

# Biomechanik fächerübergreifend – Der Körper in Bewegung

GUIDO KLEES, THOMAS WILHELM, CHRISTOPHER HEIM, SANDRA ZIMMERMANN, MICHAEL WENZEL

## Kurzfassung

**Vorgestellt wird ein interdisziplinäres Unterrichtskonzept der Fächer Biologie, Sport und Physik, das sich experimentell mit den Bewegungsabläufen des menschlichen Körpers auseinandersetzt. Die Grundlage zum Verständnis von Bewegungsabläufen des menschlichen Körpers legt die biologische Untersuchung der Struktur und Funktion des passiven und aktiven Bewegungsapparates. Sportwissenschaftlich werden Leistungsdiagnosen zur Ermittlung der eigenen Sprungkraft- und Sprintleistungsfähigkeit vorgestellt und individuelle Trainingspläne erstellt. Aus Sicht der Physik werden physikalisch relevante Größen, wie Kraft und Beschleunigung, analysiert und die mechanischen Abläufe bei unterschiedlichen Körperbewegungen beschrieben.**

## 1. Einleitung

Die Lebensgewohnheiten in Beruf und Alltag werden in der heutigen Zeit zunehmend durch Bewegungsmangel und monotone Bewegungsabläufe geprägt. Ein inaktiver Lebensstil gilt nach dem Gesundheitsbericht des Bundes als wesentlicher Risikofaktor für zahlreiche Gesundheitsgefährdungen. In Deutschland werden beispielsweise mehr als 6500 Herz-Kreislauf-Todesfälle pro Jahr beziffert, die allein durch gemäßigte körperliche Aktivitäten hätten vermieden werden können (GESUNDHEITSBERICHTERSTATTUNG DES BUNDES, 2005). Die Erhaltung der eigenen Gesundheit gilt als eine der fachübergreifenden Bildungsaufgaben der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Innerhalb des Kompetenzbereichs Bewertung sollen Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt werden, verschiedene Maßnahmen und Verhaltensweisen zur Erhaltung der eigenen Gesundheit und Leistungsfähigkeit auf der Grundlage naturwissenschaftlicher Kenntnisse im Alltagskontext beurteilen zu können.

Mit den komplexen Bewegungsvorgängen biologischer Systeme beschäftigt sich als interdisziplinäre Wissenschaft die Biomechanik. Sie versucht, Antworten auf Fragen zu finden, wie der Bewegungsapparat biologischer Systeme Bewegung erzeugt, welche mechanischen Gesetzmäßigkeiten unterschiedliche Bewegungsabläufe bedingen und welches Leistungsvermögen diese Systeme entwickeln können.

Das hier beschriebene Unterrichtskonzept wurde zunächst als fächerübergreifendes Schülerlabor zur Biomechanik für die Oberstufe der Goethe-Universität Frankfurt konzipiert und durchgeführt, in dem die Schüler selbstständig experimentierten. Diese Einheiten lassen sich aber durchaus auch im normalen Schulunterricht umsetzen. Die zugehörigen Unterrichtsmaterialien stehen online unter [www.thomas-wilhelm.net/biomechanik](http://www.thomas-wilhelm.net/biomechanik) zur Verfügung. Durch die Verzahnung biologischer, sportwissenschaftlicher und physikalischer Betrachtungsweisen wird eine umfassende Auseinandersetzung mit diesem Teilgebiet der Biomechanik ermöglicht. Neben den fachlichen Aspekten leistet das Unterrichtskonzept zudem einen Beitrag zur

körperlichen Selbsterkenntnis von Schülerinnen und Schülern (SuS) und fördert die Sensibilisierung im Hinblick auf eine gesundaktive Lebensführung.

## 2. Unterrichtseinheit Biologie

Die Grundlagen zum Verständnis der Bewegungsfähigkeit des Menschen werden durch biologische Untersuchungen der Struktur und Funktion des Bewegungsapparates gelegt. Dabei wird der menschliche Bewegungsapparat in aktive und passive Komponenten unterteilt. Der passive Bewegungsapparat umfasst Knochen, Knorpel, Bänder und Bindegewebe und hat im Wesentlichen Stütz- und Gerüstfunktion. Das knöcherne Skelett besteht beim adulten Menschen aus 206 bis 212 Einzelknochen, deren Bewegungsfähigkeit an den Verbindungsstellen der einzelnen starren Elemente durch Gelenke vorgegeben wird. In der Unterrichtseinheit wird zunächst der Aufbau des menschlichen Skeletts behandelt, wobei der Schwerpunkt auf der Untersuchung der Struktur und Funktion der „echten Gelenke“ (Diarthrosen) liegt.

Die aktiven Komponenten des Bewegungsapparates werden von der quergestreiften Skelettmuskulatur, die vor allem für die willkürliche, aktive Körperbewegung zuständig ist, und deren Sehnen gebildet. Die Sehnen bestehen aus straff organisierten kollagenen Bindegewebsfasern, die an den Knochen ansetzen und die Bewegung der Muskeln auf das Skelett übertragen. Im Rahmen der Unterrichtseinheit wird die strukturelle Organisation des Muskelgewebes nachvollzogen und die Folgen der Kontraktion auf einzelne Muskelfasern näher untersucht.

### 2.1 SuS untersuchen den passiven Bewegungsapparat

Die Untersuchung des passiven Bewegungsapparats erfolgt an althistorischen Skeletten aus dem 17. Jahrhundert. Die SuS setzen zunächst die Skelette zusammen (Abb.1). Als Alternative im Schulunterricht können Skelettmodellkästen bzw. schon zusammengesetzte Skelettmodelle eingesetzt werden. Die Knochen, welche Bestandteile von echten Gelenken darstellen, werden genauer betrachtet, fotografiert und benannt. Durch Ausprobieren am eigenen Körper werden die Bewegungsmöglichkeiten der einzelnen Gelenke bestimmt und mit Gelenktypmodellen verglichen. Anhand der Knochenstrukturen und Bewegungsmöglichkeiten werden die unterschiedlichen Gelenktypen lokalisiert und klassifiziert.



Abb. 1: Zusammensetzung althistorischer Skelette

### 2.2 SuS untersuchen den aktiven Bewegungsapparat

Beim aktiven Bewegungsapparat wird zunächst die hierarchische Organisation des Muskelgewebes am Original untersucht. Die SuS erhalten einen Eindruck von den Größenordnungen der unterschiedlichen Strukturebenen, wie der von Muskelgewebeeinheiten ( $\varnothing$  1-2 cm), der Muskelfaserbündel ( $\varnothing$  0,1-1 mm), Muskelfaser ( $\varnothing$  10-80  $\mu$ m) und einzelnen Myofibrillen ( $\varnothing$   $\approx$ 1  $\mu$ m). Die Längs- und Querstrukturen werden mit bloßem Auge und mit Hilfe von Binokular und Mikroskop untersucht und vermessen. Im Tandem erhalten die SuS Präparationsbesteck und ein Stück Rippenmuskulatur vom Rind (Abb.2A). Die groben Gewebeeinheiten werden mit bloßem Auge isoliert (Abb.2B). Mit Pinzette und Nadel werden unter dem Binokular nun einzelne Muskelfaserbündel freigelegt (Abb.2C).



Abb. 2: A: Das Ausgangsmaterial- Rippenmuskelgewebe vom Rind  
 B: Querschnitt des Muskelgewebes. Mehrere Muskelgewebeeinheiten sind zu erkennen (Markierung)  
 (Einzelne Muskelfaserbündel sind hier noch nicht zu erkennen!)  
 C: Mehrere Muskelfaserbündel unter dem Binokular

Die Muskelfaserbündel werden nun fixiert und die einzelnen Muskelfasern unter dem Mikroskop betrachtet, vermessen und fotografiert (200-800facher Vergrößerung, Abb.3). Zur Dokumentation der Muskelfeinstruktur werden die Fotos der unterschiedlichen Organisationsebenen herkömmlichen Schemazeichnungen gegenübergestellt und deren Durchmesser wird angegeben.

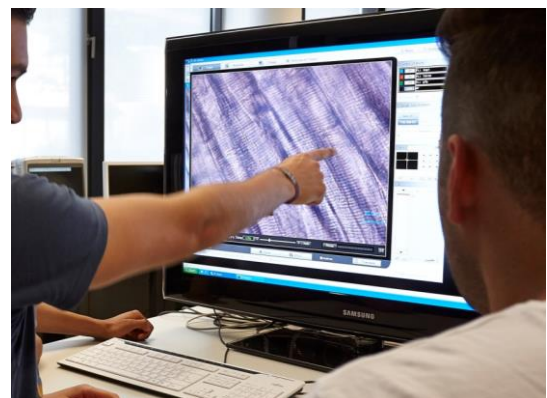


Abb. 3: SuS untersuchen Muskelfasern bei 200facher Vergrößerung

### 2.3 Kontraktionsversuch quergestreifter Skelettmuskulatur

Mit vorgefertigten Präparaten (Präparationsanleitung siehe J.G. MOSER & A. FISCHER 1972) werden Bündel einzelner Muskelfasern durch Zugabe von ATP zur Kontraktion gebracht und mit Hilfe von Binokular und Mikroskop beobachtet und ausgewertet. Die relative Längenabnahme beträgt etwa ein Drittel ihrer Ausgangslänge (Abb.4 A/B). Im mikroskopischen Bild wird das Hineingleiten der dicken Myosinfilamente zwischen die dünnen Aktinfilamente durch die enger werdende Querstreifung deutlich sichtbar (Abb. 5 A/B).

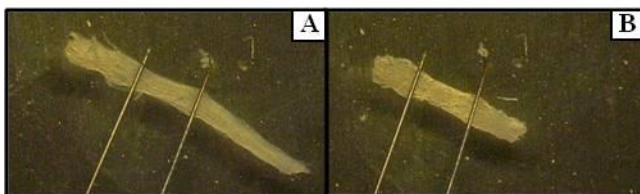


Abb. 4: A: Muskelfaserbündel vor der Kontraktion unter dem Binokular  
 B: Muskelfaserbündel nach der Kontraktion unter dem Binokular

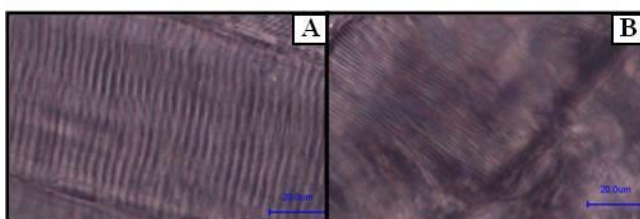


Abb. 5: A: Querstreifung vor der Kontraktion  
 B: Querstreifung nach der Kontraktion (600fache Vergrößerung)

Die einzelnen Sarkomere besitzen eine Länge von ca. 1,3  $\mu\text{m}$  und kontrahieren bis auf ca. 0,8  $\mu\text{m}$ . Die Verkürzung jedes Sarkomers beträgt demnach nur 0,5  $\mu\text{m}$ . Erst durch die Hintereinanderstellung von 10.000 bis 100.000 Sarkomeren werden Verkürzungen von 0,5-5 cm pro Muskelfaser möglich.

### 3. Unterrichtseinheit Sportwissenschaft

Als einziges Bewegungsfach im schulischen Fächerkanon bietet der Sportunterricht die Möglichkeit, die im Biologie- und Physikunterricht erarbeiteten theoretischen Grundlagen „am eigenen Leib“ spürbar zu machen und erlaubt somit eine praktische Nutzung des erworbenen Wissens. Die eingesetzten Tests zur Ermittlung von Sprungkraft und Sprintschnelligkeit und insbesondere die damit einhergehende Möglichkeit zu individuellen Vergleichen wirken sich zudem höchst motivierend auf die Schülerinnen und Schüler aus.

#### 3.1 Zur Bedeutung von Kraft und Schnelligkeit im Sport

Unter „Schnelligkeit“ wird im Sport allgemein die Fähigkeit verstanden, auf einen äußeren Reiz (hiermit kann sowohl ein „klassisches“ Startsignal fallen als auch die Wahrnehmung einer Spielsituation, die eine bestimmte Handlung impliziert) zu reagieren (Reaktions- oder Handlungsschnelligkeit) und im Anschluss eine Bewegung mit möglichst hohem Tempo ausführen zu können (Aktions- oder Bewegungsschnelligkeit). Im Zuge dieses Unterrichtsvorhabens steht die Bewegungsschnelligkeit im Vordergrund, da diese zu einem Großteil von der in der Biologie thematisierten Zusammensetzung des Bewegungsapparates determiniert wird. Hierzu werden zunächst anhand geeigneter Videobeispiele die Bedeutung der Bewegungsschnelligkeit (in diesem Fall am Beispiel des Sprints) insbesondere in den Sportsportarten herausgearbeitet – hierzu eignen sich insbesondere Videoclips von Sololäufen im Fußball oder Rugby (entsprechende Beispiele finden sich zuhauf auf YouTube) – und im Anschluss die Einflussfaktoren der Sprintleistung thematisiert. Diese setzen sich im Wesentlichen zusammen aus – wenn überhaupt – nur in sehr engen Grenzen trainierbaren genetischen Faktoren (Muskelfaserzusammensetzung, Körperbau und Körpergröße, Hebelverhältnisse etc.) sowie im Gegensatz gut trainierbaren konditionellen und technischen Faktoren wie Maximal- und Schnellkraft<sup>1</sup> bzw. Schrittlänge und Schrittfrequenz, Zusammenspiel von Arm- und Beinbewegungen etc. (WEINECK, 2009). Je nach theoretischem Interesse der Schülerinnen und Schüler bietet sich an dieser Stelle evtl. eine vertiefende Auseinandersetzung mit den tendomuskulären und neuronalen Einflussfaktoren der (Schnell-)Kraft an (vgl. hierzu z.B. WEINECK, 2009).

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff „Maximalkraft“ wird in der Sportwissenschaft die maximale Kraft verstanden, die eine Person bei einmaliger Ausführung willkürlich gegen einen Widerstand auszuüben vermag. „Schnellkraft“ bezeichnet hingegen die Fähigkeit, in einer zur Verfügung stehenden Zeit einen möglichst großen Impuls zu erzeugen, also den Körper, Teile des Körpers oder Gegenstände maximal zu beschleunigen.

### 3.2 Messung der eigenen Leistungsfähigkeit

Zur Messung der eigenen Sprintleistungsfähigkeit sowie der Sprungkraft als determinierende Einflussgröße werden ein einfacher Linearsprint über dreißig Meter sowie eine Sprungbatterie bestehend aus einem Squat- (Abb. 6 A-C) sowie einem Counter Movement Jump (Abb. 7 A-C) eingesetzt.



Abb. 6: Beim Squat-Jump nimmt die Versuchsperson die ganz links zu sehende Ausgangshaltung ein (Hüft- und Kniewinkel jeweils  $90^\circ$ ), springt ohne weitere Auftaktbewegung senkrecht nach oben und landet mit gestreckten Beinen auf der Kraftmessplatte.

Abb. 7: Der Counter-Movement-Jump verläuft sehr ähnlich, wird allerdings nicht aus einer aufrechten Position durch dynamisches Absenken des Körperschwerpunkts nach unten eingeleitet. Bei beiden Sprungformen sollen die Hände über den kompletten Sprung an der Hüfte verbleiben, so dass die Arme nicht an der Bewegung beteiligt sind.

Die Zeitmessung des Sprints erfolgt dabei nach Möglichkeit mit Lichtschranken. Sollten diese an der Schule nicht vorhanden sein, ist eine Zeitnahme per Handstoppuhr im Allgemeinen aber ausreichend. Dabei sollte aus dem Hochstart gesprintet werden, da die Technik des Tiefstarts bei den Schülerinnen und Schülern oftmals nicht ausreichend verfestigt ist und die somit auftretende Variabilität sich auf die Laufzeiten auswirken kann. Eine zusätzliche Aufzeichnung der Läufe auf Video ermöglicht zudem die Analyse hinsichtlich evtl. auftretender technischer Defizite (Analyse des Laufstils, siehe oben).

Die Bestimmung der Sprunghöhen erfolgt optimalerweise mithilfe einer Kraftmessplatte (vgl. unten), indem die Zeit zwischen Absprung und Landung gemessen und die erreichte Sprunghöhe anschließend über die Flugzeit berechnet wird (physikalische Formel des senkrechten Wurfs). Ersatzweise ist eine Sprunghöhenbestimmung aber auch über den Jump-and-Reach-Test<sup>2</sup> möglich. In diesem Fall sollte der durch die Ausholbewegung des Armes auftretende

<sup>2</sup> Der Jump-and-Reach-Test ist ein sportmotorisches Testverfahren, bei dem mit einfachen Mitteln die Sprunghöhe einer Person bestimmt werden kann. Dabei wird an einer Wand zunächst die Reichhöhe einer Testperson (ausgestreckter Arm über Kopf) mit Hilfe eines Maßbandes gemessen. Anschließend reibt sich die Testperson die Handinnenfläche mit Kreide ein, vollführt vor der Wand einen Counter-Movement- oder Squat-Jump und schlägt dabei im höchsten Punkt mit der flachen Hand an die Wand, wodurch ein Kreideabdruck an dieser entsteht. Nun kann durch Messung der Höhe des Kreideabdrucks und Subtraktion der eingangs gemessenen Reichhöhe die Sprunghöhe bestimmt werden.

Fehler mit den Schülerinnen und Schülern thematisiert werden. Möglich – wenn auch unständig – wäre es auch, die Sprunghöhe mithilfe des unten beschriebenen Programms „measure dynamics“ zu bestimmen, indem z.B. auf Hüfthöhe ein entsprechender Marker angebracht wird.

### 3.3 Entwicklung von individuellen Trainingsplänen

Im nächsten Schritt werden die von den Schülerinnen und Schülern erhobenen Daten sowohl innerhalb des Kurses wie auch mit Normdaten von Athleten aus unterschiedlichen Sportarten verglichen und im Anschluss Möglichkeiten sowohl zum Abbau vorhandener Schwächen wie auch zum Ausbau von Stärken thematisiert (siehe Arbeitsblatt). Anschließend sollte dies im Rahmen einer mehrwöchigen Intervention in die Praxis umgesetzt werden. Hierbei bieten sich sowohl Technikübungen zur Verbesserung des Laufstils (DLV, 2014) wie auch „klassisches“ Krafttraining zur Verbesserung der Maximal- oder Sprungkraft an (WEINECK, 2009) – evtl. sogar in Zusammenarbeit mit einem örtlichen Fitnessstudio (WEGNER, SPINTZYK, KREZ & GRÖBEN, 2013). Idealerweise arbeiten dabei Schülerinnen und Schüler mit ähnlichen Zielen in Trainingsgruppen von drei bis vier Personen zusammen.

## 4. Unterrichtseinheit Physik

Für Schüler ist die Untersuchung der eigenen Bewegung des eigenen Körpers sehr interessant. Aus physikdidaktischer Sicht bieten sich hier die physikalische Analyse von verschiedenen Sprüngen oder dem Gehen oder Laufen an. Voraussetzung ist, dass bereits die Kinematik und Dynamik der Oberstufe behandelt wurden. Diese Inhalte können nun an diesen Bewegungen wiederholt, geübt und vertieft werden. Dabei ist es hilfreich, wenn die Schüler aus dem Sportunterricht bereits die Kenntnis von Fachbegriffen wie Squat Jump oder Counter Movement Jump mitbringen und dort auch gelernt haben, diese korrekt auszuführen.

### 4.1 Messverfahren

Zur Messwerterfassung eignen sich vor allem Kraftmessplatten und Videoanalysen (WEIDT & WILHELM, 2011). Die heute allgegenwärtigen 3D-Beschleunigungssensoren, die sich in jedem Smartphone befinden und mit verschiedensten Apps ausgelesen werden können, eignen sich auch, aber nicht so gut. Zum einen wird dort nicht nur die Trägheitskraft gemessen, die proportional zur gesuchten Beschleunigung ist, sondern auch die Gewichtskraft. Ein Auf-Null-Setzen des Sensors vor Beginn der Bewegung ist deshalb sehr hilfreich, falls der Sensor während der Bewegung nicht verkippt wird. Außerdem kann die gemessene Richtung bzw. das Vorzeichen verwirrend sein, da man sich überlegen muss, ob die Richtung der subjektiven Scheinkraft oder der objektiven Beschleunigung angezeigt wird.

Kraftmessplatten werden von Lehrmittelfirmen (z.B. Pasco oder Vernier) zu computerbasierten Messwerterfassungssystemen angeboten und sollten eine hohe Messrate haben (z.B. 1.000 Hz). Diese messen die Kraft, die ein Schüler auf den Boden (= Platte) ausübt bzw. die der Boden auf den Schüler ausübt. Ist der Schüler in Ruhe, übt der Boden eine Kraft nach

oben aus, die die Gewichtskraft kompensiert. Deshalb sollte kein Schüler zu diesem Versuch gezwungen werden, der nicht will, dass die anderen von seiner Gewichtskraft auf seine Masse rückschließen können.

Für eine Videoanalyse ist es sinnvoll, eine Software zu wählen, die eine Bewegung automatisch analysieren kann. Hierfür eignen sich vor allem die Programme Tracker und measure dynamics.

#### 4.2 SuS analysieren Sprünge

Der Einfachheit halber beginnt man mit einem vertikalen Sprung aus der Hocke (Squat Jump) und versucht, alle Phasen des mit der Kraftmessplatte gemessenen Zeit-Kraft-Diagramms zu verstehen (WILHELM, GEBNER, SULEDER & HEUER, 2003, S. 28+29). Für Schüler ist es interessant, wer die höchste Kraft auf den Boden ausüben kann und wer die längste Flugphase hat (siehe Abb. 8). Zu überlegen ist, wann es eine Beschleunigung in welche Richtung gibt und wie sich diese auf die Geschwindigkeit auswirkt. Erst wenn das verstanden ist, kann man sich die Unterschiede bei leichtem und kraftvollem Hochspringen und bei Landen mit durchgestreckten Knien und mit weichem Nachfedern anschauen. Außerdem kann man danach einen Sprung aus dem Stand mit einer Ausholbewegung nach unten (Counter Movement Jump) anschauen.

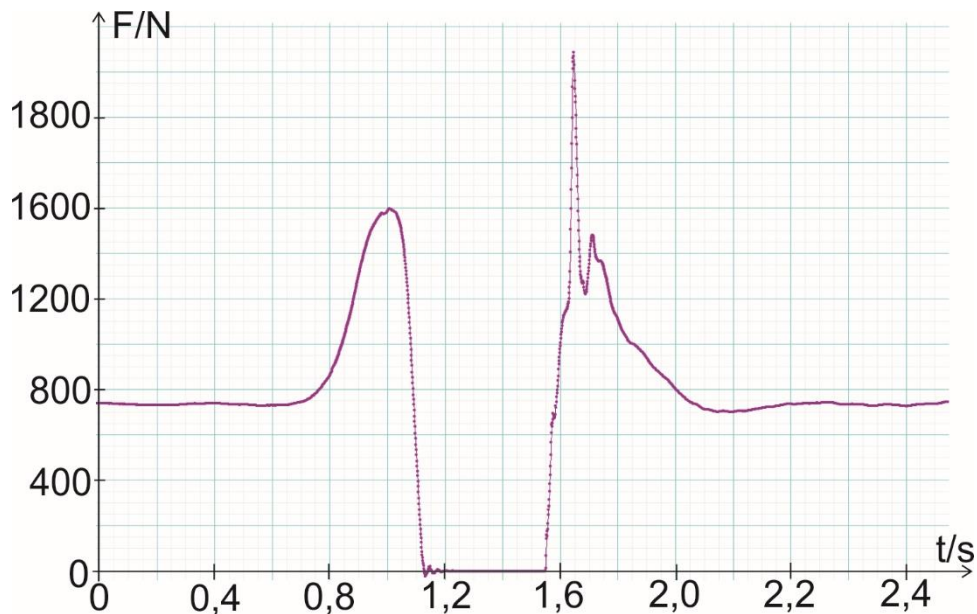


Abb. 8: Zeit-Kraft-Diagramme eines Squat Jumps: Abdrücken, Flugphase und Landung

Sinnvoll ist es auch, den gleichen Squat Jump (und evtl. danach den Counter Movement Jump) mit einer Videoanalyse zu betrachten. Dazu sucht man sich einen einheitlichen Hintergrund, stellt einen Maßstab mit in den Bildausschnitt und bringt gut sichtbar bunte Papierkreise an Kopf oder Hüfte des Springers an. Dann kann man ein  $y(t)$ -,  $v_y(t)$ - und  $a_y(t)$ -Diagramm erzeugen und die Bewegung zu den verschiedenen Phasen beschreiben (siehe Abb. 9). Beispielsweise stellt man während der Flugphase fest, dass sich die Ortskomponente wie eine

Parabel und die Geschwindigkeitskomponente wie eine Gerade verhält, während die Beschleunigungskomponente in grober Näherung konstant bei etwa  $-10 \text{ m/s}^2$  ist.

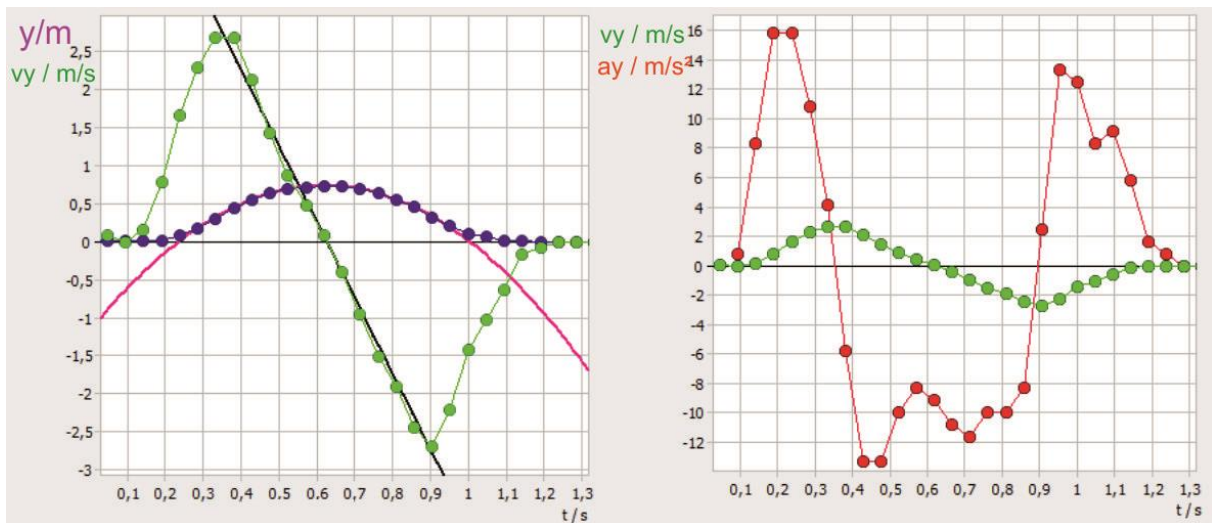


Abb. 9: Orts- (blau), Geschwindigkeits- (grün) und Beschleunigungskomponente (rot) in vertikaler Richtung bei einem Squat Jump (gemessen mit measure dynamics) sowie ein parabelförmiger (rosa) und linearer (schwarz) Kurvenfit

#### 4.3 SuS analysieren Gehen und Laufen

Die gleichen Messverfahren können auch beim Gehen und Laufen benutzt werden (Weidt & Wilhelm, 2014). Beim Gehen hat immer ein Fuß Kontakt mit dem Boden, während beim Laufen über eine bestimmte Zeitspanne beide Füße in der Luft sind. Dabei nennt man langsames Laufen Joggen und schnelles Laufen Sprinten.

Schüler können die Normalkraft messen, die der Boden beim Gehen über die Kraftmessplatte auf den Körper ausübt. Hier ist zu überlegen, welche Richtung die resultierende Kraft und entsprechend die Beschleunigung hat, wenn die Bodenreaktionskraft größer bzw. kleiner als die Gravitationskraft ist. Dann ist zu überlegen, was dies für die Geschwindigkeit in den einzelnen Phasen bedeutet.

Interessanter und einfacher ist es, das Joggen mit Hilfe einer Videoanalyse zu untersuchen, wozu gut sichtbar bunte Papierkreise an Kopf, Hüfte und Knöchel befestigt werden. Um eine gleichmäßige Bewegung zu erhalten, sollten die Schüler schon außerhalb des gefilmten Bereichs anfangen zu joggen. Dann kann man die Bahnkurve der einzelnen Punkte betrachten oder sich Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile an den einzelnen Punkten anschauen. Die Schüler werden zuerst feststellen, dass sich Kopf und Hüfte sehr ähnlich bewegen, während sich der Fuß völlig anders bewegt (siehe Abb. 10). Das Erste ist natürlich nicht verwunderlich, da Kopf und Hüfte immer ungefähr im gleichen Abstand sind. Kopf und Hüfte bewegen sich in horizontaler Richtung recht gleichmäßig und vollziehen in vertikaler Richtung eine fast harmonische Schwingung, so dass die Beschleunigungsbeträge klein sind, was für das Gehirn wichtig ist. Der Fuß macht dagegen ruckartigere Bewegungen und man kann z.B. sehen, dass während des Abbremsens beim Aufkommen auf dem Boden Geschwindigkeit und Beschleunigung im Wesentlichen in entgegengesetzte Richtung zeigen, während sie beim



Schnellerwerden im Wesentlichen in die gleiche Richtung weisen. Die großen Beschleunigungsbeträge und die dazugehörigen Kräfte belasten die Gelenke.

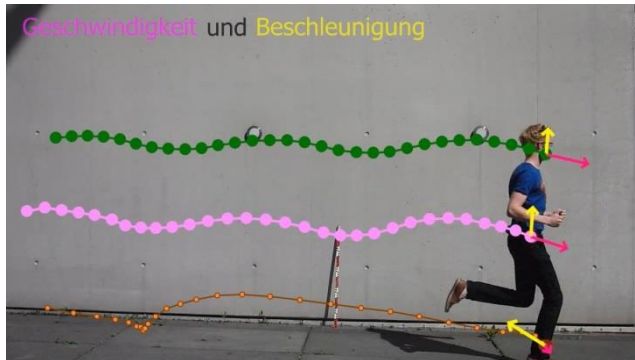


Abb. 10: Bahnkurve von Kopf (grün), Hüfte (rosa) und Fuß (orange) sowie Geschwindigkeitsvektor (violett) und Beschleunigungsvektor (gelb) an allen drei Körperpunkten

## Literatur:

DEUTSCHER LEICHTATHLETIK-VERBAND (2014). *Schülerleichtathletik*. Münster: Philippka.

GESUNDHEITSBERICHTERSTATTUNG DES BUNDES (2005). Körperliche Aktivität - Robert Koch-Institut in Zusammenarbeit mit dem Statistischen Bundesamt - 26, S. 7 - 9.

MOSER, J. G. & FISCHER, A. (1972). Das Experiment: Kontraktionsversuche mit Muskelmodellen. *Biologie in unserer Zeit* 2(3), 92 – 96.

WEGNER, C; SPINTZYK, K., KREZ, O. & GRÖBEN, B. (2013). Biologie im Fitnessstudio. *MNU* 66(7), 423-429.

WEIDT, M. & WILHELM, T. (2011). Bewegungen des eigenen Körpers – Möglichkeiten der Messwerterfassung im Vergleich. *PhyDid-B*, <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/260/415>

WEIDT, M. & WILHELM, T. (2014): Gehen und Laufen im Physikunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 6(1), 37 – 46.

WEINECK, J. (2009). *Optimales Training*. Balingen: Spitta.

WILHELM, T., GEBNER, T., SULEDE, M. & HEUER, D. (2003). Sportaktivitäten vielseitig analysieren und modellieren - Video und Messdaten multimedial aufbereitet. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 52(2), 23 – 30.

*Dr. Guido Klees ist Diplom-Biologe, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Didaktik der Biowissenschaften der Goethe-Universität Frankfurt am Main und in Nebentätigkeit Biologielehrer.*

*Prof. Dr. Thomas Wilhelm war Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik und ist Professor für Physikdidaktik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.*

*Prof. Dr. Christopher Heim war Gymnasiallehrer für Sport und Mathematik und ist Professor für Sportpädagogik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.*

*Sandra Zimmermann ist Diplom-Biologin und Doktorandin in der Didaktik der Biowissenschaften der Goethe-Universität Frankfurt am Main.*

*Michael Wenzel hat Gymnasiallehramt Mathematik/Physik studiert und ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Didaktik der Physik der Goethe-Universität Frankfurt am Main*