



Physik durch sportliche Experimente erfahrbar machen

–Rotationsbewegungen–

MARIO, KIRCHBERGER

MARIO.KIRCHBERGER@STUD.PLUS.AC.AT

Zusammenfassung

Das Experimentieren mit sportlichen Bewegungen bietet eine spannende Möglichkeit, Schüler*innen ein praktisches Verständnis für physikalische Konzepte zu vermitteln. Abstrakte Theorien können durch solche Experimente lebendig gestaltet und für Schüler*innen greifbar gemacht werden. Ebenso wird den Jugendlichen die Gelegenheit gegeben, die Prinzipien der Physik durch aktive Bewegung und Experimente am eigenen Körper zu erleben. Im Turnsaal können verschiedene Experimente durchgeführt werden, die Bewegung und Physik verknüpfen. Das fächerübergreifende Zusammenspiel von Sport und Physik ermöglicht Schüler*innen, die zugrundeliegenden Prinzipien der Lebenswelt praktisch zu erforschen. Durch aktive Bewegung können sie physikalische Konzepte erleben und ein tieferes Verständnis für die Verbindung zwischen Bewegung und den Gesetzen der Physik entwickeln. Die großen Raummaße bieten genügend Freiraum für Experimente und tragen so zu einem tieferen Verständnis von Physik als Unterrichtsfach und als Grundlage körperlicher Bewegungen bei.

1 Einleitung

Physik ist ein Unterrichtsfach, das eng mit unserer Lebenswelt verknüpft ist. Physik ermöglicht es uns, alltägliche Phänomene und Vorgänge zu verstehen. Von den Jahreszeiten über die Bedeutung der Sonne für unser Leben bis hin zu Naturerscheinungen wie Regenbögen und Bewegungsabläufen beim Sport - die Physik erklärt und beschreibt sie alle. Die Gesetze der Physik haben auch zu bedeutenden technologischen Fortschritten geführt. Aufgrund der einfachen Verbindung von Unterrichtsstoff und Lebenswelt der Schüler*innen sollte die Begeisterung der Lernenden für das Fach Physik einfach zu wecken sein. Nichtsdestotrotz gelingt dies nicht immer, da der Unterricht oft auf abstrakte Beispiele und mathematische Konzepte zurückgreift, die wenig Bezug zu den Erfahrungen der Schüler*innen herstellen. Doch gerade im Bereich der Mechanik bietet der Sport eine ideale Möglichkeit, physikalische Gesetzmäßigkeiten zu erforschen und eigene Erfahrungen zu sammeln, was zu einem besseren Lernerfolg führen kann (Duenbostl et al., 2005).

*„Ich höre und ich vergesse.
Ich sehe und ich erinnere mich.
Ich tue und ich verstehe“*

(Konfuzius, chinesischer Philosoph, 551 bis 479 v. Chr.)

2 Interesse an Physik

Die Anzahl der Studierenden im naturwissenschaftlich-technischen und im physikalischen Bereich ist in Österreich sehr gering. Dieser

Mangel wird besonders im Bereich Physik auf mangelndes Fachinteresse und vermeintliche Unbeliebtheit zurückgeführt. Eine Pilotstudie von Herbst et al. (2016) an Gymnasien in Salzburg zeigt, dass das Interesse an Physik gestiegen ist. Die Ergebnisse betonen, dass das Interesse stark vom Unterrichtskontext abhängt, wobei die Anwendungen von Physik im Bereich „Natur und Mensch“ bei beiden Geschlechtern beliebt sind (Herbst et al., 2016).

Nach Krapp (1992) wird das Interesse als eine stark subjektive und affektive Eigenschaft von Menschen betrachtet, die einen maßgeblichen Einfluss auf das schulische Lernen hat. In diesem Kontext wird zwischen individuellem und situativem Interesse unterschieden. Das individuelle Interesse ist eine relativ stabile Persönlichkeitseigenschaft, die die grundlegende Neigung einer Person zu einem bestimmten Thema oder Fachgebiet widerspiegelt. Im Gegensatz dazu bezeichnet das situative Interesse eine kurzfristige, spontane Interessantheit, die beispielsweise durch ansprechende Lehrmaterialien oder motivierende Unterrichtsmethoden ausgelöst werden kann. Beide Formen des Interesses beeinflussen die Lernleistung der Schüler*innen erheblich (Krapp, 1992).

Komplementär dazu wiesen die Ergebnisse von Mézes (2016) darauf hin, dass das Interesse an Physik weniger vom eigentlichen Thema selbst beeinflusst wird, sondern vielmehr von der Art und Weise, wie es im Unterricht präsentiert wird.

Dies legt nahe, dass Aspekte der Leistungsmotivation, wie der Wunsch, ein Experiment erfolgreich zu bewältigen, für die Schüler*innen motivierender ist als das Sachinteresse. Aufgrund dessen empfiehlt es sich, bei der Planung von Experimenten einen positiven Abschluss zu berücksichtigen (Mézes, 2016).

3 Zielsetzung

Aufbauend auf den vorherig genannten Aspekten der Interessensbildung an der Physik, sollte es Ziel des Unterrichts sein, physikalische Gesetzmäßigkeiten mit Bewegungen der Schüler*innen zu verbinden, um ihr Interesse am Fach bzw. der Thematik zu steigern. Schüler*innen sollen angeregt werden, sportliche Aktivitäten, die sie entweder selbst praktizieren oder beobachten, aus einer physikalischen Perspektive zu betrachten. So sollte ihnen ein tieferes Verständnis zu den physikalischen Konzepten vermittelt werden, die bei sportlichen Bewegungen eine Rolle spielen.

Im Physikunterricht sollen Schüler*innen deshalb motiviert werden, physikalische Phänomene in ihrem eigenen Erfahrungsbereich zu analysieren und zu verstehen, um so die Freude an der Physik zu entdecken. Das übergeordnete Ziel besteht darin, erlebnisorientiertes Lernen zu fördern, die Schüler*innen in ihrem Lernprozess zu unterstützen sowie ihre Neugier und ihr Interesse an den Naturwissenschaften zu wecken.

4 Vom Tun zum Verstehen

Der Artikel „Biomechanik im Sportunterricht erfahrbar machen“ von Schnur et al. (2019) dient als Grundlage für die Erklärung der Vorgänge des Schüler*innenverständnisses während des Prozesses „vom Tun zum Verstehen“. Schnur et al. (2019) beschreibt darin ein Projekt zum "Salto vorwärts" das im Rahmen des Unterrichtskonzepts "Vom Tun zum Verstehen" durchgeführt wurde. In zwei 90-minütigen Unterrichtseinheiten wurde versucht, durch sportpraktische Erfahrungen theoretische Hintergründe zu Bewegungsursache und -wirkung zu vermitteln und die Schüler*innen zur Auseinandersetzung mit biomechanischen Theorieansätzen zu motivieren. Das Projekt integrierte Lerneinheiten, Bewegungseinheiten und evaluierte den biomechanischen Kenntnisstand der Schüler*innen vor und nach den Unterrichtseinheiten mittels Fragebögen.

Die Ergebnisse zeigten eine Steigerung des Fachwissens und auch positive Effekte auf das Interesse in Bezug auf physikalische Inhalte. Das Projekt erhielt positive Resonanz von Fachlehrer*innen, die es als sinnvoll bewerteten. Die Autor*innen empfehlen, derartige Projekte vermehrt durchzuführen, um Schüler*innen die Möglichkeit zu geben, physikalische Phänomene am eigenen Körper zu erleben und besser zu verstehen. Es wird betont, dass der Unterricht nicht nur kognitive Fähigkeiten vermitteln soll, sondern Schüler*innen auch durch eigene Erfahrungen und Einsichten zum Erwerb von fachübergreifenden Kompetenzen motivieren könne (Schnur et al., 2019).

Basierend auf diesen Grundlagen präsentiert die vorliegende Forschungsarbeit nun ein Konzept zur Erforschung der physikalischen Inhalte von Rotationsbewegungen im Unterricht, die im Rahmen sportlicher Experimente erarbeitet werden.

5 Rotationsbewegungen

Zunächst sollte der Begriff „Rotationsbewegungen“ und deren Arten definiert werden. Grundsätzlich lassen sich Bewegungen in Rotationsbewegungen und Translationsbewegungen unterteilen. Rotationsbewegungen umfassen Drehbewegungen, bei denen es sich entweder um eine Rotation um eine Drehachse handelt, wie beispielsweise bei einer Pirouette, oder um eine Rotation um einen Drehpunkt außerhalb des Körpers, wie es beim Turnen an der Reckstange der Fall ist. Translationsbewegungen hingegen beziehen sich auf fortschreitende Bewegungen, bei denen sich alle Punkte eines Körpers entlang einer geraden oder gekrümmten Bahn mit derselben Streckenlänge bewegen, wie es beispielsweise bei einer Skiabfahrt der Fall ist (Knirsch, 2000).

Der Unterschied zwischen einer Rotation und einer Translation wird folgendermaßen von Schwameder et al. (2013, S. 128) genauer definiert: „Im Gegensatz zur Translation ist die Rotation definiert als Bewegung, bei der alle Punkte eines Körpers in derselben Zeit den gleichen Winkel (φ) durchstreichen.“

Bei den meisten menschlichen Bewegungen handelt es sich jedoch um eine Mischform aus Rotation und Translation. Besonders beim Geräteturnen drehen Körper um verschiedene Drehachsen.

Laut Knirsch (2000) wird zwischen festen, momentanen und freien Drehachsen (siehe Abb. 1) unterschieden:

- feste Drehachse: Reck oder Stufenbarren
- momentane Drehachse: Bodenturnen; Rolle vorwärts oder rückwärts
- freie Drehachse: Bodenturnen Salto vorwärts oder rückwärts; Drehung um den Körperschwerpunkt

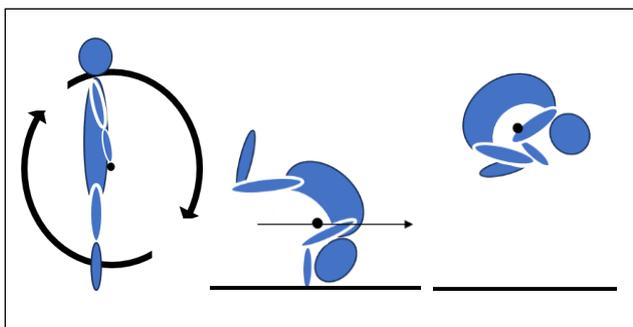


Abb. 1 – Drehachsen (eigene Darstellung)

Der menschliche Körper wird in drei Drehachsen unterteilt: Breitenachse, Tiefenachse und Längsachse (siehe Abb. 2). Somit können Bewegungen unter biomechanischen Gesichtspunkten beschrieben werden (Knirsch, 2000).

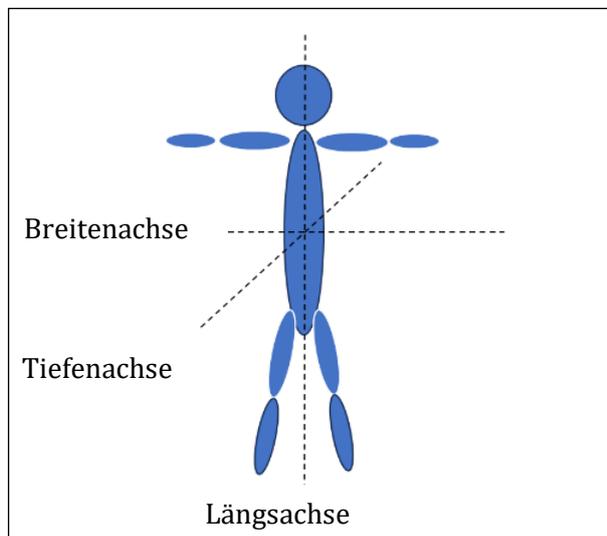


Abb. 2 – Drehachsen des menschlichen Körpers (eigene Darstellung)

Betrachtet werden nun die wichtigsten Drehbewegungen des menschlichen Körpers über verschiedene Drehachsen. Das Gesamtträgheitsmoment variiert je nach Körperhaltung und Drehachsen.

Breitenachse		Längsachse		Tiefenachse
Gestreckte Haltung	Gehockte Haltung	Angezogenen Armen	Gestreckten Armen	Gestreckte Haltung
10,5-13 kgm^2	4-5 kgm^2	1-1,4 kgm^2	2-2,5 kgm^2	12-14 kgm^2

Tab. 1 – Selbst erstellte Tabelle: Trägheitsmomente beim Menschen (nach Mathelitsch & Thaller, 2015)

Eine Drehbewegung um die Breitachse entspricht nun einer Rolle vorwärts oder rückwärts oder einem Salto. Bei gestreckter Haltung treten große Massenträgheitsmomente auf, weil die Teilmassen relativ weit von der Drehachse entfernt sind. Diese lassen sich durch eine gehockte Haltung näher zur Drehachse bringen und somit lässt sich das Trägheitsmoment wesentlich reduzieren. Bewegungen um die Längsachse entsprechen nun Pirouetten. Eine Drehung um die Tiefenachse wäre zum Beispiel ein Rad (Mathelitsch & Thaller, 2015).

6 Drehung um verschiedene Achsen

Als erste Aufgabe zum Erfahrbarmachen der Physik werden im Unterricht Bewegungen um verschiedene Drehachsen durchgeführt. Mithilfe der folgenden Beispiele wird dies verdeutlicht: das Rad für die Drehung um die Tiefenachse; ein Sprung mit ganzer Drehung für die Drehung um die Längsachse; und das Vorwärtsrollen für die Drehung um die Breitenachse. Gezielte Übungen wie kontrolliertes Rollen und Sprungkombinationen können ebenso verwendet werden, um die verschiedenen Drehachsen des menschlichen Körpers kennenzulernen.

Massenträgheit erfahrbar machen

Im Turnsaal können Schüler*innen nun die Massenträgheit durch gezielte Übungen erfahren. Ein Beispiel ist eine seitliche Rolle und eine Rolle vorwärts auf dem Boden (siehe Abb. 3).

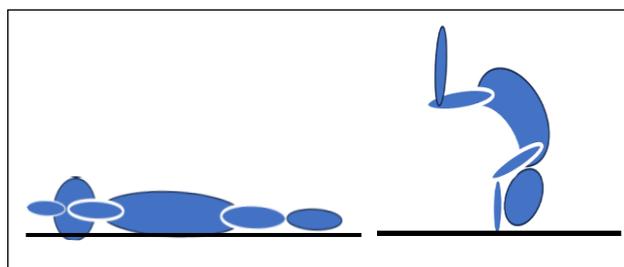


Abb. 3 – Drehung um die Längsachse und die Breitenachse (eigene Darstellung)

Ein weiteres Beispiel (siehe Abb. 4) ist das Rückwärtsdrehen an Ringen mit gebeugter und gestreckter Körperhaltung.

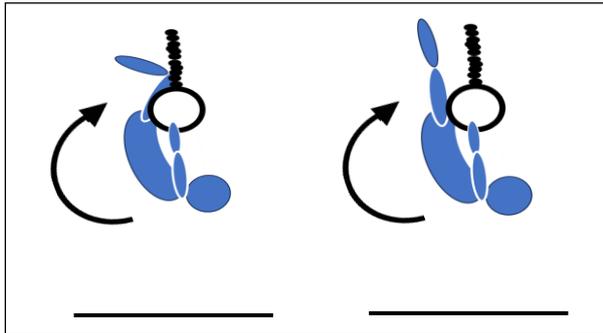


Abb. 4 – Drehung mit verschiedenen Trägheitsmomenten (eigene Darstellung)

Diese Übungen ermöglichen es den Schüler*innen, die Auswirkungen der Massenträgheit auf Bewegungen zu erfahren und zu verstehen. Eine abschließende Reflexion und Diskussion, über die Veränderung der Rotation bei unterschiedlich weit entfernten Massen von der Drehachse, diene hier dem Verständnis der Lernenden maßgeblich. Denn, Ziel ist, das theoretische Verständnis, dass eine Entfernung der Masse von der Drehachse eine Erhöhung des Trägheitsmomentes erzeugt, zu verstehen. Durch diese Reflexion soll eine Verknüpfung von praktischen Erfahrungen mit theoretischem Wissen erfolgen.

Formelzusammenhang:

$$J = m \cdot r^2$$

Das Massenträgheitsmoment (J) beschreibt analog zur Masse bei Translation die Trägheit eines Körpers bei einer Rotationsbewegung. Das Massenträgheitsmoment berechnet sich aus der Masse (m) mal dem Quadrat des Normalabstands (r) zur Drehachse (Schwameder et al., 2013).

Zur Nachbearbeitung der Inhalte sind folgende Fragen für Schüler*innen hilfreich:

Welcher Unterschied besteht zwischen dem seitlichen Rollen und dem Vorwärtsrollen?

A: Beim seitlichen Rollen dreht sich der Körper um seine Längsachse, während beim Vorwärtsrollen der Körper um seine Breitenachse rollt. Eine Rolle vorwärts ist schwieriger zu drehen als eine Rolle seitlich.

Welcher Unterschied besteht bei einer Drehung mit angezogenen Beinen im Gegensatz zu gestreckten Beinen? (Ringturnen)

A: Bei einer Drehung mit angezogenen Beinen verringert sich das Trägheitsmoment des Körpers, da die Masse näher an der Drehachse liegt. Dadurch wird Drehung leichter durchführbar. Bei gestreckten Beinen ist das Trägheitsmoment größer, da die Masse weiter von der Drehachse entfernt ist, was zu einer schwierigeren Durchführung der Rotation führt.

Begründe physikalisch, warum bei der Veränderung der Masse von der Drehachse unterschiedliche Erfahrungen auftreten.

A: Die unterschiedlichen Erfahrungen bei der Veränderung der Masse von der Drehachse beruhen auf dem physikalischen Prinzip des Trägheitsmoments. Wenn die Masse näher an der Drehachse liegt, verringert sich das Trägheitsmoment. Wenn die Masse weiter von der Drehachse entfernt ist, erhöht sich das Trägheitsmoment. Dies liegt daran, dass das Trägheitsmoment direkt proportional zum Quadrat des Abstands der Masse von der Drehachse ist.

7 Drehimpuls und Massenträgheitsmoment

Der Drehimpulserhaltungssatz gilt analog zum Impulserhaltungssatz für translatorische Bewegungen. Der Drehimpuls ist eine Erhaltungsgröße, das heißt der Drehimpuls bleibt konstant in einem abgeschlossenen System. Voraussetzung dafür ist ein abgeschlossenes System, indem kein Energie- oder Materienaustausch stattfindet. Der Drehimpulserhaltungssatz ist ein grundlegendes Naturgesetz und besitzt sowohl auf makroskopischer als auch auf mikroskopischer Ebene Gültigkeit (Tipler & Mosca, 2015).

Der Drehimpuls (L) beschreibt eine rotatorische Bewegung, welche analog zum translatorischen Impuls als das Produkt von Massenträgheitsmoment (J) mal Winkelgeschwindigkeit (ω) definiert ist (Schwameder et al., 2013).

$$L = J \cdot \omega$$

Im Unterricht bieten sich die Ringe an, um den theoretischen Zusammenhang zwischen Drehimpuls und Massenträgheitsmoment durch eine praktische Demonstration zu verdeutlichen.

Besonders aufschlussreich wird die Demonstration beim Eindrehen der Schüler*innen. Hier

wird das Massenträgheitsmoment, dass die Verteilung der Masse im Körper widerspiegelt, gezielt verändert. Durch das Einnehmen unterschiedlicher Körperhaltungen wird das Trägheitsmoment variiert, was wiederum zu einer Anpassung der Winkelgeschwindigkeit führt (siehe Abb. 5). Die mathematische Beziehung $L = J \cdot \omega$ wird hierbei greifbar, wenn die Schüler*innen erkennen, dass eine Abnahme des Massenträgheitsmoments zu einer Zunahme der Winkelgeschwindigkeit führt und umgekehrt.

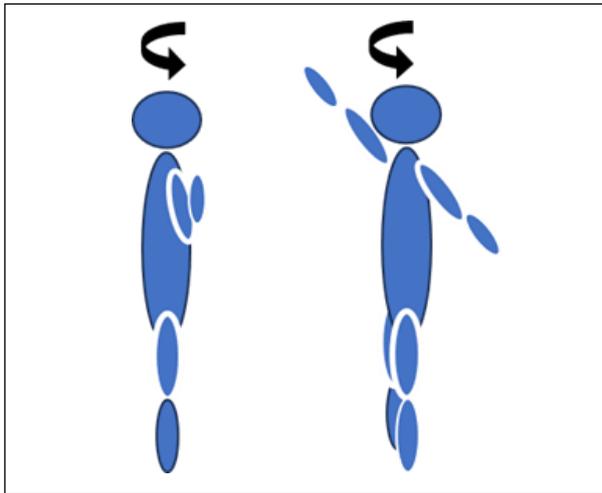


Abb. 5 –Je nach Körperhaltung variiert das Trägheitsmoment (eigene Darstellung)

Diese Demonstration ermöglicht den Schüler*innen nicht nur ein tieferes Verständnis für die abstrakten Konzepte von Drehimpuls und Massenträgheitsmoment, sondern fördert auch ihre Fähigkeit, diese Prinzipien in realen Bewegungssituationen zu erkennen und zu interpretieren.

Folgende Fragen zur Nachbearbeitung sind für das Verständnis der Schüler*innen bedeutend:

Durch welche Bewegungen kannst du dein Trägheitsmoment erhöhen?

A: Das Trägheitsmoment kann durch Bewegungen erhöht werden, bei denen die Masse weiter von der Drehachse entfernt ist.

Wenn du dein Trägheitsmoment erhöhst, was passiert mit deiner Winkelgeschwindigkeit ($L = \text{konst}$)?

A: Wenn das Trägheitsmoment erhöht wird, verringert sich die Winkelgeschwindigkeit, um den Drehimpuls konstant zu halten.

9 Weitere Implikationen für den Unterricht

Dieser Ansatz bietet neben den sportlichen Aspekten die Möglichkeit, ein lebensnahes und erfahrbares Verständnis für Rotationsbewegungen und die physikalischen Konzepte des Drehmoments zu vermitteln. Neben dem Geräteturnen gibt es eine weitere effektive Methode, um Schüler*innen ein solches Verständnis zu vermitteln: die Erklärung der grundlegenden Prinzipien anhand physischer Erfahrungen. Zum Beispiel kann die Veränderung der Masse eines Körpers bei einer Rotation demonstriert werden.

Im Unterricht könnte dies durchgeführt werden, indem sich ein Schüler oder eine Schülerin bereit erklärt, sich auf einen Drehstuhl zu setzen und eine Hantel oder einen anderen schweren Gegenstand in ausgestreckter Armposition hält. Wenn die Schülerin oder der Schüler die Hantel nahe am Körper hält, verringert sich das Trägheitsmoment und die Rotationsgeschwindigkeit steigt. Wenn sie oder er jedoch die Hantel weit von sich weghält, erhöht sich das Trägheitsmoment und die Rotationsgeschwindigkeit verringert sich, wodurch sich der Stuhl langsamer dreht. Durch solche Alltagsbeispiele können Schüler*innen die Bedeutung des Trägheitsmoments auf einfachste Weise verstehen und seine Auswirkungen auf Rotationsbewegungen nachvollziehen. In der Oberstufe sollte dieser Zusammenhang theoretisch mit der Formellehre vertieft werden.

8 Didaktische Probleme

Die Integration fächerübergreifenden Unterrichts, insbesondere von Bewegung und Sport mit Physik, birgt einige Herausforderungen, die sorgfältige Planung und strategische Lösungsansätze erfordern. Ein zentrales Problem liegt oft in den Kompetenzen und Berechtigungen der Lehrpersonen, speziell für jene, die nicht im Fach Bewegung und Sport ausgebildet sind. Es gibt beim Verwenden von Turngeräten rechtliche Anforderungen, die es zu erfüllen gilt, beispielsweise beim Aufbau von Gerätschaften oder der Durchführung von Übungen an Sportanlagen.

Der zeitliche Aspekt spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle. Der Wechsel zwischen verschiedenen Orten und die Einhaltung von Vorschriften können den Zeitrahmen einer Unterrichtseinheit stark einschränken. Effizientes Zeitmanagement ist daher unerlässlich, um die geplanten Aktivitäten innerhalb des festgelegten Zeitfensters durchzuführen.

Die Verwendung von Bewegungsinhalten stellt eine weitere Herausforderung dar. Lehrpersonen müssen entscheiden, welche Bewegungen die Schüler*innen problemlos durchführen können und welche vermieden oder sogar ausgelassen werden sollten, um keine Gefahrensituationen zu erzeugen. Die Integration von Sport in den Physikunterricht kann eine Möglichkeit bieten, die Inhalte in einen größeren Zusammenhang zu stellen und so eine ganzheitliche Bildung zu fördern (Hübl, 2017).

Eine Herausforderung stellt wohl die inhaltliche Vermittlung von Physik mithilfe verschiedener Bewegungen dar. Diese sollte bereits vorher im Unterricht besprochen werden und nach den Übungen im Turnsaal nachbesprochen werden. Es sollte Physik im Vordergrund sein und nicht das Erlernen von neuen Bewegungen. Für die Lehrperson muss die Wahl getroffen werden, inwieweit man ein Thema genauer behandelt und inwieweit man es abkürzt. Eine Verbindung von Physik- und Sportunterricht ist natürlich mit einem Mehraufwand an Vorbereitung, Nachbereitung und Unterrichtszeit verknüpft. Die Umsetzung empfiehlt sich für Klassen, die sowohl in Physik als auch in Bewegung und Sport unterrichtet werden, denn das grundlegende Hintergrundwissen zu den motorischen Fähigkeiten besitzt die Sportlehrperson.

9 Zusammenfassung

Die Arbeit behandelt das pädagogische Konzept „Vom Tun zum Verstehen“ mit dem Ziel Physikunterricht durch gezielte Rotationsbewegungen im Turnsaal erfahrbar zu machen. Das Thema ist in drei Lektionen strukturiert. Die Fokussierung liegt auf der Anwendung wissenschaftlicher Prinzipien auf sportliche Bewegungen, insbesondere der Rotation um die Achse des menschlichen Körpers, des Trägheitsmoments und des Drehimpulses. Die zugrundeliegende wissenschaftliche Theorie sollte vorher von der Lehrperson eingeführt werden, der Hauptakzent zielt aber darauf, dass Schüler*innen diese Prinzipien durch eigene Körpererfahrung verstehen. Nach den Lektionen sollten grundlegende Fragen und Bewegungen anhand von wissenschaftlichen Grundlagen reflektiert werden. Das vorliegende Konzept zielt auf die 10. Schulstufe ab und verspricht, Schüler*innen auf innovative Weise die Fächer Physik und Sport zu verknüpfen, indem es Theorie und Praxis geschickt verbindet. Dies

sollte sich auch positiv auf das Interesse und die Motivation im Physikunterricht auswirken.

10 Literatur

- Duenbostl, O. M. T., Pindur, M. G., & Wallisch, M. G. (2005). *Physik und Sport*. MNI-Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung. https://www.imst.ac.at/imst-wiki/images/8/8f/71_Langfassung_Duenbostl.pdf (17.02.2024)
- Herbst, M., Fürtbauer, E. M., & Strahl, A. (2016). *Interesse an Physik - in Salzburg*. PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.
- Hübl. (2017). *Evaluation zur Durchführung des Konzeptes "Praxisorientierte Biomechanik im Sportunterricht - vom Tun zum Verstehen" anhand zweier Unterrichtsbeispiele*. Salzburg. <https://docplayer.org/37599125-Biomechanik-im-sportunterricht-erfahrbar-machen-vom-tun-zum-verstehen.html> (17.02.2024)
- Krapp, A. (1992). *Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie*. Zeitschrift für Pädagogik, 38(5). Münster: Aschendorff.
- Knirsch, K. (2000). *Lehrbuch des Gerät- und Kunstturnens: Technik und Methodik in Theorie und Praxis für Schule und Verein* : 1 (4. Aufl. ed.): CD-Verl.-Ges. Knirsch. Böblingen: CD-Verlg.-Ges.
- Mathelitsch, L., & Thaller, S. (2015). *Physik des Sports*. Weinheim: John Wiley & Sons.
- Mézes, C. (2016). *Zur Motivation beim Experimentieren im Physikunterricht*. https://phsg.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/53/file/Dissertation_CMezes.pdf (17.02.2024)
- Mück, T. & Wilhelm, T. (2009). *Physik und Sport-Fächer verbindender Unterricht mit moderner Videoanalyse*.
- Schnur, A., Schwameder, H., & Stadler, R. (2010). *Biomechanik im Sportunterricht erfahrbar machen: "vom Tun zum Verstehen"*. Schorndorf: Hofmann.

Schwameder, H., Alt, W., Gollhofer, A., & Stein, T. (2013). *Struktur sportlicher Bewegung–Sportbiomechanik*. In Sport (pp. 123-169). Berlin, Heidelberg: Springer.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2015). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, 7. Auflage*. Heidelberg: Springer Spektrum.