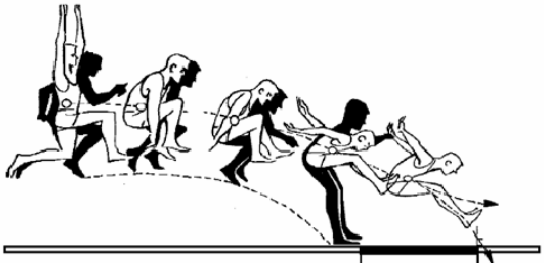

Abb. 11: Optimierung der Sprungweite durch die Hangsprungtechnik (aus [7])

Im Einzelnen wird der Körperschwerpunkt der Arme um etwa 60 cm nach unten verschoben. Damit ergibt sich gemäß der Definition des Gesamtkörperschwerpunkts, dessen Bahnkurve nach dem Absprung nicht mehr beeinflusst werden kann, eine Verschiebung der anderen Körperteile nach oben, sodass sich der Gesamtschwerpunkt nicht ändert. Insgesamt ergibt sich damit eine Verschiebung der Beine um circa 8 cm nach oben.

Gerade beim Beispiel des Weitsprungs wird deutlich, wie eng die Verbindung zwischen Physik und Sport wirklich ist. Dadurch, dass beispielsweise sportliche Höchstleistungen mithilfe physikalischer Grundprinzipien wie den Newtonschen Axiomen erklärt werden, bekommen die Schüler ein für sie wahrscheinlich neues Bild der Physik vermittelt. Denn durch die physikalische Modellierung interessanter, alltagsnaher Gegebenheiten kann der Stellenwert, den die Physik vielmals bei den Schülern annimmt, erheblich gesteigert werden.

2.3 Fußball

Eine weitere Sportart, die sich für eine Behandlung im Physikunterricht gut eignet, stellt der Fußball dar, welcher sich vor allem bei den Jungen sehr großer Beliebtheit erfreut. Die denkbaren Lerninhalte sind auch hier nicht auf vektorielle Betrachtungen von Geschwindigkeit und Beschleunigung der Ballbewegung beschränkt. Beispielsweise kann der Torschuss als teilelastischer Stoßvorgang eingekleidet werden. Darüber hinaus können Energien und auftretende Kräfte während verschiedener Stoßvorgänge abgeschätzt werden. Denn allgemein ist es wichtig, die Schüler des Öfteren mit offeneren Aufgabenstellungen ohne Einheitslösung zu konfrontieren, um die Schüler mit realen physikalischen Arbeitsweisen vertraut zu machen.

Zunächst soll dennoch kurz auf die Darstellung von Vektorgrößen mit *measure Dynamics* eingegangen werden. Auswertungsgrundlage bildet eine Fußballflanke. Im folgenden Beispiel (siehe auch Abb. 12) sind manuell Geschwindigkeitsvektoren für die Einzelkomponenten in x- bzw. y-Richtung sowie für die Gesamtgeschwindigkeit zugeschaltet, um einerseits den Vektorcharakter der Geschwindigkeit zu unterstreichen, andererseits aber auch das Unabhängigkeitsprinzip von überlagerten Bewegungen zu thematisieren. In gleicher Art kann die Beschleunigung komponentenweise eingeblendet werden.

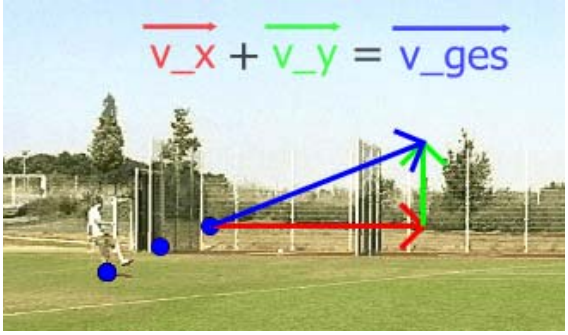

Abb. 12: Vektoraddition am Beispiel Fußballflanke

Natürlich besteht auch die Möglichkeit, den schiefen Wurf anhand einer Flanke zu behandeln. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ab einem gewissen Schusstempo die Reibungskräfte nicht mehr zu vernachlässigen sind. Gerade für die Beschreibung der Flugbahn spielen sie eine wichtige Rolle. Außerdem tritt in diesem Zusammenhang der Magnuseffekt auf, der eine Kraftwirkung auf rotierende Körper in der Luft beschreibt. Dabei können interessante Anwendungen wie etwa die Bananenflanke oder auch der Topspin beim Tennis beschrieben werden. Derartige konkrete Gegebenheiten stellen alltagsnahe, faszinierende Beispiele aus der Strömungsmechanik dar, welche den Unterricht zusätzlich beleben können.

Des Weiteren kann der Schussvorgang detaillierter betrachtet werden. Um diesen physikalisch als Kraftstoß modellieren zu können, ist es sinnvoll, als Erstes den biomechanischen Bewegungsablauf des Schussbeines zu analysieren. Dazu werden verschiedene Partien des Beines mithilfe von *measure Dynamics* verfolgt. Im Einzelnen werden die Hüfte (orange), das Knie (grün), der Fußspann (rot) sowie der Ball (blau) ausgewertet, was die Abbildung 13 veranschaulicht.

Um eine möglichst große Beschleunigung des Balls zu erreichen, ist es nach biomechanischen Vorstellungen besonders wichtig, die einzelnen Teile des Beines in ihrer Bewegung aufeinander abzustimmen. Ziel ist ein möglichst hoher Impulsübertrag vom Fuß auf den Ball. Dies ist nur möglich, wenn die Teilimpulse der einzelnen Körperglieder in optimaler Weise koordiniert werden, was durch zeitlich kurz versetzte maximale Beschleunigungen von Hüfte, Oberschenkel und Unterschenkel umgesetzt wird. Deshalb erreichen die Beinpartien auch erst nacheinander Maximalgeschwindigkeit. Diesen Sachverhalt zeigt Abbildung 14.

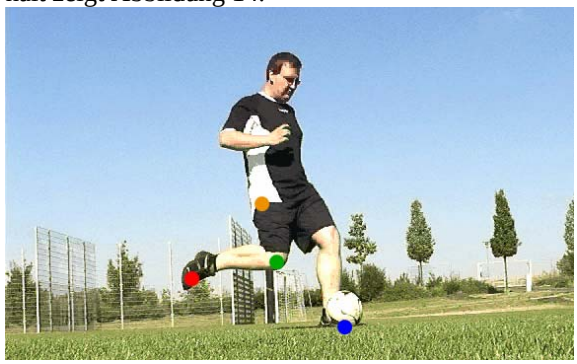

Abb. 13: Bewegungsanalyse einzelner Komponenten des Schussbeines

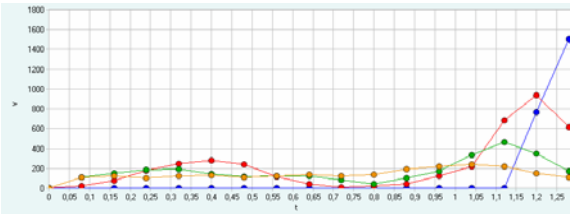

Abb. 14: Geschwindigkeitsverläufe einzelner Beinpartien (orange: Hüfte, grün: Knie, rot: Fußspann, blau: Fußball)

Für die Physik ist dies insofern recht interessant, da wohl sehr viele Schüler im Vorfeld etwas Anderes vermuten werden. So wird eine Vielzahl der Schüler wohl der Meinung sein, dass es am geschicktesten ist, die Beschleunigung des Beines gleichzeitig zu maximieren und das Tempo bis unmittelbar zum Stoß zu erhöhen, um somit einen möglichst hohen Impulsübertrag des Fußes auf den Ball zu gewährleisten. Diese Vorstellungen sind eben nur teils richtig, da zwar ein hohes Fußtempo angestrebt wird, der gesamte Beinapparat jedoch bereits Sekundenbruchteile vor dem eigentlichen Ballkontakt abgebremst wird. Das liegt daran, dass durch Muskelkraft alle Beinpartien angespannt werden, wodurch der Fuß insgesamt steifer und damit stabiler wird. Bei diesem Anspannvorgang wird das Bein schon vor dem Zusammenstoß abgebremst und büßt auf diese Weise Tempo ein. Dieser bewusste Tempoverlust wird jedoch dadurch überkompensiert, dass auf den Fußball letztlich eine sehr viel höhere Stoßmasse wirkt, welche einen größeren Impulsübertrag impliziert.

Die Schüler können anhand eines solchen Beispiels erkennen, dass bei der Optimierung von Bewegungsabläufen nicht nur die Physik eine wichtige Rolle spielt, sondern es auch noch andere Faktoren wie z. B. die Physiologie des Menschen oder äußere Einflüsse gibt, welche in die Modellierung mit einfließen.

Aufbauend auf diesen Überlegungen ist es denkbar, beispielsweise den Verlauf der beim Stoßvorgang erworbenen kinetischen Energie zu untersuchen. Am Beispiel eines gewöhnlichen Schusses oder einer

Flanke können so Reibungseffekte quantisiert werden. Faszinierender ist aber der Verlauf der Bewegungsenergie eines Lattentreffers. Der Ball erfährt wie beim gewöhnlichen Schuss einen Kraftstoß durch das Schussbein. Des Weiteren kommt es beim Aufprall auf die Latte zu einem weiteren Stoßvorgang, durch welchen der Ball stark deformiert wird und daher Energie an die Metalllatte abgibt. Wie sich dieser Energieübertrag im Diagramm bemerkbar macht, veranschaulicht Abbildung 15.

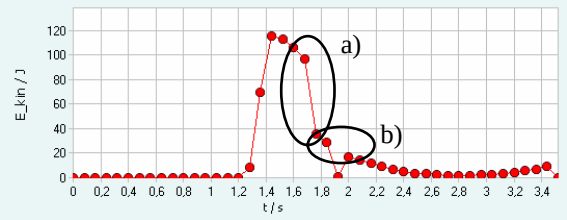

Abb. 15: Energieverluste des Fußballs beim Stoß mit a) der Latte b) dem Boden

Die Energieverluste des Balls sind also bei derart inelastischen Stößen enorm hoch. Diese Thematik spannt gleichsam erneut den Bogen zu sportphysiologischen Überlegungen hinsichtlich Gesundheitsrisiken, welche der Fußballsport mit sich bringt. Neben den Kraftwirkungen beim Kopfball bergen vor allem Körpertacklings großes Gefahrenpotential. Für eine detailliertere Betrachtung gesundheitlicher Aspekte des Sports ist jedoch nicht Aufgabe des Physikunterrichts. Dennoch können auf diese Weise die im Rahmen neuerer Bildungsforschung oftmals geforderten Querverbindungen zu anderen Fächern, wie in diesem Falle der Biologie, geknüpft werden.

2.4 Drehwurfbewegungen

Weitere Anwendungsfelder der Fächerkombination Physik und Sport bilden die Drehwurfbewegungen. Diese finden sich in vielen leichtathletischen Grunddisziplinen wie z. B. Hammerwurf, Diskuswurf oder auch Schleuderball wieder. Generell dienen die Drehbewegungen bei all diesen Sportarten dazu, das jeweilige Sportgerät auf begrenztem Raum auf möglichst hohes Tempo zu bringen.

Im Schulunterricht können nachfolgende Beispielsportarten zur Einführung von Drehbewegung und der damit verbundenen physikalischen Größen eingesetzt werden. Aber auch vertiefende Betrachtungen zu auftretenden Kräften und damit verbundenen Energien bilden Problemstellungen einer Unterrichtseinheit.

Konkrete Unterrichtserfahrungen mit Drehwurfbewegungen liegen für den Schleuderballwurf vor, welcher im Rahmen eines Schülerprojekttags an der Universität Würzburg durchgeführt wurde. Viele Schüler sehen kreisähnliche Bewegungen als ungezwungene, natürliche Bewegung und damit als kräftefrei an. Dieser weit verbreiteten Schülerfehlvorstellung gilt es entgegenzuwirken. Ein mögliches Lernziel ist somit, die Schüler soweit zu sensibilisieren, dass sie diese Vorstellung aufgrund konträrer Erfahrung beim Schleuderballwurf aufgeben.

Der Bewegungsablauf lässt sich mit *measure Dynamics* sehr gut veranschaulichen. Hierzu wird die Stroboskopbildfunktion mit einfarbigem Hintergrund verwendet. Die Abbildung 16 zeigt eine auf diese Weise visualisierte Bahnkurve.

Abb. 16: Stroboskopbild zur Visualisierung kreisähnlicher Bewegungen

Auffallend ist die elliptische Abweichung von einer Kreisbewegung, die auch in der Bahnkurve im y(x)-Diagramm zusätzlich deutlich wird (siehe Abb. 17). Dies entsteht durch die Auf- und Abwärtsbewegung der Schulter.

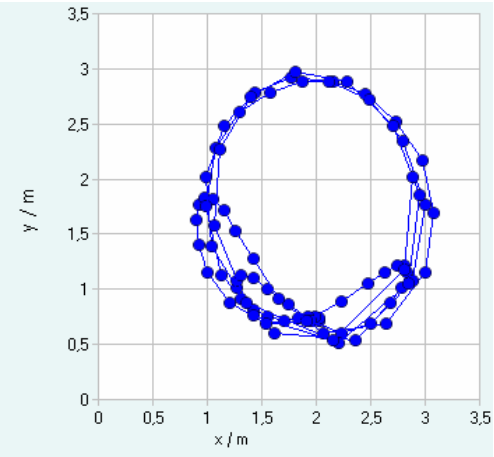

Abb. 17: Bahnkurve einer Schleuderballbewegung

Ausgehend von diesen Überlegungen ist es im weiteren Verlauf leicht möglich, auf die bei der Drehung wirkenden Kräfte einzugehen. Dazu besteht die Möglichkeit der Zuschaltung von Vektoren im Video. Durch Einblendung der Beschleunigung wird diese beim Werfen des Schleuderballes sichtbar (siehe Abb. 18).

Aus der Messtabelle des Videoanalyseprogramms können quantitative Informationen gewonnen werden. So können verschiedene Überschlagsrechnungen und Abschätzungen hinsichtlich der Wurfweite des Schleuderballs gemacht werden, die allesamt ähnlich denen eines schiefen Wurfes durchgeführt werden können. Gravierender Unterschied zu den Betrachtungen beim Weitsprung ist, dass die kineti-

sche Energie fast ausschließlich durch Rotationsbewegungen erzeugt wird. Mit einem Unterricht, in dem die Schüler das selbst aktiv entdeckend lernen können, ist die Hoffnung verbunden, das Interesse und die Motivation an der Physik steigern zu können.

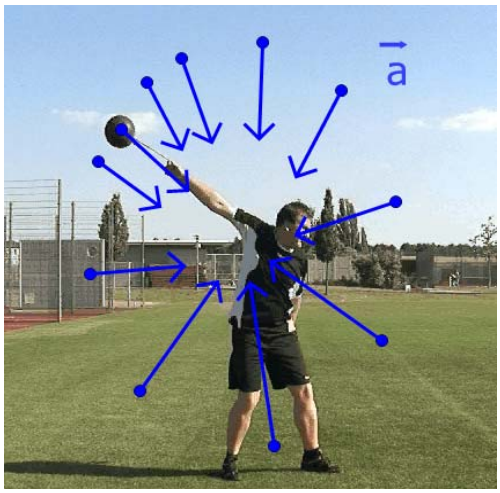

Abb. 18: Darstellung der Zentripetalbeschleunigung

Thema einer vertiefenden Einheit zu Drehbewegungen bietet der Vergleich der Weltrekorde von Kugelstoß und Hammerwurf. Trotz gleicher Wurfmassen unterscheiden sich beide Rekorde mit 23,12 m (Kugelstoß) und 86,74 m (Hammerwurf) doch beträchtlich.

Wie der Schleuderballwurf eignet sich auch der Hammerwurf, um physikalische Modellbildung zu betreiben. Zunächst wird die Bahnkurve eines Hammerwurfes sowohl im Video als auch im Diagramm (siehe Abb. 19) dargestellt. Die Auswertung kann nach ähnlichen Gesichtspunkten wie beim Schleuderball erfolgen, da sich die Sportarten hinsichtlich des Bewegungsablaufes ähneln.

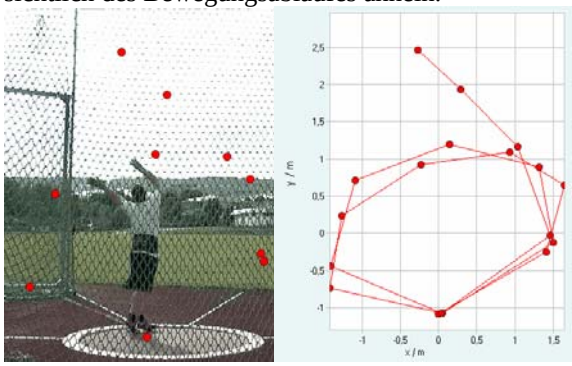

Abb. 19: Bahnkurven im Video und im Diagramm

Der Unterschied zum Schleuderball ist, dass der Hammer aufgrund seiner Masse idealer Weise schräg zum Boden beschleunigt werden muss. Der Grund hierfür ist, dass bei anderer Orientierung der Drehbewegung der Sportler nicht mehr in der Lage wäre, den Hammer durch Einsatz seiner Gewichtskraft festzuhalten bzw. festen Bodenkontakt zu behalten. Bei der Berechnung der auftretenden Zentripetalkräfte wird dies schließlich bestätigt. So treten bei Spitzensportlern betragsmäßig Kräfte von bis zu 3000 N auf, was bedeutet, dass der Hammer kurz vor Abwurf am Athleten zieht, als hätte er eine Masse von 300 kg. Erstaunlich ist hier, welche enorme Kraft also letztlich auf den Hammer wirken muss, um ihn auf seine kreisähnliche Bahn zu „zwingen“. Dass die enorme Wurfweite mit dem Hammer nur durch die hinzugeführte Rotationsenergie erreicht wird, sollte den Schülern nach Behandlung von Drehbewegungen klar geworden sein.

3. Resümee

Wie anhand der vorangegangenen Sportarten erörtert wurde, liefert die Analyse von Sportbewegungen im Physikunterricht zahlreiche Ansatzpunkte, um den Unterrichtsverlauf interessanter und motivierender zu gestalten. Die alltagsnahen Thematiken verbunden mit den modernen Realisierungsmöglichkeiten von *measure Dynamics* bieten somit die Möglichkeit, physikalische Sachverhalte auf eine alternative und anschauliche Weise darzustellen, wobei vor allem die bildhafte Darstellung dabei hilft, die Physik dahinter verständlicher zu machen. Durch die neuartigen Visualisierungsfunktionen, welche *measure Dynamics* offeriert, werden zusätzlich positive Lerneffekte angestrebt.

4. Literatur

[1] HOFFMANN, L.; HÄUßLER, P.; LEHRKE, M. (1998): Die IPN-Interessenstudie Physik, Kiel

[2] MICHEL, C.; WILHELM, T. (2008): Lehrvideos mit dynamisch ikonischen Repräsentationen zu zweidimensionalen Bewegungen – In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media –LOB.de, Berlin

[3] Videoanalyseprogramm *measure Dynamics* der Firma PHYWE, Informationen unter: http://www.phywe.de/framenav.php?nav1=60&nav2=7&csscol=son&ref=nav

[4] WILHELM, T. (2009): Videoanalyse mit unterschiedlichen Darstellungsformen - In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung, Jahrestagung der GDCP in Schwäbisch Gmünd 2008, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 29, Lit-Verlag, Münster

[5] BENZ, M.; WILHELM, T. (2008): measure Dynamics – Ein Quantensprung in der digitalen Videoanalyse - In: In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin

[6] HABERKORN, C.; PLAß, R.; BAUMANN, H. (Hrsg.) (1992): Leichtathletik Band 2: Sprung, Wurf, Stoß, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main

[7] WILLIMCZIK, K. (1989): Biomechanik der Sportarten, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek

5. Dateien auf der Tagungs-CD

Eine detaillierte Ausarbeitung der angesprochenen Unterrichtsprojekte sowie weiterer Sportbewegungen bietet die Staatsexamensarbeit „Physik &Sport - Fächerverbindender Unterricht mit moderner Videoanalyse“, welche der Tagungs-CD beigefügt ist. Zusätzlich zu diesem Artikel sind ausgewählte Beispielvideos als avi-Dateien mit Einblendungen hinzugefügt.

6. Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an dieser Stelle an Herrn Prof. Dr. Thomas Trefzger für die Ermöglichung der Staatsexamensarbeit, welche die Basis dieses Artikels bildet. Dank gilt zudem der Firma PHYWE für die Bereitstellung des Videoanalyseprogramms sowie dem Entwickler Herrn StR z.A. Dipl.-Phys. Michael Suleder, der bei Softwareproblemen stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

7. Adresse

Tobias Mück, AR Dr. Thomas Wilhelm, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Physikalisches Institut der Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, Tel. 0931/31-85788,
Tobias.Mueck@gmx.net
wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de
www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm