



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Multimedial unterstütztes Lehren und Lernen im Physik-
und Sportkundeunterricht“

Verfasser

Roman Brunner

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt.
Studienblatt:

A 190 412 482

Studienrichtung lt.
Studienblatt:

Lehramtstudium UF Physik UF Bewegung und Sport

Betreuerin / Betreuer:

> Univ.- Prof. Dipl.- Ing. Dr. Arnold Baca <

Eidesstattliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde daher weder an einer anderen Stelle eingereicht, noch von anderen Personen vorgelegt.“

Wien, am

(Unterschrift Verfasser)

Vorwort

Dieses Projekt bildet für mich den Abschluss eines für mich sehr wichtigen Lebensabschnitts. An dieser Stelle möchte ich mich sehr bei Mag. Dr. Roland Leser bedanken, welcher mir angeboten hat an diesem interessanten Projekt mitarbeiten zu dürfen, sowie bei Mag. Franz Mairinger, der mir während der Projektarbeit ebenfalls stets helfend zur Seite stand. Die Unterrichtsfächer Bewegung und Sport und Physik waren schon immer meine Lieblingsfächer in der Schule, und so freut es mich, dass ich beide Fächer durch diese Diplomarbeit miteinander in Verbindung bringen durfte. Weiters bedanken möchte ich mich deshalb bei Univ.- Prof. Dipl.- Ing. Dr. Arnold Baca, da er mich durch seine Vorlesungen stets für eine fächerübergreifende Thematik begeistern konnte.

Außerdem möchte ich noch einen herzlichen Dank aussprechen bei ...

... meinen Eltern, welche mich immer mental und finanziell unterstützt haben und immer zu mir gehalten haben,

... meiner Schwester, welche mir (vor allem in schwierigen Zeiten) ebenso stets viel Kraft und Vertrauen gegeben hat,

... meiner restlichen Familie und meinen Freunden, welche auch stets Verständnis für meine schwierigen Zeiten während des Studiums hatten.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
1 EINLEITUNG	6
1.1 SPARKLING SCIENCE.....	6
1.2 PROJEKT <i>eLEARNING IM SPORTKUNDE- UND PHYSIKUNTERRICHT</i>	6
1.3 KAPITELÜBERSICHT.....	7
2 MEDIEN IM PHYSIKUNTERRICHT	9
2.1 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND KLASSIFIKATIONEN.....	9
2.1.1 <i>Medium, Medienpädagogik, Mediendidaktik</i>	9
2.1.2 <i>Klassifikationsschemata für Medien</i>	11
2.2 GRUNDLAGENWISSEN ZUM MEDIENEINSATZ	12
2.2.1 <i>Wahrnehmung und Gedächtnis</i>	12
2.2.2 <i>Symbolsysteme</i>	15
2.2.3 <i>Bildhafte Darstellungen</i>	16
2.3 BILDMEDIEN IM PHYSIKUNTERRICHT.....	19
2.3.1 <i>Funktion von Bildern</i>	19
2.3.2 <i>Unterrichten mit Bildmedien</i>	22
2.4 LERNEN MIT TEXTEN IM PHYSIKUNTERRICHT.....	23
2.4.1 <i>Modelle zum Textverstehen</i>	23
2.4.2 <i>Verstehen versus Lernen</i>	27
2.4.3 <i>Konsequenzen aus den Modellen zum Textverstehen</i>	28
2.4.4 <i>Klassische Ansätze zur Gestaltung der Textoberfläche: Lesbarkeit und Verständlichkeit</i>	29
3 LERNEN MIT MULTIMEDIA IM PHYSIKUNTERRICHT	32
3.1 WAS IST MULTIMEDIA?.....	32
3.2 LERNEN MIT COMPUTERBASIERTER MULTIMEDIA IM PHYSIKUNTERRICHT.....	33
3.3 KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUM LERNEN MIT MULTIMEDIA.....	34
3.3.1 <i>Cognitive Load Theorie</i>	34
3.3.2 <i>Generative Theorie des Multimedialernens nach Mayer</i>	36
3.3.3 <i>Integratives Modell nach Schotz</i>	40

3.4	LERNFÖRDERLICHE GESTALTUNG VON MULTIMEDIA.....	42
3.5	UMGANG VON SCHÜLER- UND LEHRER(INNEN) MIT MULTIMEDIA.....	44
4	BESCHREIBUNG DER LERNMODULE.....	46
4.1	MODUL TRÄGHEITSMOMENT.....	46
4.1.1	Lernblock „Das Scheibenwettrennen“.....	46
4.1.2	Lernblock „Drehsesselexperiment mit Gewichten“.....	54
4.1.3	Zusatzaufgaben / Zusatzmaterial.....	61
4.2	MODUL DREHIMPULSERHALTUNG.....	65
4.2.1	Lernblock „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 1“.....	65
4.2.2	Lernblock „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 2“.....	74
4.2.3	Zusatzaufgaben / Zusatzmaterial.....	81
4.3	MODUL DREHMOMENT.....	92
4.3.1	Lernblock „Einseitiger Hebel“.....	93
4.3.2	Lernblock „Zweiseitiger Hebel“.....	98
4.3.3	Zusatzaufgaben / Zusatzmaterialien.....	103
4.4	MODUL TRÄGHEITSKRÄFTE.....	118
4.4.1	Lernblock „Corioliskraft“.....	119
4.4.2	Lernblock „Snowboard fahren“.....	127
4.4.3	Zusatzaufgaben / Zusatzmaterial.....	134
	LITERATURVERZEICHNIS.....	140
	LEBENS LAUF.....	141

1 Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit wurde im Rahmen des Projekts *eLearning im Sportkunde- und Physikunterricht* konzipiert, wobei es sich um ein Forschungsprojekt der Initiative *Sparkling Science* handelt.

1.1 Sparkling Science

Bei *Sparkling Science* handelt es sich um ein Forschungsprogramm des österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung, dessen hauptsächliches Anliegen es ist, den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Im Rahmen dieser Initiative arbeiten Wissenschaftler(innen) Seite an Seite mit Schüler(inne)n an verschiedensten (Schul-) Forschungsprojekten. Diese Zusammenarbeit geschieht dabei in Form von gemeinsam konzipierten Fachbereichsarbeiten, Maturaprojekten und Diplomarbeiten. Eines dieser vielen Projekte des Forschungsprogramms (mittlerweile sind es 168 Projekte, Stand Jänner 2012) ist das Forschungsprojekt „eLearning im Sportkunde- und Physikunterricht“.

1.2 Projekt *eLearning im Sportkunde- und Physikunterricht*

Die inhaltliche Schwerpunktsetzung dieses Projekts (Projektleitung Univ. Prof. DI. Dr. Arnold Baca) bestand darin, ausgewählte Grundlagenwissensbestände der Sportwissenschaft (vor allem der Teildisziplinen Biomechanik, Sportinformatik und Bewegungswissenschaft) in eLearning-kompatible Lernobjekte (Learning Objects) zu transformieren. Hintergedanke dabei war, dass hochwertige Online-Lernmaterialien den Präsenzunterricht sinnvoll ergänzen und (im Notfall) auch ersetzen können. Vor allem Schüler(innen) in Schulen mit sportlichem Schwerpunkt sind des Öfteren in internationalen oder nationalen Wettkämpfen im Einsatz und verabsäumen deshalb häufiger den Präsenzunterricht in den Klassenräumen. Hier zeigen sich Online-Lernobjekte, wenn didaktisch gut aufbereitet, als sinnvoller Ersatz für den Präsenzunterricht, da sie unabhängig von Zeit und Ort von den Jugendlichen genutzt werden können.

Partnerschulen für dieses Projekt waren das BG Parhamerplatz (Wien), das BG/BRG Rosasgasse (Wien) und die Liese Prokop Privatschule für Hochleistungssportler (Niederösterreich). Die Einbindung der Schüler(innen) in die Projektarbeit erfolgte dabei auf allen Ebenen des Geschehens. Dabei schlugen die Jugendlichen unter anderem

mögliche Unterrichtsinhalte vor, welche aus ihrer Sicht lohnend für eLearning-Lernobjekte wären. Auch wurden von den Besucher(inne)n der Projektpartnerschulen nützliche Materialien in Form von Rohvideos zur Verfügung gestellt, welche von den Studierenden schließlich zu didaktisch gut aufbereiteten multimedialen Lernobjekten weiterverarbeitet wurden. Anschließend wurde die Projektergebnisse von den Schüler(inne)n in der Praxis erprobt und evaluiert, wobei zum Teil auch sehr gute Verbesserungsvorschläge für einzelne Lernobjekte ausgearbeitet wurden.

Die in dieser Diplomarbeit vorgestellten Multimediaobjekte behandeln die physikalische Thematik *Rotationen*. Dabei kann es sich um rotierende starre Körper, oder um rotierende Personen handeln. Jeder Lerninhalt sollte dabei auf zwei Videos (einer *Aufgabe* und einer *Lösung*) aufbereitet werden. Die Aufgabe soll die betrachtenden Personen dabei auf die spezifische physikalische Problemstellung hinführen und bearbeitbare Aufgabenstellungen geben. In der Lösung werden anschließend die Fragestellungen aus dem Aufgabenvideo beantwortet. *Aufgabe* und *Lösung* gemeinsam bilden einen sogenannten Lernblock. Des Weiteren gibt es zu jedem Lernblock noch etwaige Zusatzaufgabenstellungen oder Zusatzmaterial, welche sich auch speziell auf die Videos beziehen können, aber nicht müssen.

Lernblöcke, welche inhaltlich/thematisch zusammengefasst werden können, bilden ein sogenanntes Lernmodul. Die Inhalte der Lernmodule zum Thema *Rotation* sind in Kapitel 4 dieser Arbeit ausführlich beschrieben.

1.3 Kapitelübersicht

In Kapitel 2 (Medien im Physikunterricht) werden zunächst einige Begriffsbestimmungen durchgeführt. Auch werden die unterschiedlichen Medien anhand ihrer Charakteristika klassifiziert. Im weiteren Verlauf des Kapitels wird im Speziellen auf Bilder und Texte im Physikunterricht genauer eingegangen. Das ist deshalb so wichtig, da die in dieser Arbeit vorgestellten Lernvideos (Kapitel 4) sehr viel mit Texten und (Stand-) Bildern arbeiten.

Kapitel 3 gibt anschließend einen theoretischen Überblick über Multimedia. Zu Beginn wird darin der Versuch unternommen, den Begriff *Multimedia* einheitlich zu definieren. Anschließend sind die wichtigsten Theorien zum Multimedialernen dargestellt, da diese in den Überlegungen während der praktischen Projektarbeit sehr relevant waren. Dieses

Kapitel soll also aufzeigen, wie Multimedia auf lernende Personen wirkt und wie mit multimedialen Lernobjekten best möglichst umgegangen und gelernt werden sollte.

Im abschließenden Kapitel 4 ist die praktische Umsetzung der Projektarbeit, mit Hilfe einiger Screenshots zu jedem Lernblock, beschrieben und dargestellt.

2 Medien im Physikunterricht

Medien kommen im (Physik-) Unterricht schon immer in den unterschiedlichsten Formen zum Einsatz. Egal ob Experimente, Bücher, Arbeitsblätter, „neue“ Medien oder die Tafel – Medien als Mittler von Information spielen nicht nur im Physikunterricht seit Jahren eine entscheidende Rolle im Schulwesen. (Girwidz, 2009, S. 203)

Girwidz (2009, S. 204) führt weiter an, dass den meisten Physiklehrer(inne)n die technische Seite eines solch medienbeladenen Unterrichts kaum Probleme bereitet. Vielmehr sind sich Lehrkräfte unsicher darüber, wie sie Medien konstruktiv im Unterricht einsetzen können, um den Schüler(inne)n Denkanstöße zu geben oder um sie zu motivieren.

Des Weiteren führt der Autor (2009, S. 204) an, dass trotz der rasanten technischen Entwicklung auch die neuesten Unterrichtsmedien vorwiegend Bild, Text und Ton als Ausdrucksmittel verwenden. Eine Lehrkraft müsse mit diesen Ausdrucksmitteln kompetent umgehen können, um diese im Unterricht wirkungsvoll einsetzen zu können.

Girwidz (2009, S. 204) betont außerdem, dass Medien vor allem dazu dienen, ein Lernziel zu erreichen. Medien bleiben demnach in erster Linie ein Mittel zum Zweck, so dass deren Einsatz im Unterricht erst durch die angestrebten Lernziele und ein adäquates methodisches Grundkonzept legitimiert wird.

2.1 Begriffsbestimmungen und Klassifikationen

In diesem Kapitel werden nun einige Begriffsbestimmungen vorgenommen, welche ein wichtiges Verständnis für die praktischen Inhalte dieser Arbeit geben sollen.

2.1.1 Medium, Medienpädagogik, Mediendidaktik

Girwidz (2009, S. 205) definiert Medien als „Mittler, die Informationen übertragen können.“ Dabei schließt der Autor (Girwidz, 2009, S. 205) die Lehrkräfte als Medien aus, und schränkt damit Unterrichtsmedien wie folgt ein: „Unterrichtsmedien sind nichtpersonale Informationsträger. Sie sind Hilfsmittel für den Lehrer oder Lernmittel in der Hand des Schülers.“

Schilling (1978, zit. n. Müller, 2006, S. 17) unterscheidet hingegen zwischen personellen und nicht personellen Medien. Eine Person wird zu einem personellen Medium, wenn sie Informationen vermittelt. Beispiele sind unter anderem Lehrer(innen), Professor(inn)en oder Referent(inn)en.

Nach Kirsch (1984, zit. n. Müller, 2006, S. 17) kann man die nichtpersonellen Medien noch in einfache und technische Medien unterscheiden. Als einfache Medien können beispielsweise die Tafel, das Plakat oder Fotos genannt werden.

Technische Medien sind nach Kirsch (1984, zit. n. Müller, 2006, S. 17) audio-visuelle Medien, welche für ihre Präsentation technische Apparate und Geräte brauchen (Tonband, Videoband, Dias etc.).

Girwidz (2009, S. 206) verwendet für technische Medien den Begriff AV-Medien. Nach Girwidz (2009, S. 206) steht dieser Begriff „für technische Informationsquellen oder –träger, die Informationen auditiv und / oder visuell übermitteln.“

Auf die genauen Klassifikationsschemata von Medien wird in Kapitel 2.1.2 näher eingegangen.

Hopf, Schecker und Wiesner (2011, S. 115) weisen darauf hin, dass Medien nicht nur Informationen übertragen können, sondern auch weitere wichtige Funktionen übernehmen bzw. unterstützen können: So können sie zum Beispiel motivieren, Schüler(innen) individuell fördern, Bezüge zum Alltag herstellen, Lerninhalte veranschaulichen und vieles mehr.

Auch für Abstraktionen oder Modellvorstellungen können Medien sehr hilfreich sein. Die Teilchenbewegung eines idealen Gases kann beispielsweise nicht direkt aus der Natur beobachtet, jedoch mit Computerprogrammen oder Bildern sehr gut simuliert werden. (Hopf, Schecker & Wiesner, 2011, S. 115)

Girwidz (2009, S. 206) führt an, dass Medien selbst zum Unterrichtsgegenstand werden können. Auch die Jugendlichen bzw. die Lernenden müssen zu einem verantwortungsvollen Umgang mit Medien erzogen werden. Dabei müsse man Mediendidaktik und Medienpädagogik deutlich voneinander abgrenzen.

Nach Schröder und Schröder (1989, zit. n. Girwidz, 2009, S. 206) ist Mediendidaktik „eine wissenschaftliche Teildisziplin (der Didaktik), die sich mit den theoretischen Grundlagen

und den praktischen Einsatzmöglichkeiten von Medien beim Lehren und Lernen im Unterricht beschäftigt.“

Die Medienpädagogik legt nach Schröder und Schröder (1989, zit. n. Girwidz, 2009, S. 206) ihr Hauptaugenmerk jedoch auf „die Erziehung des Heranwachsenden zu einem kritischen Umgang mit den Medien.“

Diese Arbeit richtet sich vielmehr auf die Mediendidaktik, weshalb in weiterer Folge die Medien als Lehr- und Lernhilfe näher beleuchtet werden.

2.1.2 Klassifikationsschemata für Medien

Hopf, Schecker und Wiesner (2011, S. 115) geben an, dass sich frühere Klassifikationen von Medien hauptsächlich an technischen und äußeren Aspekten orientierten. Zwar würden Bücher, Poster, Diapositive oder Computer alle das gleiche Bild wiedergeben, doch eine Trennung nach der Hardware kann dennoch sinnvoll sein, da jede Technik einen unterschiedlichen Vorbereitungs- und Arbeitsaufwand voraussetzt.

Girwidz (2009, S. 206 ff.) führt drei Klassifikationsschemata weiter aus:

Klassifikation nach technischen Aspekten

- Tafel, Atlas, Buch, Karte und Text werden als sogenannte vortechnische Medien bezeichnet.
- Die technischen Medien wiederum kann man unterscheiden in
Tonmedien (Rundfunk, Kassettenrekorder),
Bildmedien (Diaprojektor, Arbeitsprojektor, Filmprojektor)
und *audiovisuelle Medien* (Fernsehen, Videorecorder, Computer).

Klassifikation nach Informationskanal

Diese Unterscheidung stellt in den Vordergrund, welcher Informationskanal genutzt wird und welche Sinnesbereiche das Medium anspricht. Somit unterscheidet man zwischen visuellen, auditiven, audiovisuellen und haptischen Medien.

Klassifikation nach didaktisch-methodischen Aspekten

Ein Text kann eine breite Palette unterschiedlicher Aktivitäten erschließen: gemeinsames Lesen, Hervorheben wichtiger Aussagen, Zusammenfassungen schreiben, Aussagen diskutieren usw. Auch Bilder werden nicht einfach nur angestarrt: sie werden erläutert, interpretiert und diskutiert. Entscheidend für die Lernfortschritte der Schüler(innen) sind vielmehr die Handlungsformen. Es kommt nicht auf die Frage an, ob Tafel oder Overhead das bessere Medium ist, sondern wie die Medien in den Lehr- und Lernprozess eingebunden werden.

2.2 Grundlagenwissen zum Medieneinsatz

Die bisherigen Ausführungen zeigen bereits, dass Lehrkräfte nicht nur über technische Fertigkeiten für den Umgang mit Medien verfügen müssen. Auch methodische und didaktische Kompetenzen werden beim Einsatz von bildhaften Darstellungen etc. verlangt. Auch bei „neuen“ Medien sind Bild, Ton und Schrift die wichtigsten Ausdrucksmittel. Deswegen wird in diesem Unterkapitel näher auf die Informationsaufnahme im Gedächtnis und die Verwendung von Bild und Text im Unterricht näher eingegangen. (Girwidz, 2009, S. 210)

2.2.1 Wahrnehmung und Gedächtnis

Nach Atkinson und Shiffrin (1968, zit. n. Girwidz, 2009, S. 211) ist das Gedächtnis in drei Systeme unterteilt (Abb. 1).

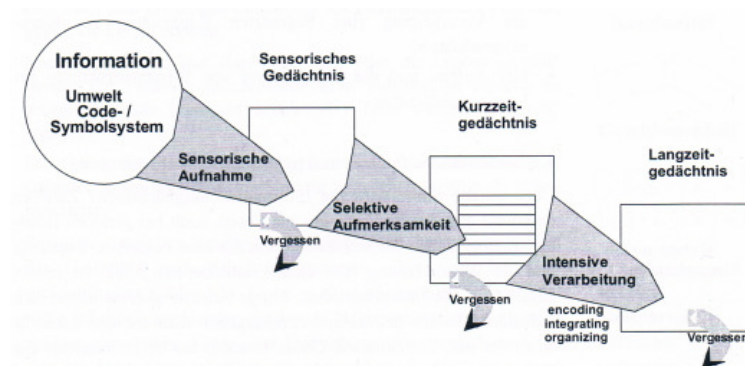


Abb. 1: Der Informationsfluss im Gedächtnis (Atkinson & Shiffrin, 1968, zit. n. Girwidz, 2009, S. 211).

Das *sensorische Gedächtnis* ist eng an die Sinnesorgane gekoppelt und kann Sinnesreize für eine kurze Zeit speichern (max. zwei Sekunden).

Das *Kurzzeitgedächtnis* ist für die bewusste Verarbeitung von Informationen bedeutsam. Es kann jedoch maximal sieben Informationseinheiten (Chunks) für 20 Sekunden speichern. Kapazität und Speicherdauer sind also stark begrenzt. Die Kapazität einer Informationseinheit (Chunk) ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich (subjektiv) und sehr vom Vorwissen der Person über ein bestimmtes Thema abhängig.

Das *Langzeitgedächtnis* hat eine nahezu unbegrenzte Kapazität und Speicherdauer. Allerdings sind hier noch einige Details des Langzeitgedächtnisses noch nicht vollständig wissenschaftlich geklärt.

In Abbildung 1 sind die Teilprozesse der Informationsverarbeitung als dicke Pfeile symbolisiert (Girwidz, 2009, S. 212):

Sensorische Aufnahme und präattentive Wahrnehmung

Weidenmann (2003, S. 53) führt an, dass es zur Erläuterung komplexer bildlicher Darstellungen sinnvoll wäre, nicht nur Lesetext zu präsentieren sondern gleichzeitig gesprochenen Text anzubieten. Sinneskanäle haben eine begrenzte Kapazität und die Wahrnehmung über einen Sinneskanal allein ist anfällig für Fehlinterpretationen. Außerdem müssten die Lernenden dann nicht immer mit dem Blick zwischen Lesetext und Bild hin und her springen.

Die Informationsverarbeitung beginnt unmittelbar mit der Sinneswahrnehmung. Dieser erste Prozess wird dabei nicht bewusst erlebt oder gesteuert, jedoch bestimmen sie die weitere Informationsaufnahme, weshalb sie auch für den Medieneinsatz relevant sind. Diese sogenannte präattentive Wahrnehmung verläuft zügig, und spielt sich noch vor jeder bewussten Überlegung ab. Des Weiteren ist diese Art der Informationsverarbeitung subjektiv und auch von Erfahrungen geprägt. So kann es sein, dass Schüler(innen) ein t-x-Diagramm (Abb. 2) ganz anders wahrnehmen als geschulte Physiklehrer(innen), da sie ein Bild unter anderen Aspekten betrachten (Girwidz, 2009, S. 212).

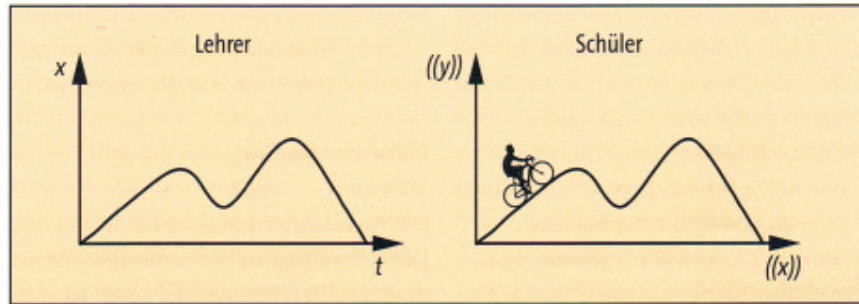


Abb. 2: Fehlinterpretationen aufgrund oberflächlicher Betrachtungsfehlern (Hopf, Schecker & Wiesner, 2011, S. 117).

Aufnahme und Verarbeitung im Kurzzeitgedächtnis

Nur wenige Inhalte aus der sensorischen Aufnahme werden danach tatsächlich weiterverarbeitet. Hier ist wichtig, dass man die Aufmerksamkeit auf besonders wichtige Informationen lenkt, sodass diese auch wirklich in das Kurzzeitgedächtnis kommen (Prinzip der selektiven Aufmerksamkeit). Des Weiteren muss diese Informationsaufnahme motiviert sein (Girwidz, 2009, S. 214).

An dieser Stelle kommt das Prinzip der „dosierten Diskrepanz“ ins Spiel. Dieses Prinzip besagt, dass unerwartet auftauchende Bilder oder Textpassagen mehr Aufmerksamkeit bekommen, als Medien die nicht von den Erwartungen abweichen. Diese unerwarteten Darstellungsformen dürfen aber kein vollkommen neues Verständnis verlangen (Friedmann, 1979, zit. n. Girwidz, 2009, S. 214).

Im Kurzzeitgedächtnis (auch Arbeitsgedächtnis genannt) schließlich bleibt die Information nicht lange präsent, d.h. sie zerfällt nach wenigen Sekunden wieder. Man kann durch Wiederholen zwar die benötigte Information präsent halten, jedoch belastet dieser das Arbeitsgedächtnis, sodass neue Inhalte keinen Platz finden, bzw. die Speicherzeiten des Arbeitsgedächtnisses stark absinken. Girwidz (2009, S. 214) führt aus: „Somit hat jeder Lehrer beim Medieneinsatz die Aufgabe, das Informationsangebot zu dosieren, Informationen dann anzubieten, wenn sie benötigt werden und die Aufmerksamkeit auf wesentliche Inhalte zu fokussieren.“

Intensive Verarbeitung / Verankerung von Wissen im Langzeitgedächtnis

Inhalte werden besser im Langzeitgedächtnis gespeichert, wenn die neuen Lerninhalte mit bereits bekanntem Wissen verknüpft werden können. Physikalische Formeln können somit besser gemerkt werden, wenn diese mit Bildern oder Experimenten in Verbindung gebracht werden können. Hier zeigt sich also die Wichtigkeit von Medien als Hilfsmittel für Behaltensleistungen im Gedächtnis (Girwidz, 2009, S. 215).

Craik und Lockhart (1972, zit. n. Girwidz, 2009, S. 215) erklären mit ihrem Konzept der Verarbeitungstiefe außerdem, dass ein Lerninhalt umso besser aufgenommen und behalten wird, je intensiver dieser verarbeitet und angewendet wird. Je nach Verarbeitungsintensität bleiben demnach unterschiedlich tiefe „Spuren“ im Gedächtnis.

2.2.2 Symbolsysteme

Wissen kann in den unterschiedlichsten Symbolsystemen (Sprache, Bilder, Ziffern, Zeichen) codiert oder präsentiert werden (Girwidz, 2009, S. 215). Das Prinzip der multiplen Codierung besagt, dass im Gehirn unterschiedliche Bereiche bei der Verarbeitung von Sprache und Bildern aktiv sind („Sprachhirn“ und „Bilderhirn“). Somit sollten Informationen auf mehreren (multiplen) Codierungen aufgenommen werden, um die Behaltensleistungen im Gedächtnis zu verbessern. Levin (1987, zit. n. Girwidz, 2009) bestätigt in seinen Metaanalysen, dass eine mentale Multicodierung der Inhalte die Verfügbarkeit von Wissen verbessert. Auch die Theorie der kognitiven Flexibilität (Spiro, 1988, zit. n. Girwidz, 2009) besagt, „dass Wissen in verschiedenen Formen präsentiert werden soll.“

Girwidz (2005, S. 27) gibt weiters an, dass die Physik eine Vielzahl von Codesystemen kennt, um Sachverhalte aus der Natur zu beschreiben. Ein Beispiel soll Abbildung 3 geben, in welcher die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Elektrons in unterschiedlichen Codierungsformen dargestellt ist.

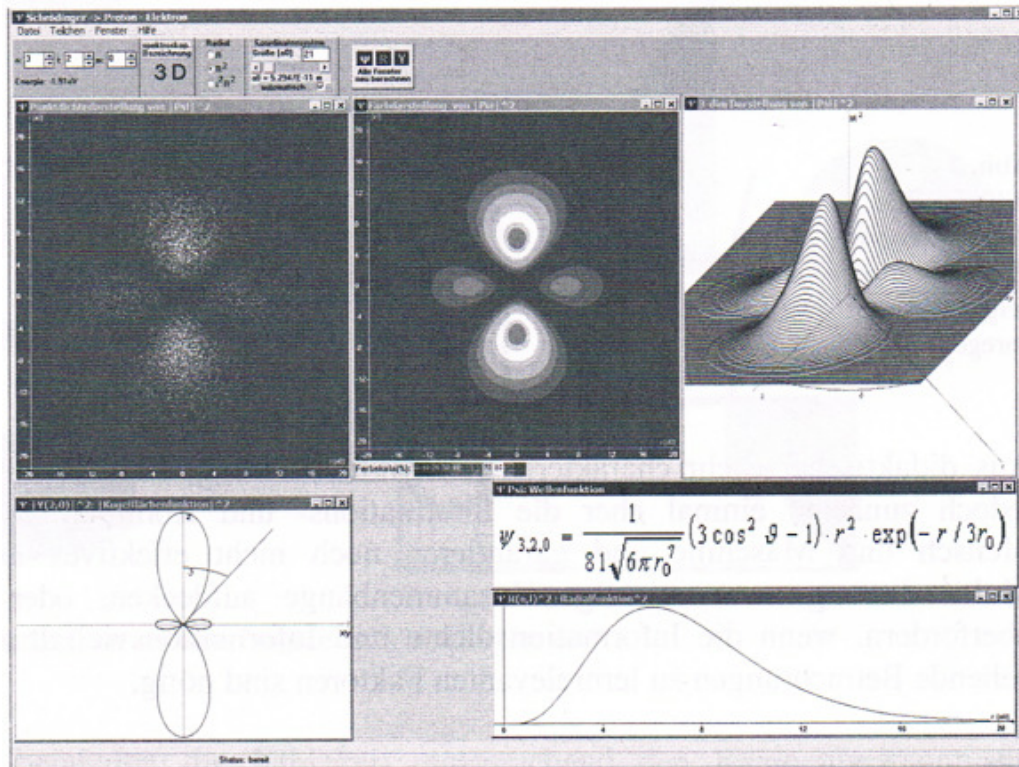


Abb. 3: Multicodierung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Elektrons (Girwidz, 2000, zit. n. Girwidz, 2005, S. 27).

2.2.3 Bildhafte Darstellungen

Niemand kann sich einen Unterricht ohne Bilder vorstellen, da sie berechtigt als unverzichtbare Darstellungsform für Unterrichtsinhalte gelten. Bildhafte Darstellungen helfen den Lernenden aber nur, wenn diese über die notwendigen Fähigkeiten besitzen, die wesentlichen Inhalte der Bilder zu entschlüsseln. Es zeigt sich, dass man aus didaktischer Sicht unterschiedliche Arten von Bildern unterscheiden muss, da sie unterschiedliche Kompetenzen der Betrachter(innen) voraussetzen (Girwidz, 2009, S. 217).

Dabei kann man nun drei bildhafte Darstellungsformen unterscheiden:

Abbildungen

Diese Form der bildhaften Darstellung zeigt primär äußerliche Strukturen ihres Referenz-Objekts (geht von Fotografien bis hin zu Strichzeichnungen).

Bilder können räumliche und zeitliche Distanzen überwinden, und den Betrachter(inne)n so Einblicke in Naturphänomene geben, welche in der Wirklichkeit nur schwer zugänglich sind. Weitere Vorteile von Abbildungen sind, dass man durch „Lupen“-Zeichnungen oder Markierungen die Aufmerksamkeit auf wesentliche Inhalte richten kann. Auch kann man störende Nebenreize, welche vom eigentlichen Inhalt ablenken, einfach ausblenden (Prinzip der selektiven Wahrnehmung). Abbildungen dürfen nicht zu komplex sein, da ansonsten die wesentlichen Details aus den Augen gehen (Issing, 1983, zit. n. Girwidz, 2009, S. 217).

Analoge Bilder

Der Begriff *Analogie* kommt aus dem lateinischen und bedeutet so viel wie *Entsprechung*, *Gleichartigkeit*, *Übereinstimmung* oder *Ähnlichkeit* (Issing, 1994, S. 149). In vielen Wissenschaftsbereichen wird dieser Begriff als „Mittel zur Erkenntnisgewinnung, Wissensvermittlung und Didaktik“ verwendet (Issing, 1994, S. 149).

Analoge Bilder nehmen bei den bildhaften Darstellungen nun eine besondere Stellung ein. Einerseits ähneln sie sich durch ihre äußere Gestaltung mit den Abbildungen, andererseits haben bildliche Analogien eine „analoge bzw. metaphorische Bedeutung, die über das Dargestellte hinausgeht“ (Issing, 1994, S. 149).

Diese Art der bildlichen Darstellung kann man nach Issing (1994, S. 156) noch in drei Arten unterscheiden. Strukturelle Analogien wären zum Beispiel die Repräsentation des menschlichen Körpers in der vorderen Zentralwindung des Cortex, oder das Bohr'sche Atommodell. Funktionale Analogien wären beispielsweise die bildliche Darstellung des Elektronendriffs in Metallen (zur Darstellung des elektrischen Stroms) oder das Bild der Huygens'schen Elementarwellen (zur Ausbreitung von Wellen).

Zu guter letzt unterscheidet Issing (1994, S. 159) noch die kombiniert strukturell-funktionale Analogie. Ein Beispiel hierfür wäre der berühmte Wasserkreislauf als Analogon für den elektrischen Stromkreis. Hier gibt es sowohl strukturelle (die Anordnung der Elemente in den Kreisläufen) als auch funktionale Gleichartigkeiten (die Funktion dieser Elemente).

Logische Bilder

Schnotz (1994, S. 97) definiert logische Bilder als solche Abbildungen, welche „der Darstellung von Zusammenhängen zwischen qualitativen und quantitativen Merkmalen eines Sachverhalts dienen.“ Der Autor führt weiter an, dass man im angloamerikanischen Sprachraum noch zwischen Charts (stellen Zusammenhänge zwischen qualitativen Merkmalen dar) und Graphs (erläutern Zusammenhänge zwischen qualitativen und quantitativen, oder zwischen ausschließlich quantitativen Merkmalen).

Zusammenfassend kann man sagen, dass logische Bilder Diagramme oder Grafiken sind, welche einen hohen Abstraktionsgrad haben. In der Physik eignen sich solche Darstellungsformen besonders gut zum Aufzeigen von Beziehungen zwischen physikalischen Größen. Außerdem sollte der Lernende mit der Symbolik der Diagramme vertraut sein, um die Zusammenhänge richtig interpretieren zu können.

Nach Schnotz (1994, S. 131 ff.) sind nun vier allgemeine Gestaltungsprinzipien für logische Darstellungen zu beachten:

- *Syntaktische Klarheit*: Eine kompetente, klare Beschriftung der Bildkomponenten, sodass für die Lernpersonen alles klar erkennbar ist.
- *Semantische Klarheit*: Einheitliche farbliche Gestaltung der Komponenten, welche funktionelle Gemeinsamkeiten haben.
- *Implizite Ordnung*: Eine erkennbare innere Strukturierung hilft ein Diagramm besser zu verstehen und zu behalten.
- *Sparsamkeit*: Mit Effekten, welche nicht der Informationsvermittlung dienen, sollte man sparsam umgehen, da sie vom eigentlichen Lerninhalt ablenken. Bei der Gestaltung von analogen Bildern sollte man sich nur auf das Wesentliche konzentrieren.

2.3 Bildmedien im Physikunterricht

2.3.1 Funktion von Bildern

Nachfolgend sind nun verschiedene Funktionen von Bildern im Physikunterricht angeführt. Diese sind nach den Aspekten Wissensvermittlung, Mehrfachkodierung, Strukturierung von Wissen und Motivation geordnet (Girwidz, 2009, S. 220).

Wissensvermittlung

Als *Zeigefunktion* haben Bilder die Aufgabe, klare und angemessene bildhafte Vorstellungen zu vermitteln (Girwidz, 2009, S. 220). Nicht nur statische Objekte, auch (physikalische) Abläufe lassen sich sehr gut durch Bilder darstellen, wie zum Beispiel die Arbeitsphasen beim 4- Takt- Motor (Abb. 4). Um die lernenden Personen nicht zu überfordern, bzw. um die gezielte Aufnahme und Verarbeitung zu sichern, bedarf es dabei noch weiterer methodischer Hinweise. Hier würden sich vor allem verbale Hinweise, Bildbeschriftungen oder Begleittexte empfehlen.

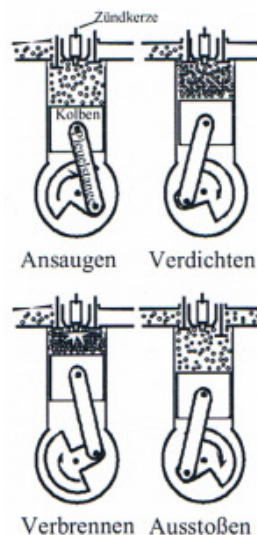


Abb. 4: Bildhafte Vorstellung eines physikalischen Ablaufs am Beispiel eines 4- Takt- Ottomotors (Girwidz, 2009, S. 220).

Bei der *Fokussfunktion* (zum Beispiel Lupenaufnahmen wie in Abb. 5) sollen Bilder Details ausschärfen oder Fehlvorstellungen korrigieren (Girwidz, 2009, S. 221).

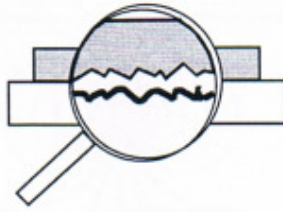


Abb. 5: Lupenaufnahme der Oberflächenstruktur zweier Materialien, welche in Wechselwirkung treten (Girwidz, 2009, S. 221).

Bildhafte Darstellungen, welche eine *Konstruktionsfunktion* beinhalten, sollen helfen, Sachverhalte, Prozesse oder Vorgehensweisen aus hauptsächlich bekannten Elementen zusammenzusetzen. Symbolische Darstellungen (z. B. Kraftvektoren) können helfen den theoretischen Zusammenhang zu verstehen (Girwidz, 2009, S. 221).

Physikspezifische Visualisierungen codieren den Lerninhalt in einer einfachen Weise, sodass sich den Lernenden optische Vorstellungshilfen bieten. So kann man zum Beispiel eine akustische Schwebung mit einem Mikrophon aufnehmen und als Überlagerung von harmonischen Schwingungen darstellen. Aber auch abstrakte Sachverhalte (z.B. die Elektronendichteverteilung im Wasserstoffmolekül) lassen sich mit Hilfe von analogen Bildern darstellen (Girwidz, 2009, S. 221).

Multiple Codierung

Girwidz (2009, S. 221) führt aus, dass die Kombination von Bild und Text die multiple Codierung unterstützt. Hier können entweder die Bilder eine Hilfe und Unterstützung zum Text, oder der Text eine Begleit- und Organisationsfunktion für das Bild sein. Einige Funktionen von Bildern im Zusammenhang mit Textdarstellungen werden hier nun angeführt.

Bildhafte Darstellungen können als *Ersatz für komplexe Beschreibungen* dienen. Manche Sachverhalte sind zu kompliziert für rein verbale Ausführungen, weshalb man sich mit einem einfachen Bild sehr leicht Abhilfe verschaffen kann. In Abbildung 6 ist das Magnetfeld der Erde abgebildet, welches zu komplex für rein verbale Erklärungen wäre (Girwidz, 2009, S. 222).

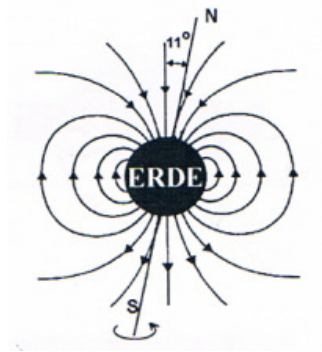


Abb. 6: Das Magnetfeld der Erde lässt sich mit Hilfe eines Bildes verständlicher beschreiben (Girwicz, 2009, S. 222).

Bei der *Repräsentationsfunktion von Bildern* geht es darum, dass sie den Inhalt von Textaussagen visuell widerspiegeln können, wodurch die Behaltensleistung der Lernperson gesteigert werden kann (Girwicz, 2009, S. 222).

Die *Konkretisierungsfunktion* beschreibt lediglich die Aufgabe, dass Bilder Textaussagen konkretisieren können, wodurch ein besseres Verständnis von komplizierten Wissensbereichen erlangt werden kann (Girwicz, 2009, S. 222).

Bildanleitungen, wie zum Beispiel in Bedienungsanleitungen für Geräte, können sehr nützlich sein, da sie einen realistischen Bezugsrahmen schaffen. Der Text kann dabei sogar in den Hintergrund rücken und nur die organisierende Funktion übernehmen. In Abbildung 7 ist eine Bildanleitung für ein einfaches Experiment dargestellt. Des Weiteren übernehmen Bilder in Verbindung zu einem Text auch eine *dekorative Funktion*. Dabei sollen sie das Interesse der Leser(innen) wecken, haben aber keine weitere inhaltliche Bedeutung (Girwicz, 2009, S. 222).

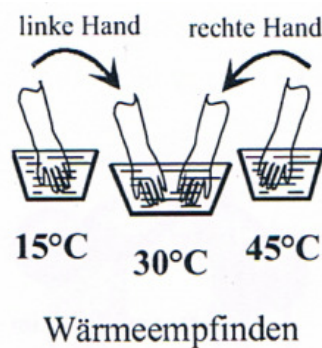


Abb. 7: Bildanleitung eines Freihandexperiments zur Wärmelehre (Girwicz, 2009, S. 222).

Organisation und Strukturierung kognitiver Inhalte

Bilder können helfen, die Informationsaufnahme zu organisieren und strukturieren. *Concept Maps* beispielsweise ist ein Gefüge, in dem Wissensinhalte räumlich- bildhaft angeordnet werden, wodurch Wissensbereiche sinnvoll strukturiert werden (Girwidz, 2009, S. 223).

Motivierung

Motivation ist die Voraussetzung, um sich länger mit komplexen Lerninhalten zu beschäftigen. Diese Funktion können bildhafte Darstellungen sehr gut übernehmen, da sie überraschende, humorvolle oder ästhetische Momente enthalten können (Girwidz, 2009, S. 223). Nach Levin (1987, zit. n. Girwidz, 2009, S. 223) sind Bildmedien kein Garant für positive Lerneffekte. Vor allem dann nicht, wenn diese rein dekorativen Charakter haben. Hingegen führt Levin (1987, zit. n. Girwidz, 2009, S. 223) aus, dass „positive Effekte bei repräsentierenden, organisierenden oder interpretierenden Illustrationen nachgewiesen sind.“

2.3.2 Unterrichten mit Bildmedien

Nach Hopf, Schecker und Wiesner (2011, S. 117) sollten Lehrkräfte im Unterricht mit Bildmedien eine Sensibilität für häufig auftretende Probleme entwickeln. Folgende Fälle sollten schnell erkannt werden.

- Lernende betrachten ein Bild eher oberflächlich, sodass wichtige Details nicht wahrgenommen oder bewusst verarbeitet werden.
- Bestimmte Elemente des Bildes werden wenig bis gar nicht verstanden (z.B. die Symbolik). Aufgrund dessen kann die Bildaussage nicht richtig erfasst werden.
- Lernende betrachten ein Bild unter anderen Aspekten, sodass insbesondere Diagramme oft falsch interpretiert werden.

Die Autoren Hopf, Schecker und Wiesner (2011, S. 117) nennen folgende Maßnahmen, um solche Probleme in den Griff zu bekommen:

- „Aufmerksamkeit der Schüler(innen) lenken,

- bei Figuren-, Muster- und Grapheninterpretationen helfen und
- die zentrale Bildaussage herausarbeiten.“

Gerade für jüngere Schüler(innen) sollte bei der Arbeit mit Grafiken und Diagrammen eine Orientierungsphase der inhaltlichen Diskussion vorausgehen (Hopf, Schecker & Wiesner, 2011, S. 118). Nach Weidenmann (1991, zit. n. Hopf, Schecker & Wiesner, 2011, S. 118) gehören dazu folgende Schritte:

- „Herausstellen, was die Achsen anzeigen,
- Sonderzeichen und Legenden klarstellen und
- herausarbeiten, was die Flächen oder Kurven anzeigen.“

2.4 Lernen mit Texten im Physikunterricht

Verstehen von schriftlichen und mündlichen Texten ist das Um und Auf im Schul-, sowie im späteren Leben. Wir entnehmen Texten neue Informationen bzw. frischen bereits vorhandenes Wissen auf. Unter Texten versteht man dabei sprachliche Äußerungen, die sich durch Kohärenz, also einen gewissen inhaltlichen Zusammenhang auszeichnen. Es handelt sich bei Texten also nicht um eine beliebige Aneinanderreihung von Sätzen (Rabe, 2007, S. 73).

In diesem Kapitel soll nun auf zwei verschiedene Modelle eingegangen werden, die den Prozess des Textverstehens kognitionspsychologisch näher beleuchten.

2.4.1 Modelle zum Textverstehen

Unter Textverstehen kann man sich nach Rabe (2007, S. 74) zunächst einmal die Ausbildung von mentalen Repräsentationen vorstellen. Diese zeichnen sich wiederum durch Kohärenz aus, sind also in sich selbst schlüssig. Nach Schnotz (1991, 11/15, zit. n. Rabe, 2011, S. 74) werden mentale Repräsentationen aktuell als mentale Modelle beschrieben, welche Produkt eines Konstruktionsprozesses der lernenden Person sind. Schnotz (1991, zit. n. Rabe, 2007, S. 74) fasst zusammen, dass „beim Textverstehen

sprachliche Signale extern übermittelt werden, aus denen der Rezipient intern eine kohärente mentale Repräsentation des Sachverhalts vornimmt.“

Die beiden nachfolgenden Modelle zum Textverstehen stellen die wichtigsten Verarbeitungsprozesse beim Textverstehen dar (Rabe, 2007, S. 74). Nach Boscolo und Mason (2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 74) stellt der Leser in beiden Modellen eine mentale Repräsentation des Inhalts her, wobei es sich jeweils um einen komplexen und dynamischen Vorgang handelt.

Tetraedermodell

Brown, Campione und Day (1981, zit. n. Rabe, 2007, S. 74) gehen in ihrem Tetraedermodell (Abb. 8) davon aus, dass die Aktivität der lesenden, bzw. der lernenden Person die Voraussetzung dafür ist, dass es zu Verstehensprozessen auf Grundlage des Textes kommen kann. In diesen komplexen Prozess gehen in weiterer Folge die Merkmale der Lernenden, deren aktuellen Lernziele und die Merkmale des Textes mit ein. Aus Sicht der Leser(innen) stehen sowohl innere Bedingungen (Vorwissen, Verstehensziele) als auch äußere Bedingungen (Textcharakteristika) in Wechselwirkung und bestimmen den Verarbeitungsprozess.

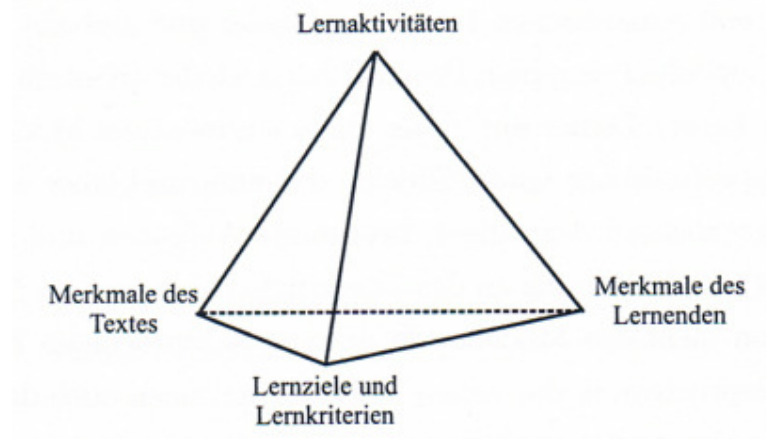


Abb. 8: Tetraedermodell zum Textverstehen (Schnotz, 1994, zit. n. Rabe, 2007, S. 75).

Ältere Ansätze erläutern die kognitiven Prozesse, welche sich zwischen einem vorliegenden Text und der internen mentalen Repräsentation abspielen. Dabei kann man

sich vorstellen, dass eine äußere natürliche Sprache (der Text) in eine hypothetische interne Sprache übersetzt wird, welche wiederum aus propositionalen Repräsentationen besteht. Eine Proposition ist nach Rabe (2007, S. 75) wiederum „ein komplexes Symbol für eine Relation zwischen zwei Gegebenheiten“ (Rabe, 2007, S. 75).

Nach Schnotz (1991, zit. n. Rabe, S. 75) sollen die Leser(innen) beim Übersetzungsvorgang „einen Text Stück für Stück in solche Propositionen umformen und diese zu einem kohärenten Ganzen verbinden.“

Nach diesem Verständnis ist Textverstehen eine Summation von semantischen Inhalten zu einer Repräsentation des semantischen Gehalts eines Textes. Dabei werden neue Informationen durch Inferenzen zwischen den Propositionen generiert. Als Inferenzen bezeichnet man nach Rabe „regelgeleitete kognitive Prozesse, mit denen sich die Leser(innen), mit Hilfe der vorliegenden Textinformationen und deren Vorwissen, neue Informationen erschließen“ (Rabe, 2007, S. 75).

Textverstehen als Ausbildung von mentalen Modellen

In diesem neueren Ansatz wird zunächst ebenfalls von der Entstehung einer propositionalen Repräsentation ausgegangen (vgl. Kintsch, 1989, zit. n. Rabe, 2007, S. 75 ff.). Diese wird jedoch als Textbasis bezeichnet, mit dessen Hilfe Aussagen zum Text überprüft, Fragen zum Text beantwortet, Zusammenfassungen oder Textwiederholungen erstellt werden können.

Abgesehen davon konstruieren die Leser(innen) nach Schnotz (1994, zit. n. Rabe, 2007, S. 76) auf dieser Basis ein mentales Modell (innerer Gegenstand, hypothetisches Quasi-Objekt), das vielmehr dazu dient Aufgaben und Probleme mental zu lösen. In der englischsprachigen Fassung wird statt von mentalen Modellen von Situationsmodellen gesprochen, bei denen das Vorwissen der Lernenden stärker eingeht als die Textinformation, sodass eine textunabhängigere mentale Repräsentation entsteht (McNamara, Kintsch & Butler, 1996, zit. n. Rabe, 2007, S. 76).

Schnotz (1991, zit. n. Rabe, S. 76) führt an, dass mentale Modelle „eine direkte Entnahme von Informationen ermöglichen, ohne dass diese wie bei Propositionen erst durch Inferenzen hergestellt werden müssen.“

Im Gegensatz zur Textbasis erlaubt das Situationsmodell (mentale Modell) erst ein nachhaltigeres Wissen, also eine Speicherung im Langzeitgedächtnis, wodurch es sich auf neue Situationen anwenden lässt (Rabe, 2007, S. 76).

Die Theorie von Textverstehen als Ausbildung von mentalen Modellen findet sich ebenfalls im Modell zum multimedialen Lernen nach Schnotz (2001, zit. n. Rabe, 2007, S. 76) wieder. In Abbildung 9 ist jetzt nur jener Verarbeitungszweig dargestellt, welcher für das Lernen mit Texten verantwortlich ist (Rabe, 2007, S. 76 ff.).

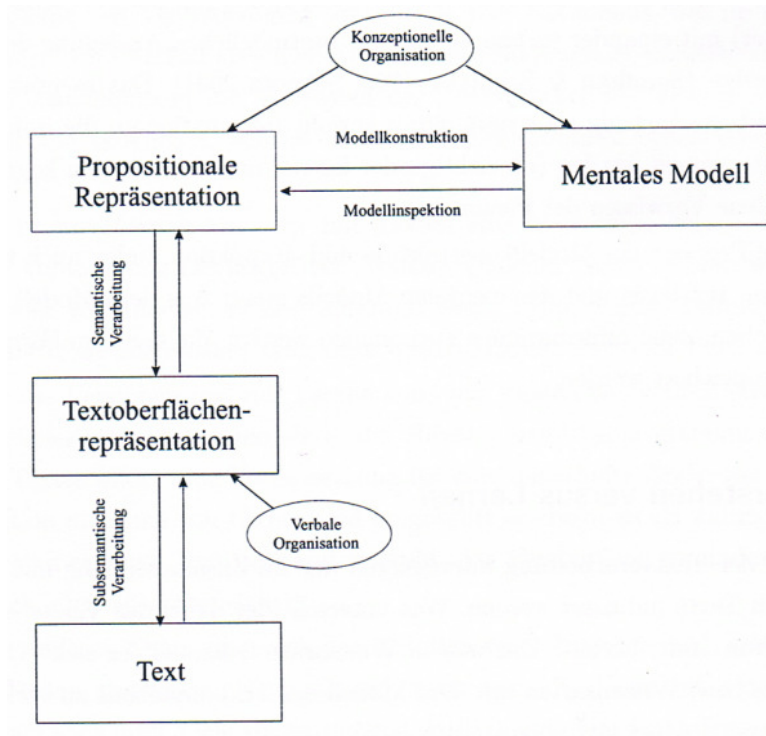


Abb. 9: Modell zur kognitiven Verarbeitung beim Lernen mit Texten (Schnotz, 2001, zit. n. Rabe, 2007, S. 77).

Ausgehend vom gegebenen Text wird dabei mit Hilfe subsemantischer Prozesse der Worterkennung eine mentale Repräsentation der Textoberfläche gebildet. Anschließend wird diese mit Hilfe von kognitiven Schemata zu einer kohärenten propositionalen Repräsentation (die Textbasis) weiterverarbeitet. Kognitive Schemata sind nach Schnotz (1994, zit. n. Rabe, 2007, S. 78) „ganzheitliche mentale Konstrukte, die generative Eigenschaften besitzen.“ Diese Schemata werden auch im nächsten Schritt der Textverarbeitung, der Bildung des mentalen Modells von Bedeutung sein, da sie die

bisherigen Erfahrungen der Rezipienten in verallgemeinerter Form beinhalten. Das mentale Modell am Ende dieses Prozesses beinhaltet damit sowohl die Informationen aus dem Text, als auch das mit den kognitiven Schemata abgerufene Vorwissen der Person (Rabe, 2007, S. 78).

2.4.2 Verstehen versus Lernen

Nach Schnotz (zit. n. Rabe, 2007, S. 78) kann man zwischen Verstehen und (kognitivem) Lernen in zeitlicher Hinsicht unterscheiden. Schnotz spricht dabei von *Verstehen* des Textes, wenn „eine konsistente mentale Repräsentation zu einem Sachverhalt, der in einem Text vorgestellt wird, aufgebaut wird und aktuell vorhanden ist.“ Es handelt sich beim Verstehen also um eine temporäre Erscheinung.

Lernen aus oder *mit* Texten ist hingegen eine Veränderung des kognitiven Systems über einen längeren Zeitraum. Neues Wissen wird dauerhaft erworben, bzw. vorhandenes Wissen wird durch den Lernprozess umstrukturiert, ausdifferenziert oder nachhaltig erweitert (Schnotz, 1994, zit. n. Rabe, 2007, S. 79).

Die beiden Begriffe Verstehen und Lernen sind zwar getrennt voneinander definiert worden, in der Realität treten beide Erscheinungen wohl aber kaum getrennt auf. Wenn man einen Text liest und versteht, so wird dies zu einem geringem Umfang auch dauerhaft abgespeichert werden. Andersrum ist das Verstehen eines Textes die Voraussetzung für eine dauerhafte Änderung des mentalen Systems (Rabe, 2007, S. 79).

Kintsch (1998, zit. n. Rabe, 2007, S. 79) definiert noch das *Behalten* von Textinformation als oberflächlichere Verarbeitung des Textes, wogegen das Lernen aus einem Text ein tieferes Verstehen mit sich bringt. Er grenzt also die Begriffe nach der Tiefe des Verarbeitungsprozesses beim Textverstehen ab. So kann es vorkommen, dass Schüler(innen) Merksätze aus der Physik zwar wiedergeben können, aber die praktische Anwendung eine unüberwindbare Hürde darstellt. Umgekehrt kann aber auch Verstehen ohne jegliches Behalten von Textinformationen auftreten.

Zusammenfassend kann man nach Rabe (2007, S. 80) folgendes Begriffsinventar verwenden:

- *Verstehen* als kurzfristige Änderung der Wissensstruktur.

- *Lernen* als dauerhafte und nachhaltige Veränderung des Wissens.
- *Behalten* als das Erinnern von Inhalten eines Textes.
- *Transfer* als die Fähigkeit zur Anwendung des erworbenen Wissens in neuen Kontexten.

Die beiden letztgenannten Begriffe beziehen sich auf verschiedene Verarbeitungstiefen im Wissenserwerb.

2.4.3 Konsequenzen aus den Modellen zum Textverstehen

Nach Kintsch (1989, zit. n. Rabe, 2007, S. 84) ist eine Verbesserung der Textoberfläche mehr oder weniger hilfreich. Es komme darauf an, ob das Ziel im Verstehen und Behalten des Textes liegt, oder ob mit dem Text gelernt werden soll.

Eine kohärente Textgestaltung kann den Aufbau einer mentalen Textbasis unterstützen, wenn das Ziel auf Verstehen und Behalten des Textes ausgerichtet ist. Damit geht aber noch kein Lernen einher. Wie sich zeigt, kann eine im Sinne von Verstehen und Behalten positive Textgestaltung sich negativ auf das Lernen auswirken. Lernen bzw. die Fähigkeit zu transferieren ist eine tiefere Verarbeitung des Textes und setzt eine höhere Aktivität der Lerner(innen) voraus. Wenn die Textoberfläche jedoch zu einfach gestaltet ist, sodass der Inhalt relativ leicht zu verstehen ist, so geht die Aktivität der Leser(innen) zurück und es findet kein Lernen statt. Andererseits kann eine zu komplizierte Textoberfläche dazu führen, dass verstehen scheitert, womit ebenfalls kein Lernen stattfinden kann (McNamara et al. 1996, zit. n. Rabe, 2007, S. 84).

Rabe (2007, S. 84) definiert Kohärenz „als Stärke des Zusammenhalts zwischen Teilen, die ein Ganzes bilden.“ Die Textkohärenz gibt demnach an, wie gut die Textelemente auf verschiedenen Ebenen verknüpft sind.

Kohärentere Texte sind nach Kintsch (1989, zit. n. Rabe, 2007, S. 84) leichter zu verstehen und zu behalten, sodass der Aufbau einer entsprechenden Textbasis unterstützt wird. Mit zunehmendem Vorwissen der Personen steigt jedoch die Gefahr dass die aktive Verarbeitung leidet, wenn die Texte sehr kohärent sind.

McNamara et al. (1996, zit. n. Rabe, 2007, S. 84) schlagen in diesem Zusammenhang vor, dass Kohärenzlücken Lerner(innen) mit gutem Vorwissen zu einer aktiven Verarbeitung anregen können.

Es gibt somit kein einheitliches Rezept, wie kohärent oder inkohärent man die Textoberfläche gestalten soll, da es immer auf das Vorwissen der Rezipienten ankommt. Die Textoberfläche muss demnach für die jeweilige Person herausfordernd genug sein, um eine aktive Verarbeitung zu induzieren. Jedoch darf die Textoberfläche wie bereits erwähnt nicht zu schwierig gestaltet sein, dass das Verstehen scheitert.

McNamara et al. (1996, zit. n. Rabe, 2007, S. 85) weisen darauf hin, dass mit Hilfe multimedialer Ressourcen sich die Textgestaltung leichter auf individuelle Lerner(innen) abstimmen lässt.

2.4.4 Klassische Ansätze zur Gestaltung der Textoberfläche: Lesbarkeit und Verständlichkeit

Sogenannte Lesbarkeitsformeln, die es erlauben sollen die Lese- und Verstehensleistungen vorherzusagen, richten sich ausschließlich auf die Oberfläche von Texten. Mit Hilfe ausählbarer Oberflächenmerkmale eines Textes soll dieser demnach genau analysiert werden können. Hauptmerkmale aller Lesbarkeitsformeln sind die Wortschwierigkeit und die Satzschwierigkeit (Groeben & Vorderer 1982, zit. n. Rabe, 2007, S. 85).

Verständlichkeitskonzepte nehmen hingegen die Leser(innen) mehr in den Blick, indem die Interaktion zwischen Text und Leser(in) stärker gewichtet wird. Verständlichkeit wird dabei als „mediatives Konstrukt zwischen Textcharakteristika und Rezipientenmerkmalen aufgefasst“ (Sumfleth & Schüttler, 1995, zit. n. Rabe, 2007, S. 86).

Nach dem Hamburger Verständlichkeitskonzept von Langer, Schulz von Thun und Tausch (1974, zit. n. Rabe, 2007, S. 86) können Texte in vier Dimensionen eingeschätzt werden, die Rückschlüsse auf die Verständlichkeit zulassen:

- *„Einfachheit:* kurze, einfache Satzstrukturen, bekannte Wörter, aktive Verben,
- *Gliederung-Ordnung:* sinnvolle inhaltliche Strukturierungen, Absätze, Überschriften, Zusammenfassungen,
- *Kürze-Prägnanz:* Gleichgewicht zwischen Kürze und Knappheit sowie notwendiger Redundanz,
- *zusätzliche Stimulanz:* Ausrufe, wörtliche Rede, rhetorische Fragen, witzige Formulierungen.“

Groeben (1982, zit. n. Rabe, 2007, S. 87) hat ebenfalls ein Verständlichkeitskonzept formuliert, welches eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Hamburger Modell besitzt. Jedoch erwarten beide Ansätze beim gleichen Text unterschiedliche Lernerfolge der Leser(innen). Die Hamburger Gruppe nimmt einen linearen Zusammenhang zwischen Textverständlichkeit und Lernerfolg an während Groeben einen kurvilinearen Zusammenhang postuliert. Bei Groeben erreicht der Lernerfolg bei einer gewissen Verständlichkeit zunächst ein Maximum, worauf der Lernfortschritt bei weiter steigender Verständlichkeit des Textes abfällt.

Nach Tergan (1981, zit. n. Rabe, 2007, S. 87) sind beide Ansätze, sowohl von Langer als auch von Groeben ungeeignet, da Lerner(innen)merkmale eine weitaus entscheidendere Rolle für die Vorhersage des Lernerfolgs spielen als Textmerkmale.

Auch die bisher genannten Verständlichkeitskonzepte erreichen nicht ganz ihr Ziel, obwohl sie die Lerner(innen) stärker in den Fokus genommen haben als die Lesbarkeitsformeln (Rabe, 2007, S. 87).

Aktuelle Textverstehensmodelle gehen davon aus, dass man für eine positive Textgestaltung das Vorwissen der Lerner(innen) mit einbeziehen soll. Demnach ist die Textoberfläche so zu gestalten, dass die Verarbeitung des Textinhalts zu einer kohärenten mentalen Repräsentation der Leser(innen) führen (Rabe, 2007, S. 88).

Vorraussetzung dafür ist, dass „die semantisch- syntaktische Komplexität der sprachlichen Oberfläche die kognitive Verarbeitungskapazität der Lerner(innen) weder unter- noch überfordert“ (Schnotz, 1994, zit. n. Rabe, 2007, S. 88).

Inhaltlich sollten Texte einerseits thematisch kontinuierlich und sinnvoll aufgebaut sein, andererseits sollte bedacht werden, ob das zur mentalen Kohärenzbildung benötigte Wissen bereits zeitnah angeboten wurde (Rabe, 2007, S. 88).

Nach Graesser, Millis und Zwaan (1997, zit. n. Rabe, 2007, S. 89) unterstützen folgende Leitlinien die Kohärenzbildung bei den Lernenden:

- „Vorwissen einbeziehen,
- zwischen bekannter und neuer Information unterscheiden,
- Signale für wichtige Informationen setzen,

- wahre Aussagen treffen,
- Bezüge zwischen Informationsteilen herausstellen,
- Reihenfolge der Nennung von Ereignissen der chronologischen Reihenfolge anpassen,
- keine Widersprüche zulassen.“

3 Lernen mit Multimedia im Physikunterricht

3.1 Was ist Multimedia?

Der Begriff *Multimedia* ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. Nachfolgend sollen hier einige Definitionen vorgestellt werden, um eine Einengung des Begriffes zu ermöglichen.

Issing und Strzebkowski (1997, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 5) verstehen unter Multimedia „die computergestützte Integration vormals getrennter Medien auf einer einzigen Nutzerstelle, dem Computerterminal.“ Die multimedialen Präsentationen sollen die Nutzer(innen) dabei vorwiegend über die visuellen und auditiven Sinneskanäle erreichen.

Hasebrock (1994, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 5) definiert Multimedia jedoch „als Integration von Text und Bild mit zumindest einem dynamischen Informationsmedium (Ton, Animation, Video) am Computer.“

Neugebauer (2006, S. 5) erläutert, dass diese beiden Definitionen den Begriff auf die technischen Aspekte abheben, da moderne Computer in der Lage sind, ehemals getrennte Medien wie Bild, Ton etc. den Benutzer(inne)n unter einer Oberfläche anzubieten. Jedoch würden die Definitionen nicht berücksichtigen, wie die multimedial angebotenen Inhalte verarbeitet werden. Demnach reichen nach Neugebauer diese technischen ausgerichteten Definitionen nicht aus, da auch die semiotischen Merkmale betrachtet werden müssen.

Nach Neugebauer (2006, S. 5) wird Multimedia durch die Eigenschaften der Multimodalität, Multicodierung und Interaktivität charakterisiert. Erst durch diese Definition könne Bezug auf die kognitive Verarbeitung der unterschiedlich dargestellten Informationen genommen werden.

Mayer (2009, S.5) versteht unter Multimedia jede Präsentation von Inhalten in Wort und Bild („presentations involving words and pictures“). Die Worte können dabei sowohl gesprochenes als auch geschriebenes Format, die Bilder statisches oder dynamisches Format besitzen.

Rabe (2007, S. 121) schließt in die Definition von Multimedia nicht den Einsatz verschiedener technischer Medien mit ein, da die Lernprozesse weniger von der Art des technischen Mediums abhängen, in dem die Worte und Bilder präsentiert werden. Computergestützte Systeme sind aber dennoch Gegenstand aktueller Forschung von

Multimedia, da sie vor allem die technische Realisierung erleichtern und die Gestaltungsmöglichkeiten erweitern.

Weidenmann (2002, S. 45 ff.) beschreibt Multimedia anhand des Rasters *Medium*, *Kodierung* und *Sinnesmodalität* differenzierter. Unter *Medium* soll dabei die Art des technischen Mediums betrachtet werden, mit dem die Inhalte angeboten werden. Die *Sinnesmodalität* unterscheidet nach den Sinnen, welche durch die Medien angesprochen werden (also ob visuell oder auditiv). Die *Kodierung* schließlich beschäftigt sich mit der Form der Informationspräsentation, also welche Zeichensysteme verwendet werden.

3.2 Lernen mit computerbasierter Multimedia im Physikunterricht

Anfänglich herrschte eine unheimliche Euphorie zum Computereinsatz im Physikunterricht. Man dachte, dass bloß der Einsatz eines Computers bereits positive Lerneffekte bringen würden. Die positive Einstellung der Kinder zum Computer sollte sie ebenso positiv auf den Unterrichtsstoff und zum Fach Physik selbst stimmen. (Urhahne, Prenzel, von Davier, Senkbeil & Bleschke, 2000, zit. n. Rabe, 2007, S. 123)

Nach Schnotz und Lowe (2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 123) ist jedoch nicht das Medium selbst für ein erfolgreiches Lernen ausschlaggebend, sondern die Gestaltung der Lehr- und Lernmethoden von computerbasierten multimedialen Lehrinhalten.

Laut Daten aus PISA 2000 haben 50% der befragten 15 Jährigen Schüler(innen) noch nie mit einer Lernsoftware gearbeitet. Lediglich 20% geben an, mehrmals wöchentlich oder gar täglich mit Lernsoftware zu arbeiten (Wirth & Klieme, 2002, zit. n. Rabe, 2007, S. 124).

Eine mögliche Ursache dafür könnte sein, dass Lehrer(innen) es verabsäumen, den Computer auch außerhalb des (Informatik-) Unterrichts als technisches Hilfsmittel im Unterricht einzusetzen, und ihnen die mit ihm multimedialen Lernmöglichkeiten aufzuzeigen (Rabe, 2007, S. 124).

Um jedoch überhaupt computergestützte Multimedia regelmäßig im Unterricht verwenden zu können, müssen Computer zunächst einmal in ausreichender Zahl und entsprechender Ausstattung vorhanden sein (Rabe, 2007, S. 124).

Hense (2001, zit. n. Rabe, 2007, S. 124) erklärt genauer, in welchen Lernumgebungen der Computer einen sinnvollen Platz einnehmen kann. So bietet dieses technische Medium die Möglichkeit, didaktisch aufbereitetes, multimediales Material zur Verfügung zu stellen, mit dessen Hilfe die Schüler(innen) (ihren individuellen Leistungsvoraussetzungen entsprechend) sich neues Wissen aneignen oder überprüfen können. Auf das Vorwissen der Personen kann besser eingegangen werden, und die Kinder können flexibel hinsichtlich Lernwegen, Lernzeiten, Lerntempo oder Lernorten arbeiten. Die Lernenden treffen dabei also selbst die für den Lernprozess wichtigen Entscheidungen, wodurch die Lehrpersonen vermehrt die Rolle von Lernberater(innen) übernehmen.

3.3 Kognitionspsychologische Grundlagen zum Lernen mit Multimedia

In diesem Kapitel sollen die beiden kognitiven Verarbeitungsgefüge zum Lernen mit multimedialen Lernobjekten von Mayer (2001) und Schnotz (2001) näher dargestellt werden. Beide Modelle haben die Cognitive Load Theorie nach Chandler und Sweller (1991) gemeinsam, welche daher gleich zu Beginn näher erläutert werden soll. Nachfolgend sollen sich aus den Theorien von Schnotz und Mayer Annahmen zur Gestaltung von Lernmedien und Lernsituationen ableiten lassen (Rabe, 2007, S. 126).

3.3.1 Cognitive Load Theorie

Baddeley (1992, zit. n. Rabe, 2007, S. 126 ff.) definiert neben dem Langzeit- und Kurzzeitgedächtnis eine weitere wichtige Komponente des Gedächtnisses – das Arbeitsgedächtnis. Dieser Bereich des Gedächtnisses ist für die Abspeicherung von visuellen und auditiven „Abbildern“ über einen sehr kurzen Zeitraum verantwortlich. Diese Abspeicherung wird von den zwei Subsystemen *phonological loop* (für auditive Informationen) und *visuospatial sketch pad* (für visuelle Daten) des Arbeitsgedächtnisses

geleistet. Insgesamt muss das Arbeitsgedächtnis dann all diese Informationen simultan speichern und die Informationen bearbeiten.

Des Weiteren gehen Chandler und Sweller (1991, zit. n. Raabe, 2007, S. 129) von einer begrenzten kognitiven Verarbeitungskapazität des Arbeitsgedächtnisses aus. Es kann demnach nur eine begrenzte Menge pro Zeiteinheit im Arbeitsgedächtnis gespeichert und verarbeitet werden. Die kognitive Belastung bzw. der sogenannte *cognitive load* ist diejenige Menge an Informationen, welche zu einem bestimmten Zeitpunkt das Arbeitsgedächtnis beanspruchen. Wird die begrenzte Verarbeitungskapazität überschritten, kommt es zum *cognitive overload* (Moreno & Mayer, 2000, zit. n. Rabe, 2007, S. 129).

Nach Brünken (2005, zit. n. Rabe, 2007, S. 129) sind vor allem multimediale Lernumgebungen für eine kognitive Überlastung prädestiniert, da „der Aufwand der mentalen Kohärenzbildung angesichts der multiplen Repräsentationen sehr hoch liegt.“

Brünken (2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 129 ff.) geben verschiedene Ausprägungen des *cognitive load* an, welche sich nach den Ursachen der Belastung unterscheiden lassen:

- *Extraneous cognitive load*: Diese Belastungsform ist auf sachfremde Faktoren zurückzuführen. Im Hinblick auf Multimedia sind hier das Format und die gestalterische Art und Weise, wie Inhalte präsentiert werden, gemeint. Beispielsweise könnte zu einem Standbild der zum Verstehen notwendige Text räumlich zu weit weg befinden, so dass die Lerner(innen) die Kapazität des Arbeitsspeichers für umfassende Such- und Zuordnungsprozesse belasten müssen.
- *Intrinsic cognitive load*: Diese Ausprägung meint, dass die Lerninhalte selbst eine hohe Belastung verursachen können. Die Komplexität und Struktur von einem neuen Sachverhalt kann so hoch sein, dass mehrere Details gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis präsent sein müssen, um den Inhalt zu verstehen.
- *Germane cognitive load*: Hier sind jene kognitiven Belastungen gemeint, die für das eigentliche Lernen notwendig sind. Die Anstrengungen der Lerner(innen) selbst sind hier also gemeint. Ziel ist es nun, dass im Gegensatz zum extraneous load der germane load möglichst hoch ist. Außerdem kann erfolgreiches Lernen nur stattfinden, wenn extraneous und intrinsic cognitive load noch Kapazitäten für den germane load übrig lassen (Girwidz, 2009, S. 642).

Chandler und Sweller (1991, zit. n. Rabe, 2007, S. 130) bringen auch den sogenannten *split attention*- Effekt für die ebenfalls begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen ins Spiel. Die Lerner(innen) müssen beim Arbeiten mit multimedialen Lernprogrammen ständig ihre Aufmerksamkeit auf die Bestandteile des Lernmaterials verteilen. Das Lernen wird nun behindert, wenn die Aufmerksamkeit für Inhalte verschwendet wird, welche dem eigentlichen Lernprozess nicht dienlich sind. Hier zeigt sich eine gewisse Ähnlichkeit zum extraneous cognitive load, welcher die Belastungsform durch sachfremde Faktoren beschreibt. Brünken, Plass und Leutner (2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 130) geben dabei an, dass Lernende sich vielmehr auf visuelle als auf sprachlich präsentierte Informationen konzentrieren.

3.3.2 Generative Theorie des Multimedialernens nach Mayer (2001)

Diese Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2009, S. 60 ff.) baut auf drei Säulen („three assumptions“) auf: der Theorie der Doppelkodierung nach Paivo (1991), der Theorie zur (begrenzten) kognitiven Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nach Chandler und Sweller (siehe obige Ausführungen) und auf der aktiven Verarbeitung durch die Lernenden, welche Informationen auswählen („selecting“), organisieren („organizing“) und integrieren („integrating“).

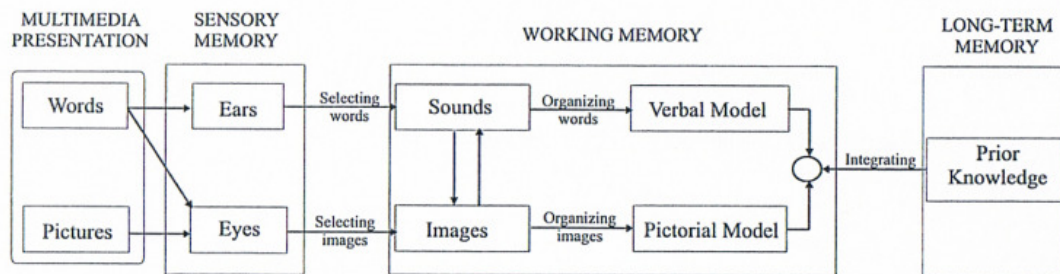


Abb. 10: Generative Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (Mayer, 2009, S. 61).

Wie in Abbildung 10 zu sehen ist, spiegelt sich im Modell Mayers die Unterteilung in die Gedächtnisbereiche Kurz-, Arbeits- und Langzeitgedächtnis wider. Auch lassen sich verschiedene Eingangskanäle für visuelle und auditive Informationen erkennen. Abgesehen von der sensorischen Ebene geht in das Modell noch die Theorie der doppelten Kodierung ein (Rabe, 2007, S. 127).

Nach Rabe (2007, S. 127 ff.) verlaufen bei Mayer (Abb. 10) die Verarbeitungsschritte der Selektion und Organisation der Informationen parallel zu den sensorischen Kanälen, welche in getrennt voneinander verbalen oder piktorialen Modellen enden. Anschließend werden diese getrennten Modelle ineinander vereint, wobei in diesem letzten Schritt auch das Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis integriert wird.

Die Kanäle des Verarbeitungssystems werden als auditiv bzw. verbaler Kanal und visuell bzw. piktorialer Kanal bezeichnet. Innerhalb des Arbeitsgedächtnisses werden Übergänge von Informationsrepräsentationen zwischen den Kanälen für möglich gehalten (Rabe, 2007, S. 128). Des Weiteren führt Rabe (2007, S. 128) aus, dass „eine strikte Trennung nach Modalität und Kodierungsform nicht auszumachen ist, vielmehr scheinen die Kanäle eine Art Hybrid aus sensorischen und semiotischen Aspekten zu bilden.“

Neugebauer (2006) und Varnai (2006) erläutern die einzelnen kognitiven Verarbeitungsschritte aus Abbildung 10 etwas genauer:

Durch die multimediale Repräsentation werden die dargebotenen visuellen und verbalen Inhalte aus der Umwelt zunächst über die Ohren und Augen in das sensorische Gedächtnis (sensory memory) aufgenommen. Bilder und geschriebene Texte werden als visuelle Bilder im visuellen sensorischen Gedächtnis, gesprochene Wörter und Klänge als auditive Bilder im auditiven sensorischen Gedächtnis gespeichert (Mayer, 2001, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 9).

Der Pfeil in Abbildung 10 von „pictures“ nach „eyes“ steht für ein Bild, das über Augen wahrgenommen wird. Der Pfeil zwischen „words“ und „eyes“ entspricht einem geschriebenen Text, welcher ebenfalls über die Augen wahrgenommen wird. Hingegen symbolisiert der Pfeil von „words“ nach „eyes“ einen gesprochenen Text, welcher über das Gehör aufgenommen wird (Neugebauer, 2006, S. 9).

Die für die Informationsverarbeitung relevanten Prozesse spielen sich nun im Arbeitsgedächtnis (working memory) ab. Die linke Seite der Box enthält mehr oder weniger das Rohmaterial, das vom sensorischen Gedächtnis in das Arbeitsgedächtnis kommt (Neugebauer, 2006, S. 9). Dies geschieht über den „selecting“-Prozess, wobei der Lernende die für die Lernziele relevanten Inhalte („words“ und „images“) aus dem sensorischen Gedächtnis auswählt und im verbalen bzw. visuellen Arbeitsgedächtnis in Form von „sounds“ bzw. „images“ speichert (Varnai, 2006, S. 22). Die Pfeile zwischen

„images“ und „sounds“ repräsentieren die mentalen Umwandlungsprozesse von Tönen zu visuellen Bildern und umgekehrt. So kann es unter Umständen vorkommen, dass das Wort „Haus“ gehört und ein mentales Bild eines Hauses gebildet wird. Auch der umgekehrte Prozess ist natürlich möglich (Neugebauer, 2006, S. 10).

Die rechte Seite der Box beinhaltet schlussendlich das Wissen, das im Arbeitsgedächtnis konstruiert wurde (Neugebauer, 2006, S. 10). Dieses Wissen wird durch die in Abbildung 10 dargestellten „organizing“- Prozesse generiert. Dabei reorganisiert die lernende Person das Rohmaterial zu kohärenten Repräsentationen von Ton und Bild („verbal Model“ und „Pictorial Model“). (Varnai, 2006, S. 23)

Das Langzeitgedächtnis einer Person stellt das gesamte Vorwissen der lernenden Person dar. Diese Wissensinhalte müssen im Arbeitsgedächtnis erst aufgerufen werden, um mit ihnen arbeiten zu können. Dieser letzte aktive Verarbeitungsschritt der Lernenden („integrating“- Prozess), integriert beide mentale Modelle („verbal Model“ und „Pictorial Model“) mit dem Vorwissen der Personen. Integration ist demnach nicht nur das bloße Aufrufen von bereits bekannten Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis, sondern beschreibt den Prozess der Integration neuer und alter Informationen und deren Speicherung (Neugebauer, 2006, S. 10).

Entscheidend ist nach Wittrock (1974, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 13) eben diese Integration neuer Ideen in bereits vorhandenen Schemata. Generatives Lernen entsteht erst dann, wenn zwischen Inhalten aus dem Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis Verbindungen hergestellt werden können. Die neuen Ideen stehen dann nicht mehr als isolierte Einheiten im Arbeitsgedächtnis da (Wittrock, 1990, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 13).

Die nicht ganz unumstrittene Theorie der dualen Kodierung nach Paivo (1991, zit. n. Rabe, 2007, S. 128) besagt, dass Wissen, welches in zwei Kodierungsformen (verbal und nonverbal) angeboten wird, auch in zwei unterschiedlichen Systemen verarbeitet wird.

Messungen von Hirnströmen hatten gezeigt, dass sprachlich und bildlich dargestellte Informationen in den beiden Gehirnhälften unterschiedlich behandelt werden (Neugebauer, 2006, S. 10). Die linke Hälfte ist dabei für sprachliche, die rechte für bildhafte Informationen verantwortlich. Zwischen den beiden Gehirnhälften können Informationen über den sogenannten Balken ausgetauscht werden. Wird dieser Balken getrennt, so versteht die rechte Gehirnhälfte keine Wörter und die linke kann keine Bilder verarbeiten.

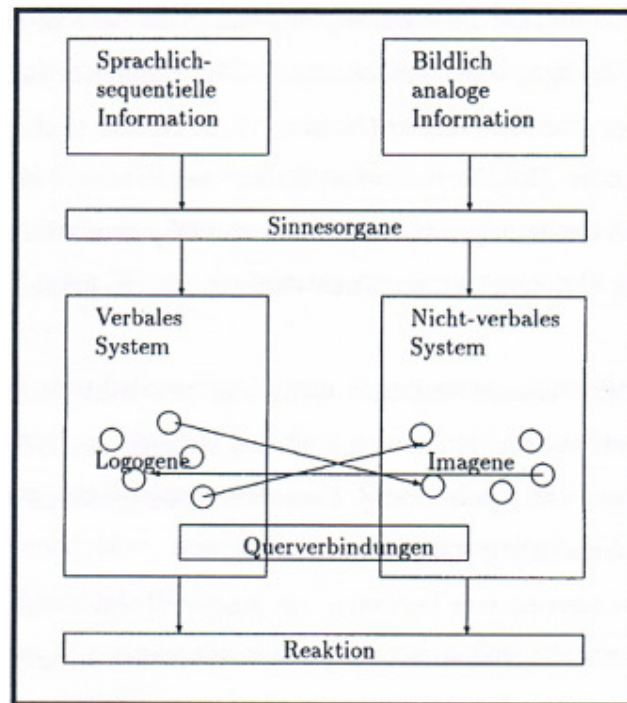


Abb. 11: Modell der Doppelkodierung nach Paivo (zit. n. Neugebauer, 2006, S. 11).

Wie aus Abbildung 11 zu entnehmen ist, unterscheidet Paivo zwischen einem verbalen und einem nicht- verbalen System der Informationsverarbeitung. Das verbale System ist für das Lesen, Schreiben und Sprechen von Texten verantwortlich, das visuelle System für Sehen und Hören von nicht- sprachlichen Umgebungsreizen sowie Geruchs-, Tast- und Geschmackssinn. Informationen im verbalen System werden als Logogene (einzelne sequentielle Einheiten), im visuellen als Imagene (ganzheitliche, durchgängige Einheiten) gespeichert (Neugebauer, 2006, S. 11).

Beide Systeme können unabhängig voneinander aktiviert werden. Jedoch kann aber ein visueller Reiz auch ebenso das sprachliche System aktivieren. Ein Bild eines Hauses kann, nachdem das visuelle System angesprochen wurde, auch den entsprechenden Begriff im verbalen System aktivieren (referentielle Informationsverarbeitung) (Paivo, 1991, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 11).

Das Modell von Paivo legt nahe, dass Informationen besser behalten werden, wenn diese doppelt kodiert sind, da statt einer gleich zwei mentale Repräsentationen vorliegen (Paivo, 1991, zit. n. Neugebauer, 2006).

Auch Urhahne et al. (2000, zit. n. Rabe, 2007, S. 128) gehen davon aus, dass das Wissen beim Multimedialernen dadurch besser im Gedächtnis verankert werden kann. Von solch einer reinen Summationstheorie geht man aber heute nach Weidenmann (1997, zit. n. Rabe, 2007, S. 128) nicht mehr aus.

3.3.3 Integratives Modell nach Schnotz (2001)

Schnotz geht in diesem Modell ebenfalls von einer begrenzten kognitiven Verarbeitungskapazität des Arbeitsgedächtnisses aus. Die Annahme, dass Informationen über zwei verschiedene Sinneskanäle aufgenommen werden ist in diesem Modell ebenfalls vertreten, jedoch spielt dieser Vorgang im Vergleich zu Mayer hier keine wesentliche Rolle. Schnotz richtet das Augenmerk vielmehr darauf, *wie* textuelle und bildliche Informationen im Vergleich zueinander verarbeitet werden, wohingegen bei Mayer diese unterschiedlichen Prozesse als äquivalent betrachtet werden (Schnotz, 2002, zit. n. Rabe, 2007, S. 131).

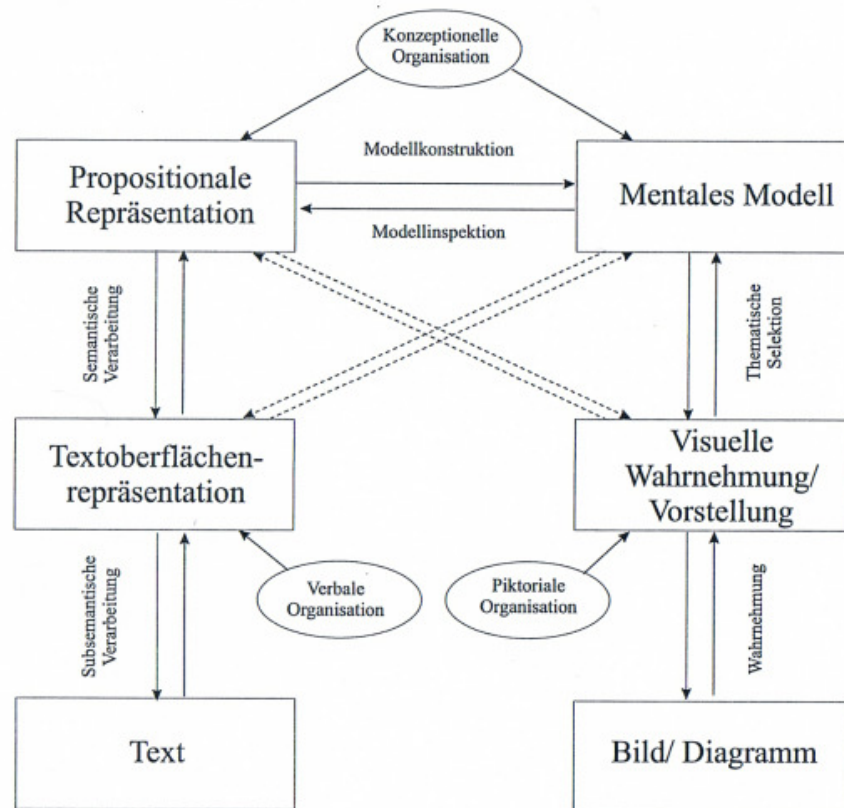


Abb. 12: Integratives Modell nach Schnotz zum Verstehen von Texten und Bildern (Schnotz, 2001, zit. n. Rabe, 2007, S. 131).

In Abbildung 12 ist das Integrative Modell nach Schnotz (2001) vollständig wiedergegeben, welches zum Teil schon in Kapitel 2.4.1 (Abb. 9) vorgestellt wurde.

Im Unterschied zu Kapitel 2.4.1 ist in hier nun der rechte Zweig der depiktionalen Repräsentationen hinzugefügt. Schnotz (2001, zit. n. Rabe, 2007, S. 132) unterscheidet hier bereits zwischen realistischen Bildern und Diagrammen, weil das Verstehen von Diagrammen erst gelernt werden muss, wogegen bei realistischen Bildern auf Erfahrungen aus der täglichen Wahrnehmung Bezug genommen werden kann. Bei Bildern oder Diagrammen besteht jedoch die Gefahr, dass Lernende diese nur oberflächlich betrachten, wodurch fatalerweise nur geringe kognitive Anstrengung in das Verstehen von bildlichen Darstellungen investiert wird (Rabe, 2007, S. 132).

Im Integrativen Modell nach Schnotz werden Bilder und Diagramme nun über präattentive Wahrnehmungsprozesse in einer visuellen Vorstellung abgebildet, welche danach attentiv zu einem mentalen Modell weiterverarbeitet wird. Dieses mentale Modell steht dann in ständiger Wechselwirkung mit der propositionalen Repräsentation des Textes. Im Unterschied zum Modell von Mayer stehen diese Endprodukte jedoch keinesfalls starr und stabil da, sondern können mit darunter liegenden Repräsentationen ständig interagieren (Blömeke, 2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 132).

Es handelt sich beim Modell von Schnotz vielmehr um einen fortdauernden Prozess der Konstruktion und Inspektion der mentalen Modelle. Es handelt sich hier nicht um eine feste und stabile mentale Repräsentation, vielmehr führt diese andauernde Interaktion zwischen propositionalen Repräsentationen und mentalen Modellen zu einem dynamischen und damit veränderbaren Wissen (Rabe, 2007, S. 132 ff.).

Im Gegensatz zum Modell von Mayer ist hier jedoch die Rolle des Vorwissens nicht deutlich erkennbar. Bei Mayer geht das im Langzeitgedächtnis gespeicherte Vorwissen durch Integration direkt in die Modellbildung mit ein, während diesen Prozess bei Schnotz nur indirekt beobachten kann.

Abgesehen von all den theoretischen Erkenntnissen zum multimedialen Lernen muss klargestellt werden, dass sich eine optimale interne mentale Repräsentation nur dann entfalten kann, wenn Lernende aktiv verarbeiten, was ihnen extern angeboten wird. Es gilt demnach auch herauszufinden, wie man solche aktiven Verarbeitungsprozesse der Lernenden induzieren kann (Rabe, 2007, S. 133 ff.). Auf diesen Forschungsaspekt wird

aber in dieser Diplomarbeit keine Rücksicht genommen oder näher darauf eingegangen, da es die Problemstellung dieser Arbeit nur tangential berührt.

Im Nachfolgenden soll nun erläutert werden, wie multimediale Angebote im Hinblick auf Lernziele und Aufgabenanforderungen bestmöglich zu gestalten sind.

3.4 Lernförderliche Gestaltung von Multimedia

In diesem Kapitel soll der Frage nachgegangen werden, wie Multimedia und der Einsatz von multimedialen Angeboten gestaltet werden sollten, damit Lernen von Schüler(innen) unterstützt wird. Dabei lassen sich nach Urhahne und Schanze (2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 135) zwei Perspektiven zu dieser Problemstellung formulieren:

- *Der systemzentrierte Ansatz* beschäftigt sich damit, wie durch ein passendes instruktionales Design von Multimedia selbst der Lernfortschritt von Kindern und Jugendlichen optimiert werden kann.
- *Die benutzerorientierte Perspektive* richtet ihre Aufmerksamkeit auf den Interaktionsprozess von Lernenden und Lernsystem und untersucht, wie diese Wechselwirkung unterstützt werden kann.

Ziel beider Perspektiven ist es, dass es Lernenden gelingt eine kohärente mentale Repräsentation zu dem dargestellten (physikalischen) Sachverhalt auszubilden. Dazu ist es wichtig, dass bei der Gestaltung von Multimedia die Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Inhalte gerichtet wird. Der cognitive load sollte dabei möglichst verringert werden, sofern er äußere Ursachen (extraneous load) hat und gefördert werden, wenn der germane load dadurch gesteigert wird (Rabe, 2007, S. 135).

Die Herstellung kohärenter Repräsentationen wird dabei aus systemzentrierter Sicht durch die Art des Layouts gefördert. Der extraneous load soll dabei durch die Art der Informationspräsentation wie Modalitätsformen, Kodierungsformen etc. auf ein Minimum reduziert werden. Dadurch wird zum Beispiel die Aufmerksamkeit nicht auf irrelevante Aspekte wie unnötige aufwändige Suchprozesse aufgrund einer ungünstigen räumlichen Anordnung von Bild und Text gelenkt (Rabe, 2007, S. 136).

Aus benutzerorientierter Sicht sucht man nach sogenannten Kohärenzbildungshilfen, welche bei den Lernenden bestimmte Verstehensprozesse induzieren. Dadurch erhöht sich

der germane load, was sich für die Ausbildung kohärenter mentaler Modelle förderlich auswirkt (Rabe, 2007, S. 136).

Nach Urhahne et al. (2000, zit. n. Rabe, 2007, S. 136) muss bei den sogenannten Kohärenzbildungshilfen (damit sind im engeren Sinn gestalterische Möglichkeiten von Multimedia gemeint) berücksichtigt werden, dass es keine allgemein gültigen Gestaltungsprinzipien gibt, da der Lerneffekt stark von den Persönlichkeitsmerkmalen der Lernenden abhängt. Hier spielt vor allem das Vorwissen der Personen eine große Rolle, weswegen man das multimediale Lernangebot immer auf das Vorwissen der Zielgruppe/Zielpersonen abstimmen sollte.

Ein wesentliches Gestaltungsprinzip ist das Multimediaprinzip, welches besagt, dass es lernförderlicher ist, Inhalte in Bild und Text anstatt nur textuell zu präsentieren (Mayer, 2001, zit. n. Rabe, 2007, S. 136). An dieser Stelle muss jedoch erwähnt werden, dass nur dann positive Lerneffekte zu erwarten sind, wenn das Zusammenspiel zwischen Text und Bild harmonisiert (Schnotz & Bannert, 2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 137).

Bilder und Texte müssen demnach inhaltlich zusammenpassen, sodass sie sich kohärent aufeinander beziehen (Rabe, 2007, S. 137).

Mayer (2001, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 15) nennt im Zusammenhang mit dem generativen Modell noch sechs weitere Prinzipien für die Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen

- *Der Modalitätseffekt* tritt dann auf, wenn durch Kombination von Bild und gesprochenen Text besser gelernt wird.
- *Das Redundanzprinzip* besagt, dass die gleichzeitige Darbietung von geschriebenem und gesprochenem Text das Lernen beeinträchtigen kann.
- *„Prinzip der räumlichen Nähe:* Zusammenhängende Texte und Bilder sollten räumlich beieinander präsentiert werden.“ (Mayer 2001, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 15)
- *„Prinzip der zeitlichen Nähe:* Bilder und Texte die zusammenhängen sollten simultan und nicht sukzessiv dargestellt werden.“ (Mayer 2001, zit. n. Neugebauer, 2006, S. 15)
- *Kohärenzprinzip:* Texte und Bilder, welche für das Lernziel irrelevant sind, reduzieren den Wissenserwerb.

- *Prinzip der individuellen Unterschiede:* Das Vorwissen und das räumliche Vorstellungsvermögen der Lernenden spielt eine große Rolle beim Lernen mit Multimedia.

3.5 Umgang von Schüler- und Lehrer(innen) mit Multimedia

Dieses Kapitel widmet sich der Frage, wie multimediale Lehrmaterialien verwendet werden können, um den Lernerfolg der Schüler(innen) zu optimieren.

Es zeigt sich nämlich, dass die multimediale Darstellung von Lehrinhalten zu einer eher geringen geistigen Anstrengung verführt, da die Lernenden der Meinung sind, dass die Inhalte sowieso schon gut aufbereitet und strukturiert sind (Weidenmann, 1997, zit. n. Rabe, 2007, S. 105). Abgesehen davon, wird die Aufmerksamkeit der Betrachter(innen) von Multimediadarstellungen des Öfteren auf graphische Details gelenkt, welche für die Lernziele keine wesentliche Bedeutung besitzen (Lowe, 1999, zit.n. Rabe, 2007, S. 105). Umso mehr muss man den Lernenden bewusst machen, welche Inhalte eines multimedialen Lernobjekts für ihr Verständnis wichtig sind. Es bedarf also doch eine sehr hohe kognitive Anstrengung beim Lernen mit Multimedia.

Einen Ansatz, welcher die Initiierung dieser aktiven Lernprozesse bei Schüler(innen) beschreibt liefert Yore mit dem Prinzip des „Selbsterklärens“ von Lerninhalten (Yore, Bisanz & Hand, 2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 106). Dies soll zu einer tieferen Verarbeitung von Texten führen.

DeLeeuw und Chi (2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 106) definieren den Begriff des Selbsterklärens zunächst als die „Anstrengungen und Versuche von Lernenden bezeichnen, sich den Inhalt eines Textes selbst zu erklären.“ Der Lerninhalt wird sozusagen nicht einer außen stehenden Person, sondern sich selbst erklärt und somit verständlich gemacht.

Eine engere Definition des Begriffs von Chi, deLeeuw, Chiu und Lavancher (1994, zit. n. Rabe, 2007, S. 106) meint, dass Selbsterklärungen all jene Aussagen sind, welche „über die im Text gegebenen Informationen hinausgehen und auf Inferenzbildung beruhen.“ Dabei handelt es sich also um eine konstruktive Tätigkeit, in welcher die Lernenden aktiv neues Wissen aus bereits vorhandenem Wissen und neu erfasster Information herstellen.

Nun kann man die positiven Wirkungen des Selbsterklärens folgendermaßen zusammenfassen:

- Selbsterklären hat den positiven Effekt, dass sich Lernende ihr Vorwissen besser bewusst machen, da sie ihr Vorwissen mit den neuen Informationen zu neuem Wissen verknüpfen müssen (deLeeuw & Chi, 2003, zit. n. Rabe, 2007, S. 112).
- Selbsterklärungen führen zu Inferenzbildung (Chi et al. 1994, zit. n. Rabe, 2007, S. 112).
- Selbsterklärungen unterstützen den Prozess der Verknüpfung des Vorwissens mit dem neuen Wissen (Cote, Goldman & Saul, 1998, zit. n. Rabe, 2007, S. 112).

Bis jetzt wurde das Prinzip des Selbsterklärens nur anhand von wissenschaftlichen Texten erklärt. Doch auch die Lerninhalte der in Kapitel 4 vorgestellten multimedialen Lernobjekte können von den Schüler(inne)n durch Selbsterklärungen erarbeitet werden. In diesen Lernobjekten bekommen die Lernenden sowohl Text- als auch Bildmaterial zu sehen, wobei sie durch kognitive Anstrengung die wesentlichen Informationen aus diesen Medien aufnehmen und verarbeiten sollen. Auch gehen die Zusatzaufgaben zu den unterschiedlichen Lernmodulen (siehe Kapitel 4) über die im Text gegebenen Informationen hinaus, wodurch die in den Lernvideos dargestellten Lerninhalte in neuen inhaltlichen Kontexten kompetenzorientiert angewendet werden müssen.

Die Lerninhalte der in Kapitel 4 beschriebenen Lernblöcke lassen sich somit am besten durch den Prozess des Selbsterklärens der Schüler(innen) aneignen. Die Kinder werden durch die Struktur der Lernblöcke ohnehin zu hohen kognitiven Eigenaktivitäten angeregt. Dies kann in der Schule (während des Unterrichts oder in einer Frei- bzw. Supplierstunde) genauso gut von Statten gehen wie zu Hause. Die Aufgabe von Lehrkräften sollte nun sein, die Jugendlichen zu Selbsterklärungen anzuregen und ihnen bewusst machen, dass sie beim Lernen mit Multimedia eine hohe kognitive Arbeit verrichten müssen.

4 Beschreibung der Lernmodule

Jedes der in diesem Kapitel beschriebenen Lernmodule besteht aus zwei Lernblöcken. Jeder Lernblock wiederum besteht aus einer Aufgabe und einer Lösung, jeweils in Form eines Videos. In der Aufgabe werden die Schüler(innen) an eine physikalische Problemstellung herangeführt, welche sie versuchen sollen zu lösen, bevor sie sich das zugehörige Video zur Lösung ansehen. Die zugehörige Lösung soll die im Aufgabenvideo dargestellte physikalische Problemstellung auflösen und für ein tieferes Verständnis des behandelten Phänomens sorgen.

Des Weiteren gibt es zu jedem Lernblock unterschiedliche Zusatzmaterialien in Form von weiterführenden Videos oder anderen schriftlichen Aufgabenstellungen, welche sich unter Umständen auch auf das Lösungsvideo selbst beziehen können.

4.1 Modul Trägheitsmoment

Dieses Lernmodul soll den Schüler(innen) die physikalische Größe des Trägheitsmoments anschaulich näher bringen. Dazu gibt es in diesem Modul zwei Lernblöcke, wobei jeder Lernblock zwar den gleichen physikalischen Inhalt, aber anhand einer unterschiedlichen experimentellen Anordnung erklärt. Diese unterschiedlichen Darstellungen der zwei Lernblöcke sollen zu einem tiefer greifenden Verständnis der Jugendlichen führen.

4.1.1 Lernblock „Das Scheibenwettrennen“

Aufgabe

Die Dauer dieses Videos beträgt 1:14 min. Zu Beginn des Videos wird mit einer ausführlicheren Textfolie in die Thematik ein- und auf die bevorstehende Aufgabenstellung hingeführt. Der Screenshot in Abbildung 13 veranschaulicht diese Textfolie. Anzumerken ist, dass jeder Absatz dieser Textfolie (Abb. 13) nacheinander eingeblendet wird.

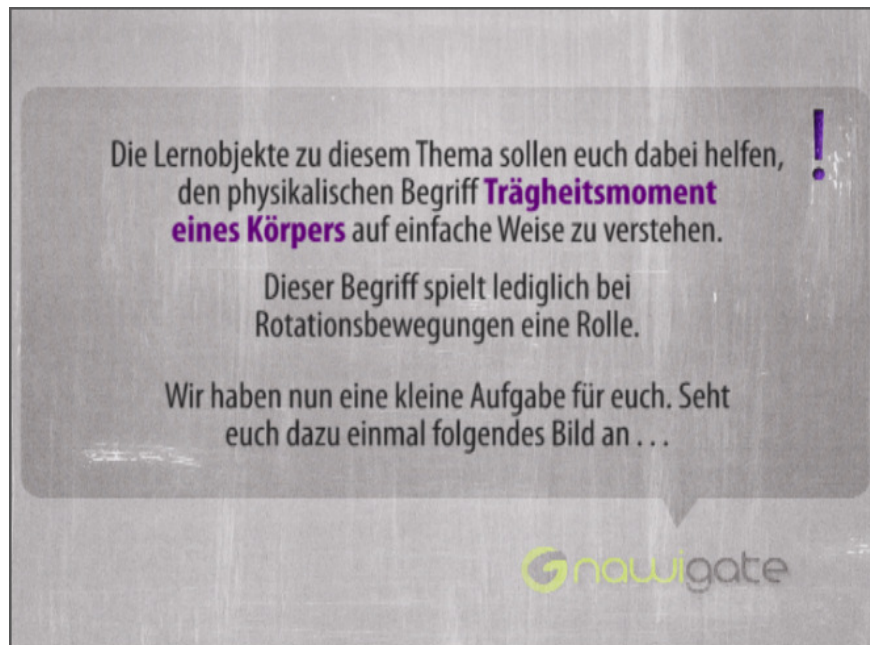


Abb. 13: Screenshot der einleitenden Textfolie des Aufgabenvideos.

Wie in Abbildung 13 weiters zu erkennen ist, wird im letzten Absatz auf die nachfolgende Bildfolie (Abb. 14) übergeleitet, welche sich die Schüler(innen) genau ansehen sollen.

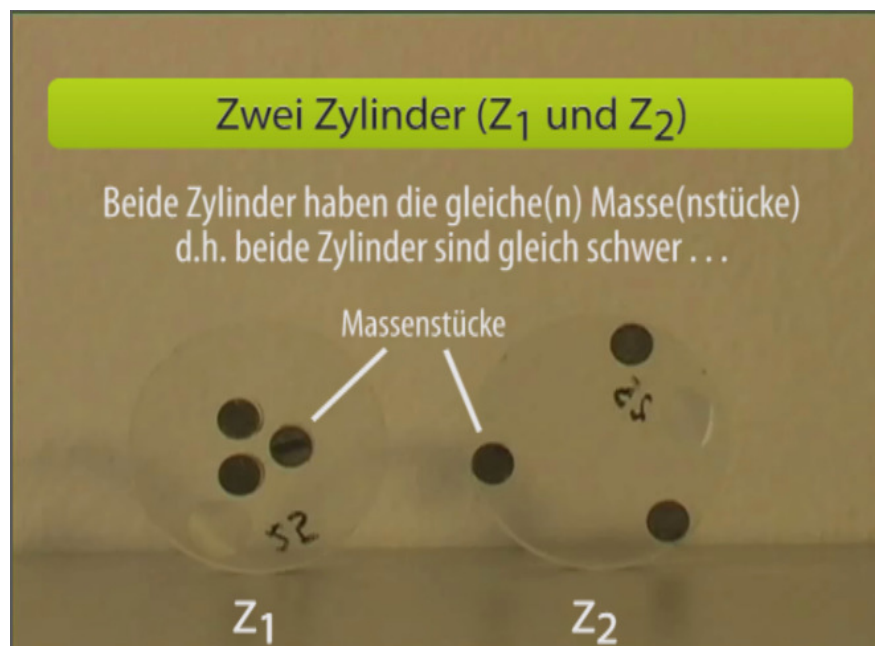


Abb. 14: Screenshot der Bildfolie.

Nach dieser Bildfolie, welche zur genaueren Betrachtung 20 Sekunden lang eingeblendet wird, werden zum Abschluss dieses Videos unterschiedliche Fragestellungen im Hinblick auf das übergeordnete Lernziel (Was versteht man unter einem Trägheitsmoment?) formuliert. Abbildung 15 zeigt einen Screenshot dieser Fragefolie. Auch hier ist anzumerken, dass die Fragen nacheinander eingeblendet werden.

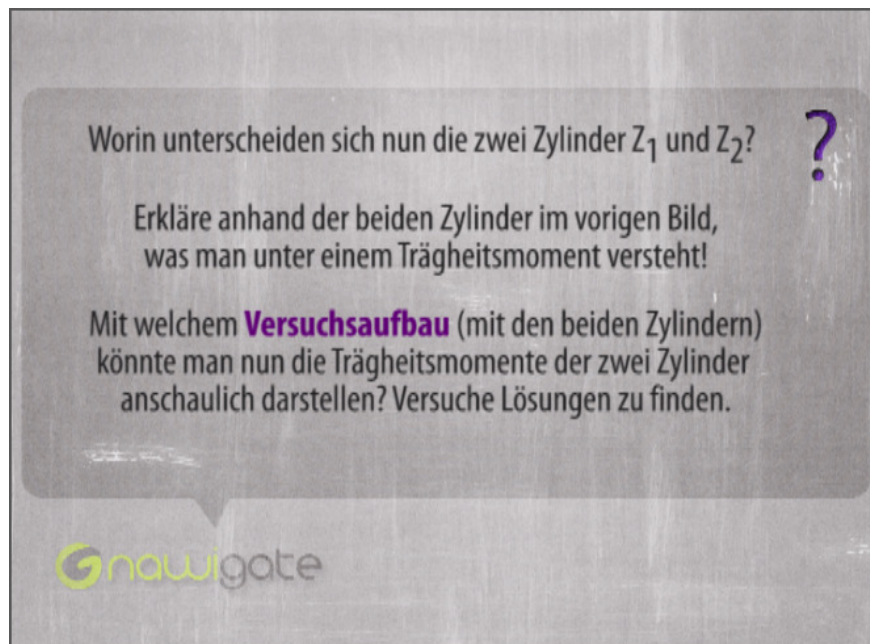


Abb. 15: Screenshot der abschließenden Fragefolie.

Nach dieser Fragefolie ist dieses Video beendet und die allgemeine Outrovorlage setzt den Schlusspunkt.

Diesen Lernblock könnte man im Schulunterricht auf unterschiedliche Weise einsetzen. Einerseits könnten die Kinder bereits das Vorwissen besitzen, was man unter einem Trägheitsmoment versteht, und in Folge dessen sich selbst überlegen, mit welchen Versuchsaufbauten man die unterschiedlichen Trägheitsmomente der zwei Zylinder in Abbildung 14 aufzeigen könnte.

Andererseits könnte diese Aufgabe auch gut als Einstiegsvideo in die Thematik fungieren, indem man den Kindern anhand dieses Videos erste Inputs gibt, worauf sie vielleicht mit Hilfe des Lehrbuches oder des Internets selbst recherchieren könnten, was diese physikalische Größe beschreibt.

Lösung

Die Dauer des Lösungsvideos beträgt 3:48 min.

Zu Beginn des Videos wird noch einmal auf die Aufgabe Bezug genommen und das Bild (Abb. 14) aus dessen Video noch einmal als Auffrischung gezeigt (damit die Jugendlichen diesen Inhalt wieder im Kopf präsent haben). Anschließend soll auf den großen qualitativen Unterschied der beiden Zylinder aufmerksam gemacht werden (falls die Schüler(innen) diesen noch nicht bemerkt haben sollten), was in Abbildung 16 zu sehen ist.

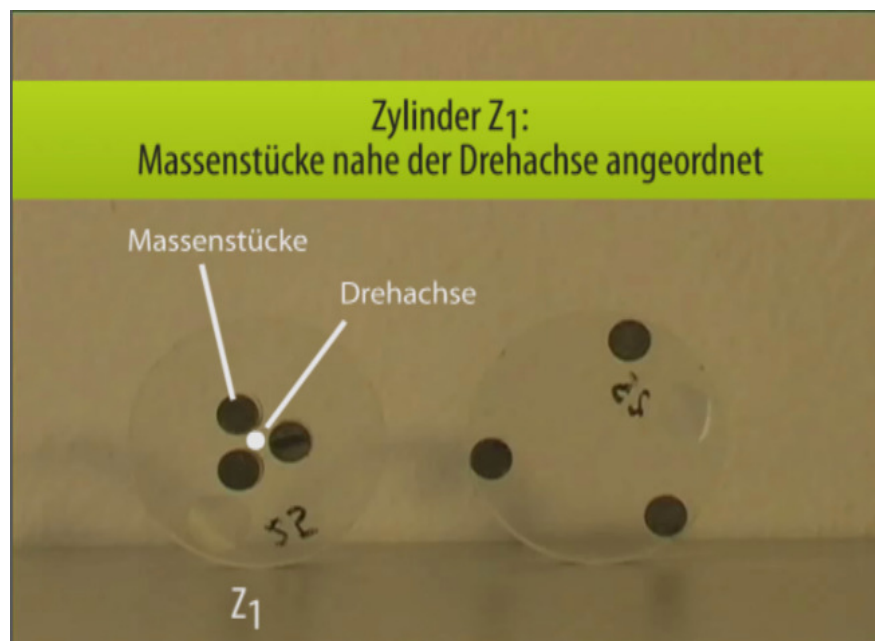


Abb. 16: Qualitativer Unterschied der beiden Zylinder.

Ebenso wird im nächsten Standbild erklärt, dass beim rechten Zylinder Z_2 (Abb. 16) die Massenstücke weiter von der Drehachse entfernt sind als bei Zylinder Z_1 . Hier wird anschließend jedoch nicht der Gedankengang fortgeführt, um das Trägheitsmoment zu erklären, sondern es wird gleich der Versuchsaufbau gezeigt, mit welchem man qualitativ die unterschiedlichen Eigenschaften der beiden Zylinder demonstrieren kann. In Abbildung 17 erkennt man die benötigten Materialien und den Versuchsaufbau.

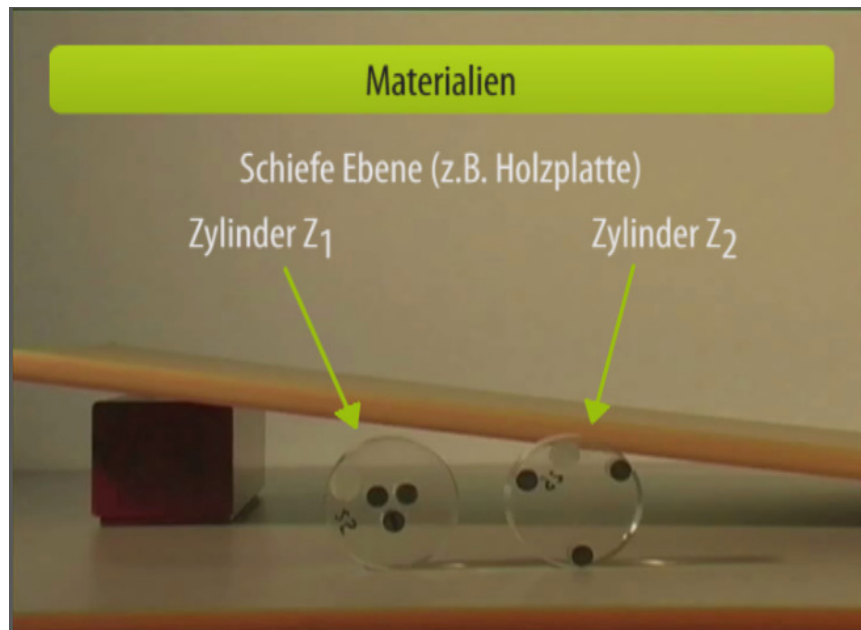


Abb. 17: Screenshot der benötigten Materialien und des Versuchsaufbaus.

Danach wird das Experiment in diesem Video gestartet, indem man beide Zylinder gleichzeitig die schiefe Ebene hinunter rollen lässt. Kurz nach dem Loslassen der beiden Zylinder wird das Bild jedoch angehalten, um den Schüler(inne)n die in Abbildung 18 zu sehende Fragestellung zu geben.

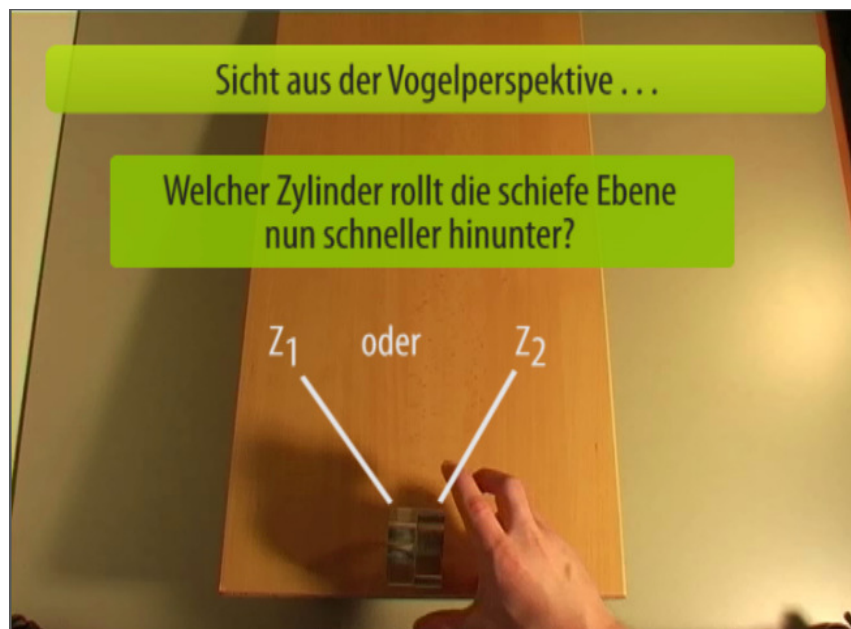


Abb. 18: Screenshot des Standbilds (kurz nach dem Auslassen der beiden Zylinder).

Die Schüler(innen) wissen bis jetzt lediglich, dass die beiden zylinderförmigen Körper die selben Massen haben, diese aber unterschiedlich verteilt sind. Diese unterschiedliche Massenverteilung soll sich nun in ihrem Rollverhalten auswirken, worüber sich die Schüler(innen) vor dem Versuchsausgang Gedanken machen sollen. Deshalb wird der Versuchsausgang noch nicht gezeigt, sondern es folgt nach diesem Standbild ein kurzer Ausflug in etwas theoretischere Gewässer der Physik. Um die in Abbildung 18 gezeigte Frage beantworten zu können, brauchen die Lernenden nämlich ein paar fachliche Grundlagen, weshalb in dem Video in weiterer Folge ausführlich der Begriff des Trägheitsmoments erklärt wird. Abbildung 19 soll dies verdeutlichen.

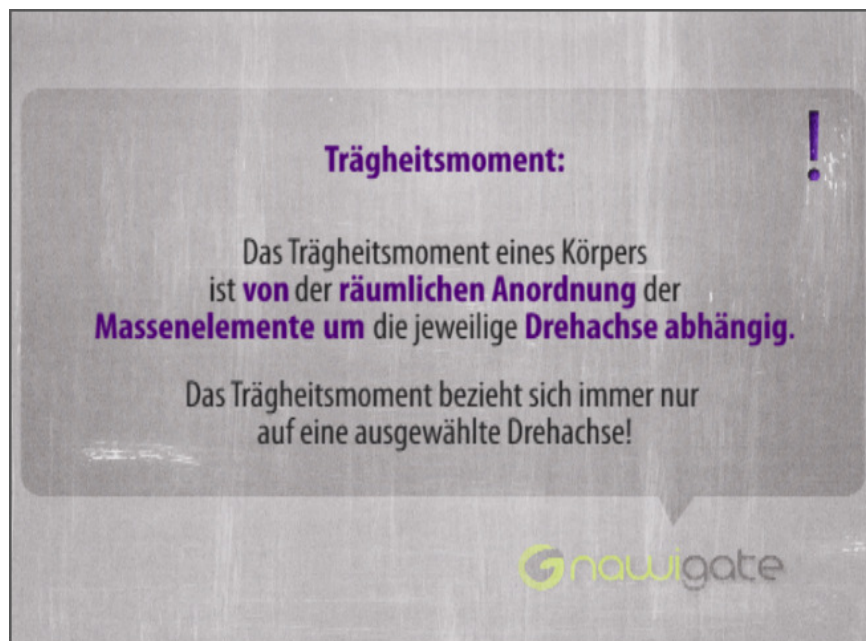


Abb. 19: Screenshot der Textfolie zur Erklärung des Trägheitsmomentsbegriff.

Um diesen theoretischen Input auch auf die Realität (und auf das Experiment im Video) zu beziehen, wird diese physikalische Größe anschaulich anhand der beiden Zylinder Z_1 und Z_2 erklärt. Abbildung 20 zeigt einen Screenshot dieses Standbildes in diesem Video.

Aus den bisherigen Erklärungen lassen sich jedoch noch keine Schlüsse ziehen, was das Trägheitsmoment eines Körpers (um eine ausgewählte Drehachse) überhaupt beschreibt. Die Schüler(innen) wissen bis jetzt nur, wie sich ein Trägheitsmoment um eine bestimmte Achse zusammensetzt, jedoch können sie damit noch nicht den Versuchsausgang (Abb. 18) vermuten, da sie nicht wissen, was diese Größe eigentlich beschreiben soll.

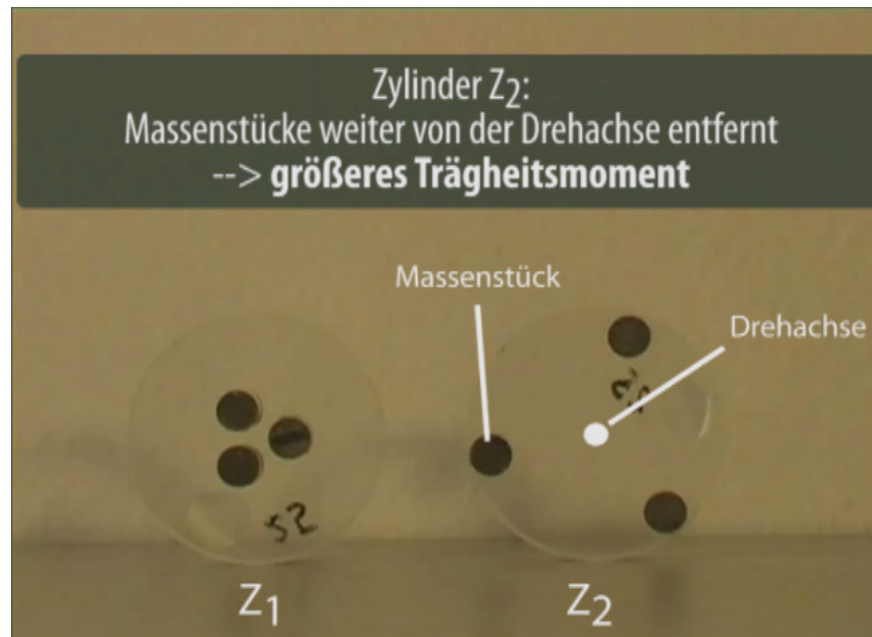


Abb. 20: Screenshot aus dem Video. Das Trägheitsmoment wird anschaulich anhand der Zylinder erklärt.

Deshalb werden in dem Video weitere Textfolien zur Erklärung eingeblendet, welche die Schüler(innen) gut studieren sollen, um den Versuchsausgang vorhersagen und verstehen zu können. In Abbildung 21 ist eine solche Textfolie als Screenshot zu sehen.



Abb. 21: Screenshot einer Textfolie zur Erläuterung des Trägheitsmoments.

Nach diesem kurzen theoretischen Ausflug sollten die Lernenden über genügend Verständnis verfügen, um den Versuchsausgang erraten zu können. Deshalb wird in weiterer Folge der Versuchsausgang in diesem Video gezeigt. Abbildung 22 zeigt einen Screenshot aus der Seitenansicht des Experiments.



Abb. 22: Screenshot der Seitenansicht des Experiments. Nach gleichzeitigem Loslassen der Zylinder rollen diese unterschiedlich schnell die schiefe Ebene hinunter.

Der Versuchsausgang wird einmal mit normaler Geschwindigkeit abgespielt, und einmal in Zeitlupe. Bei der Seitenansicht in Zeitlupe wird im Video am Ende des Experiments (wenn beide Zylinder schon fast ganz unten sind) ein Standbild gemacht, um noch einmal schön das Ergebnis zu verdeutlichen. Dabei sind die Zylinder wieder beschriftet, damit die Schüler(innen) nicht viel nachdenken müssen, welcher Zylinder Z_1 oder Z_2 ist. Außerdem hilft es auch sehr gut zur Orientierung. Abbildung 23 zeigt den Screenshot dieses Standbild des Versuchsausgangs.

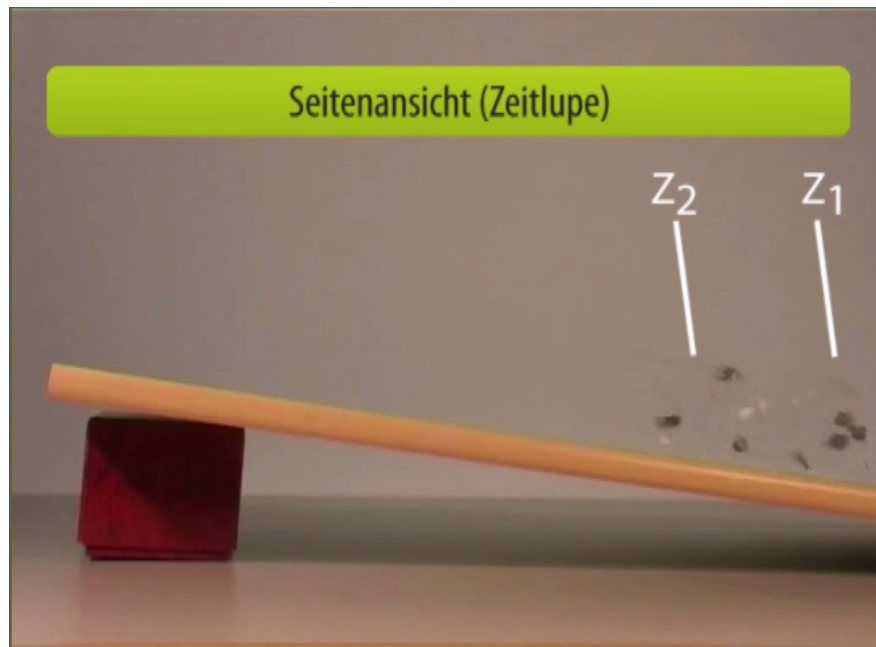


Abb. 23: Screenshot des Standbildes des Versuchsausgangs. Mit Hilfe dieses Standbildes können die Kinder ihre bisherigen Überlegungen verifizieren und die Theorie mit der Praxis in Einklang bringen. Man erkennt hier recht deutlich: Zylinder Z_1 ist schneller unten als Z_2 .

Danach wird am Ende dieses Videos das Ergebnis und die Theorie in zwei Textfolien noch einmal kurz zusammengefasst, um den wesentlichen Lerninhalt noch einmal zu betonen.

4.1.2 Lernblock „Drehsexelexperiment mit Gewichten“

Aufgabe

Die Dauer dieses Videos beträgt 1:20 min. Zu Beginn werden die Schüler(innen) mit einer Textfolie auf die nachfolgende Videosequenz eingestimmt. Mit Hilfe dieses Textes (Abb. 24) soll die Aufmerksamkeit der Lernenden auf die für den physikalischen Inhalt wesentlichen Vorgänge der anschließenden Videosequenz gelenkt werden. Anzumerken ist, dass die Absätze auf der Folie in Abbildung 24 nacheinander eingeblendet werden.

Nach dieser Folie folgt eine 22 Sekunden lange Videosequenz, in welcher eine Schülerin auf einem Drehsessel rotiert und dabei abwechselnd ihre Arme zum Körper zieht und wieder vom Körper weg streckt. Dabei hält die Jugendliche zusätzliche Gewichte in ihren Händen.

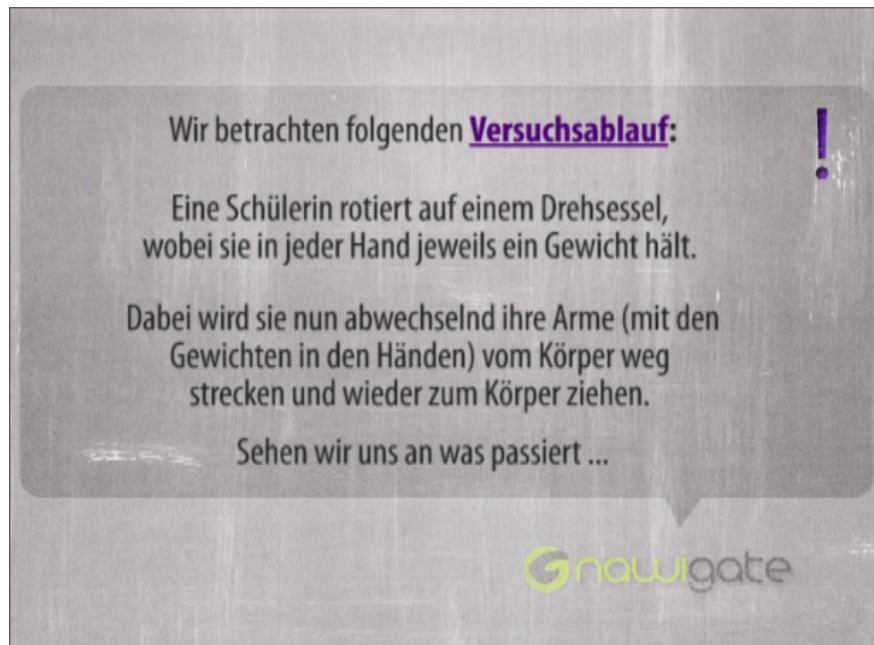


Abb. 24: Screenshot der Textfolie zu Beginn des Videos.

In Abbildung 25 ist ein Screenshot zu sehen, in der die Jugendliche ihre Arme gerade vom Körper weg gestreckt hat. Ebenfalls gut erkennbar sind die Gewichte in ihren Händen (Abb. 25).

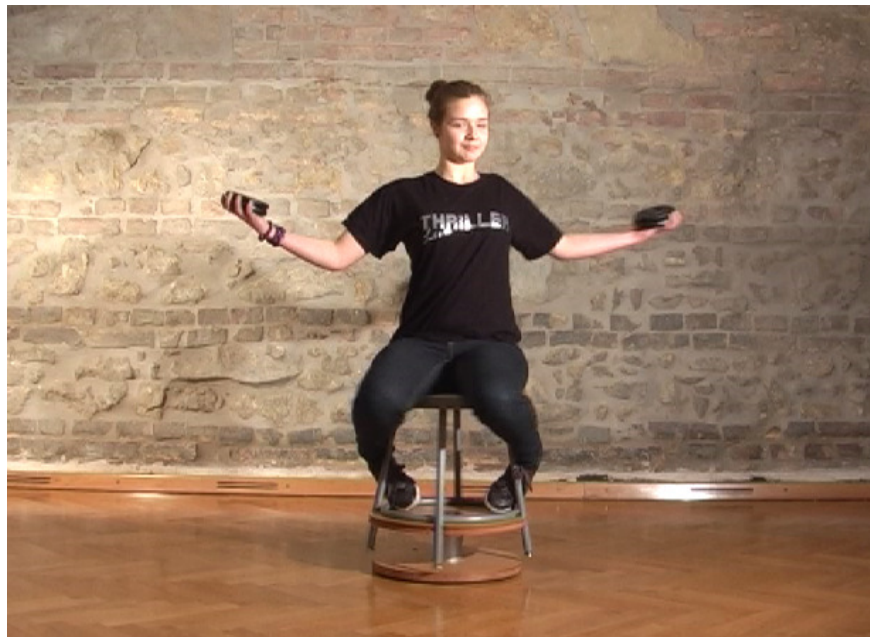


Abb. 25: Screenshot der Videosequenz. Die Schülerin rotiert auf dem Drehsessel und streckt die Gewichte gerade von ihrem Körper weg.

Danach erscheint in dem Video noch eine abschließende Textfolie, in der die lernenden Schüler(innen) vor eine kompetenzorientierte Aufgabenstellung gestellt werden. Abbildung 26 zeigt einen Screenshot dieser Fragefolie.

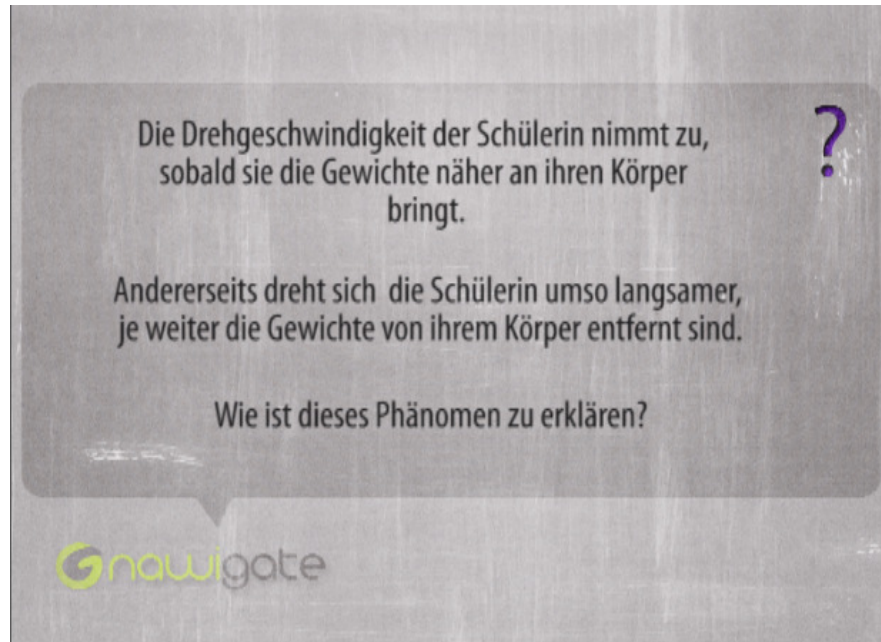


Abb. 26: Screenshot der abschließenden Fragefolie des Videos.

Wie in Abbildung 26 zu sehen ist, werden die experimentellen Befunde der Videosequenz für die Kinder noch einmal übersichtlich zusammengefasst (ausgestreckte Arme → geringe Drehgeschwindigkeit; angezogene Arme → hohe Drehgeschwindigkeit). Die Aufgabe für die Schüler(innen) besteht nun darin, dieses Phänomen mit Hilfe physikalischer Gesetzmäßigkeiten zu erklären.

Lösung

Die Dauer des zugehörigen Lösungsvideos beträgt 2:47 min. Zu Beginn des Videos werden noch einmal kurz die experimentellen Befunde aus dem Aufgabenvideo aufgefrischt. Dazu wird auch ein kurzer Ausschnitt der rotierenden Schülerin gezeigt. Dieser Einstieg soll den gedanklichen Anknüpfungspunkt zur ursprünglichen Problemstellung wahren, um so die bisherigen Gedankenschritte aus der Aufgabe bei den Schüler(innen) präsent zu halten.

Anschließend wird mit einer Textfolie fortgefahren, worin der physikalische Begriff eines abgeschlossenen Systems erklärt wird. Abbildung 27 zeigt einen Screenshot der Textfolie, welche den Lernenden erklärt, dass es sich in dem in diesem Lernvideo dargestellten Experiment um ein abgeschlossenes System handelt.

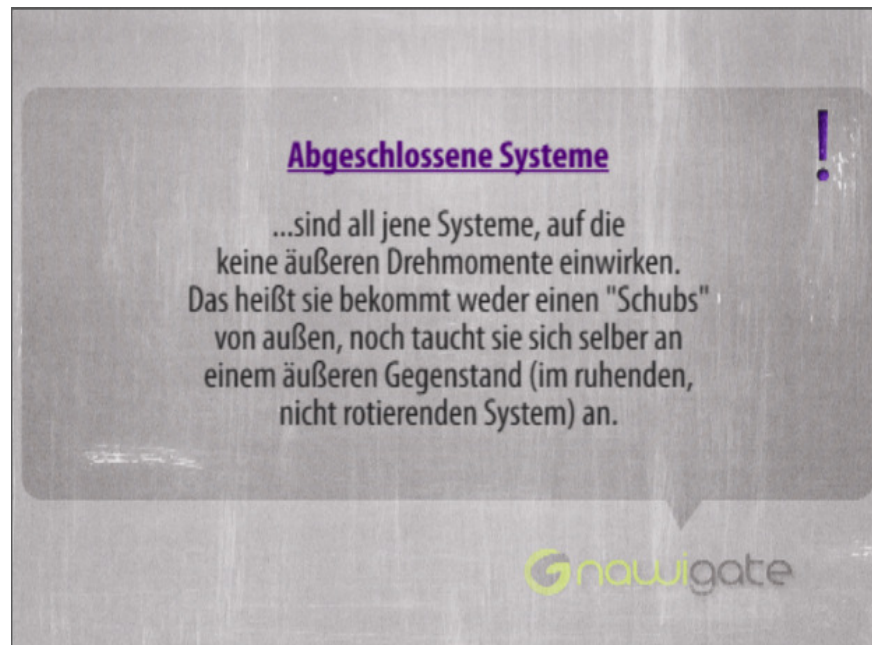


Abb. 27: Screenshot der Textfolie zur Erklärung des Begriffs „Abgeschlossene Systeme“.

Nach dieser Textfolie bekommen die Schüler(innen) wieder einen Ausschnitt der rotierenden Schülerin zu sehen, um die in Abbildung 27 dargebrachten theoretischen Inhalte anhand des Videos zu verifizieren.

Der bisherige theoretische Input über abgeschlossene Systeme hilft den Lernenden jedoch nicht, das eigentliche physikalische Phänomen zu erklären, vielmehr soll er die Faszination des in diesem Lernobjekt präsentierten Phänomens unterstreichen. Um die bei angezogenen Armen erhöhte Drehgeschwindigkeit der Schülerin erklären zu können, bedarf es also mehr physikalischer Inputs, welche in den nachfolgenden Folien des Lösungsvideos zu sehen sind. Abbildung 28 zeigt einen Screenshot, in welchem der Drehimpulserhaltungssatz erklärt wird. In der Erklärungsfolie in Abbildung 28 taucht für die Lernenden ein bis dahin unbekannter, neuer Begriff, das Trägheitsmoment, auf. Dies

wird im weiteren Verlauf des Videos berücksichtigt, weshalb dieser Begriff in einer eigenen Folie, ähnlich wie bei dem Lernblock in Kapitel 4.1.1 qualitativ erklärt wird.

Drehimpulserhaltungssatz: !

In einem abgeschlossenen System muss der Gesamtdrehimpuls erhalten bleiben.

Der Drehimpuls L setzt sich dabei wie folgt aus den beiden Größen Trägheitsmoment I und Winkelgeschwindigkeit ω zusammen:

Drehimpuls = Trägheitsmoment mal Winkelgeschwindigkeit

$L = I \cdot \omega$

Gnowigate

Abb. 28: Screenshot der Erklärungsfolie für den Drehimpulserhaltungssatz aus dem Lösungsvideo.

! Wenn sich in einem abgeschlossenen System das Trägheitsmoment ändert (durch beispielsweise Anziehen der Arme), so ändert sich auch entsprechend die Winkelgeschwindigkeit, damit das Produkt aus

Drehimpuls = Trägheitsmoment mal Winkelgeschwindigkeit

$L = I \cdot \omega$

konstant (erhalten bleibt).

Gnowigate

Abb. 29: Screenshot einer Erklärungsfolie für den Zusammenhang der Größen Drehimpuls, Trägheitsmoment und Winkelgeschwindigkeit.

Anschließend werden alle theoretischen Inhalte miteinander in Beziehung gesetzt, was in Abbildung 29 zu sehen ist.

Auf der Erklärungsfolie (Abb. 29) wird den Lernenden in einfachen Worten erklärt, wie die physikalischen Größen Drehimpuls (L), Trägheitsmoment (I) und Winkelgeschwindigkeit (ω) miteinander zusammenhängen, bzw. dass das Produkt von I und ω in einem abgeschlossenen System konstant (erhalten) bleiben muss. Um diesen Sachverhalt für die Lernenden anschaulicher zu gestalten, wird in diesem Video in weiterer Folge dieser physikalische Zusammenhang anhand der rotierenden Schülerin experimentell erklärt. Abbildung 30 zeigt einen Screenshot, in welchem zunächst die Drehachse, um der die Rotation stattfindet, eingeblendet und beschriftet ist. Dieses Standbild dient für die Lernenden als langsame Orientierung, um so Schritt für Schritt der physikalischen Auflösung gedanklich folgen zu können.

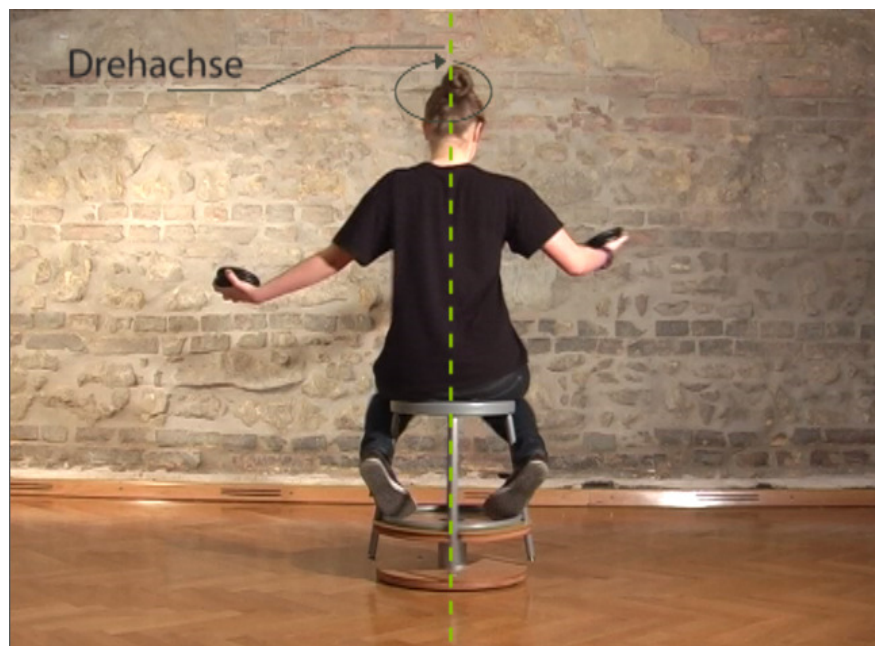


Abb. 30: Screenshot des Standbilds aus dem Lösungsvideo, in welchem die Drehachse eingeblendet und beschriftet ist.

Das Video läuft dann weiter und das nächste Standbild wird erst dann gemacht, wenn das Mädchen die Arme nahe zum Körper gezogen hat. Mit Hilfe dieses Bildes wird dann der physikalische Sachverhalt aus Abbildung 29 erklärt. Abbildung 31 zeigt diesen Screenshot.



Abb. 31: Screenshot des Standbildes aus dem Video. Hier ist der physikalische Zusammenhang kurz und anschaulich dargestellt.



Abb. 32: Screenshot des Standbildes, in dem die Schülerin die Arme (Gewichte) weit von ihrem Körper (und der Drehachse) weggestreckt hat.

Das nächste Standbild wird an jener Stelle sein, an der die Schülerin die Arme weit von ihrem Körper (weit von der Drehachse) weggestreckt hat. Hier wird die umgekehrte Situation anschaulich dargestellt, denn diesmal sind die Gewichte weit von der Drehachse entfernt und das Trägheitsmoment daher größer. Folglich muss die Winkelgeschwindigkeit kleiner sein, damit das Produkt aus I und ω konstant bleibt. Abbildung 32 zeigt den zugehörigen Screenshot.

Zum Abschluss dieses Videos wird der wesentliche Lerninhalt noch einmal kurz auf zwei Erklärungsfolien zusammengefasst. Abbildung 33 zeigt den Screenshot einer solchen Folie. Damit endet die Lösung nach 2:47 min.



Abb. 33: Screenshot der abschließenden Zusammenfassung.

4.1.3 Zusatzaufgaben / Zusatzmaterial

Trägheitsmomente von Trinkhalmen

In dieser Anleitung zum Selbermachen (Berthold, Christ, Braam, Haubrich, Herfert, Hilscher, Kraus & Möller, 2006, S. 171) für ein Freihandexperiment, können Schüler(innen) mit Hilfe eines einfachen Aufbaus die unterschiedlichen Trägheitsmomente von Trinkhalmen erspüren. Die Materialien, die sie dazu benötigen, sind lediglich zwei

Trinkhalme, vier Büroklammern und eine Schere. Die Büroklammern werden dabei wie in Abbildung 34 befestigt.

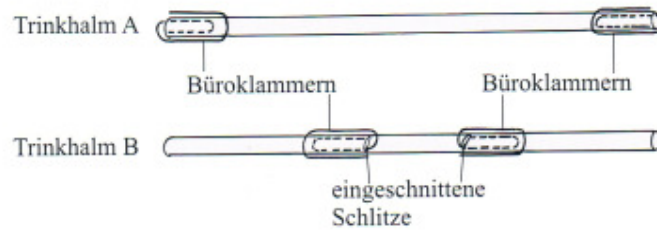


Abb. 34: Versuchsaufbau des Freihandexperiments (Berthold et al., 2006, S. 171).

Der Versuch wird so durchgeführt, dass die Trinkhalme jeweils zwischen Daumen und Zeigefinger gehalten und gedreht werden. Abbildung 35 veranschaulicht die Versuchsdurchführung. (Berthold et al., 2006, S. 171)

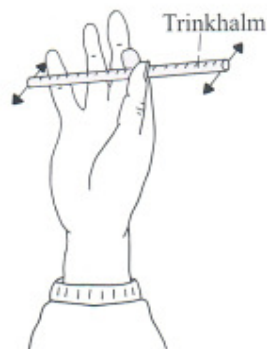


Abb. 35: Versuchsdurchführung (Berthold et al., 2006, S. 171).

Trinkhalm A (siehe Abb. 34) wird dabei schwerer in Rotation zu setzen sein als Trinkhalm B, da die Büroklammern weiter von der in Abbildung 35 gewählten Drehachse entfernt liegen. Das Trägheitsmoment von Trinkhalm A ist um die ausgewählte Drehachse (Abb. 35) nämlich größer als bei Trinkhalm B.

Welcher Stab fällt schneller um

Dieses Zusatzmaterial ist für die Schüler(innen) wieder eine Anleitung für ein Freihandexperiment, das sie in etwaigen Supplierstunden oder als Hausaufgabe zu Hause durchführen können. Die dafür benötigten Materialien sind lediglich vier gleich lange Trinkhalme, zwei Murmeln oder ähnliche Kugeln und etwas Klebeband. Abbildung 36 verdeutlicht Versuchsaufbau- und Durchführung. Eine ausführlichere Beschreibung des Versuchsaufbaus findet sich auf der Lernplattform (Berthold et al., 2006, S. 173).

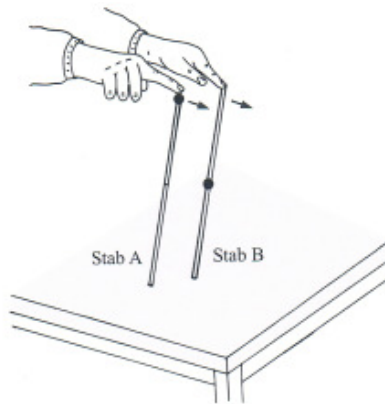


Abb. 36: Versuchsaufbau- und Durchführung (Berthold et al., 2006, S. 173).

Weitere Aufgaben

Hier bekommen die Lernenden zwei theoretische Zusatzfragen gestellt, welche sie nach gewissenhaftem Studium der Lernobjekte beantworten können müssten. Die erste Frage „Erkläre die Pirouette bei einer Eiskunstläuferin“ ist ähnlich zu beantworten wie bei dem Lernobjekt in Kapitel 4.1.2. Bei ausgestreckten Armen hat die Eiskunstläuferin ein größeres Trägheitsmoment um ihre Longitudinalachse als bei angezogenen Armen, weshalb sie sich schneller dreht.

Die zweite Frage bei diesem Zusatzmaterial lautet: Warum ist die Angabe „Das Trägheitsmoment von Herrn Meier beträgt 90 kg m^2 “ nicht sinnvoll? Die Antwort ist, dass bei dieser Angabe keine Drehachse angegeben ist, auf welche sich dieses Trägheitsmoment beziehen soll. Die Angabe eines Trägheitsmoments macht nur Sinn, wenn die zugehörige Drehachse angegeben ist, da ein Körper um unterschiedliche Drehachsen auch unterschiedliche Trägheitsmomente besitzt (Baca, 2010).

Saltospringer



Abb. 37: Screenshot des Rückwärtssaltos des Mannes.

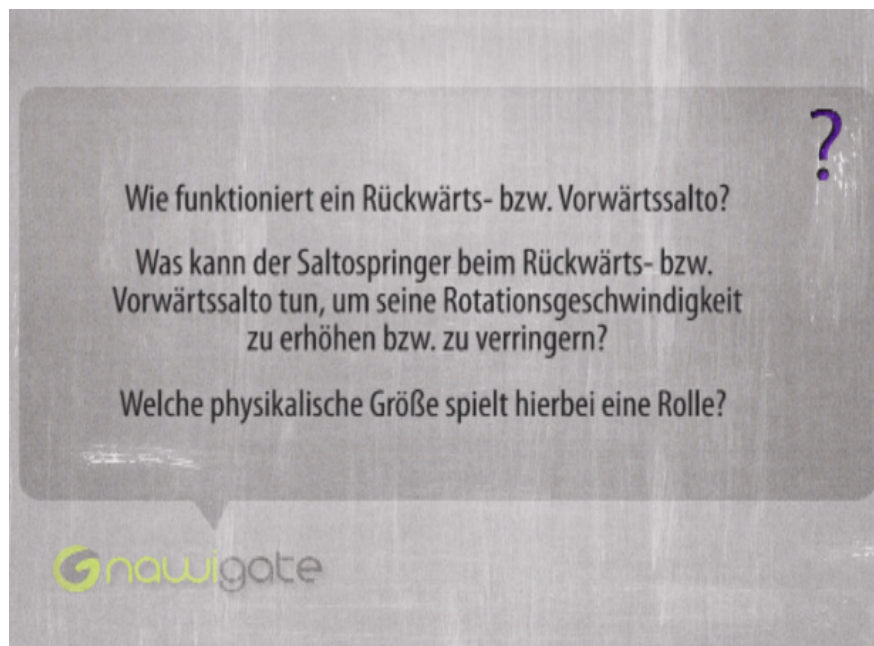


Abb. 38: Screenshot der Fragefolie, welche die Schüler(innen) auf die Größe des Trägheitsmoments hinführen soll.

Dieses Zusatzmaterial in Form eines Videos soll den Schüler(innen) helfen, den Begriff des Trägheitsmoments mit anderen sportlichen oder alltäglichen Rotationen zu verbinden. In diesem Videozusatzmaterial wird demnach ein junger Mann gezeigt, der auf einem großen Trampolin sowohl Vorwärts- als auch Rückwärtssaltos springt. Die Lernenden sollen sich nach Betrachten des Ablaufs in Zeitlupe Gedanken darüber machen, wie diese Bewegung biomechanisch funktioniert. In Abbildung 37 ist ein Screenshot des springenden Mannes, und in Abbildung 38 der anschließenden Fragefolie zu sehen, welche die Schüler(innen) nach der Videosequenz des Springers zu sehen bekommen.

Nach dieser Fragefolie wird noch einmal eine kurze Videosequenz des Saltospringers mit Standbildern gezeigt, in welchen die theoretischen Erklärungen eingeblendet werden. Somit wird im am Ende des Videos für die Lernenden alles aufgelöst.

4.2 Modul Drehimpulserhaltung

Dieses Lernmodul soll den Schüler(innen) (ohne Veränderung des Trägheitsmoments) das Konzept der Drehimpulserhaltung anschaulich näher bringen. Dazu gibt es wiederum zwei Lernblöcke, welche hier jeweils den gleichen Versuchsaufbau und eine ähnliche Versuchsdurchführung, jedoch mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen zu Beginn des Experiments, zeigen. Durch diese Variation der Anfangsbedingungen soll nun der Vektorcharakter des Drehimpulses sowie dessen Erhaltung in geschlossenen Systemen besser verstanden werden.

4.2.1 Lernblock „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 1“

Aufgabe

Die Länge dieses Videos beträgt 1:29 min. Zu Beginn wird mit einer einleitenden Folie auf das bevorstehende Experiment vorbereitet. Abbildung 39 zeigt den Screenshot der Textfolie, welche auf die anfänglichen Rahmenbedingungen des Versuchablaufs hinweist.

Nach dieser Textfolie folgt ein Standbild der Schülerin, welche sich, wie auf der Textfolie in Abbildung 39 beschrieben, in der entsprechenden Ausgangsposition befindet. Abbildung 40 zeigt diesen Screenshot.

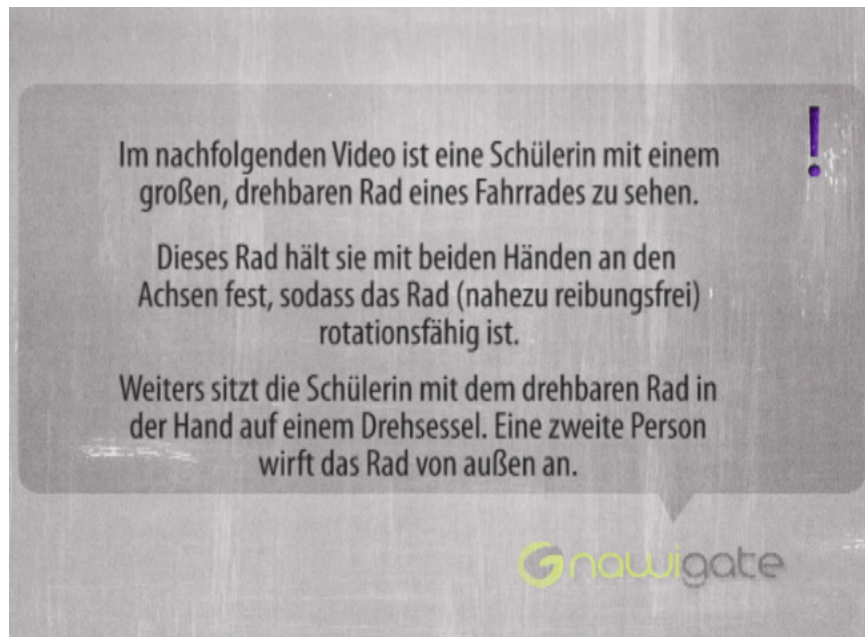


Abb. 39: Screenshot der Textfolie zu Beginn des Videos, welche die Rahmenbedingungen des Experiments erläutert.

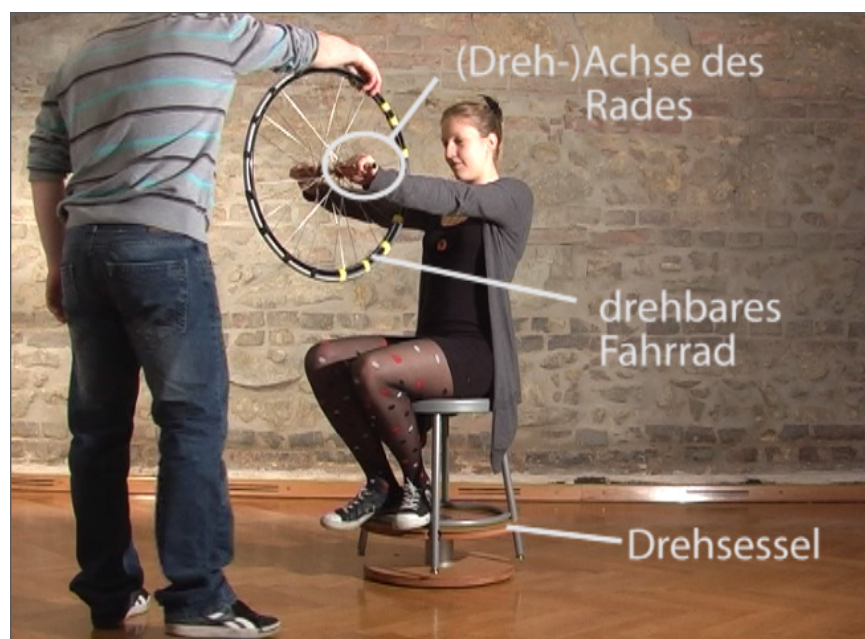


Abb. 40: Screenshot des Standbildes. In diesem Bild wird den Lernenden der Versuchsaufbau noch einmal visuell dargestellt.

Nach diesem Standbild sieht man in einer kurzen Videosequenz wie der junge Mann das drehbare Rad, welches sich in den Händen der Schülerin befindet, von außen anwirft. Nachdem das Rad in Rotation versetzt ist, wird wieder ein Standbild gemacht. Der Unterschied zu dem Bild in Abbildung 40 liegt nun darin, dass das Rad rotiert, also einen Drehimpuls besitzt. Diese Ausgangssituation ist für den weiteren Verlauf des Experiments sehr wichtig, weshalb sie in dem Video sehr genau analysiert wird. So werden mehrere Fragen in diesem Standbild eingeworfen. Eine dieser Fragen ist in Abbildung 41 zu sehen.

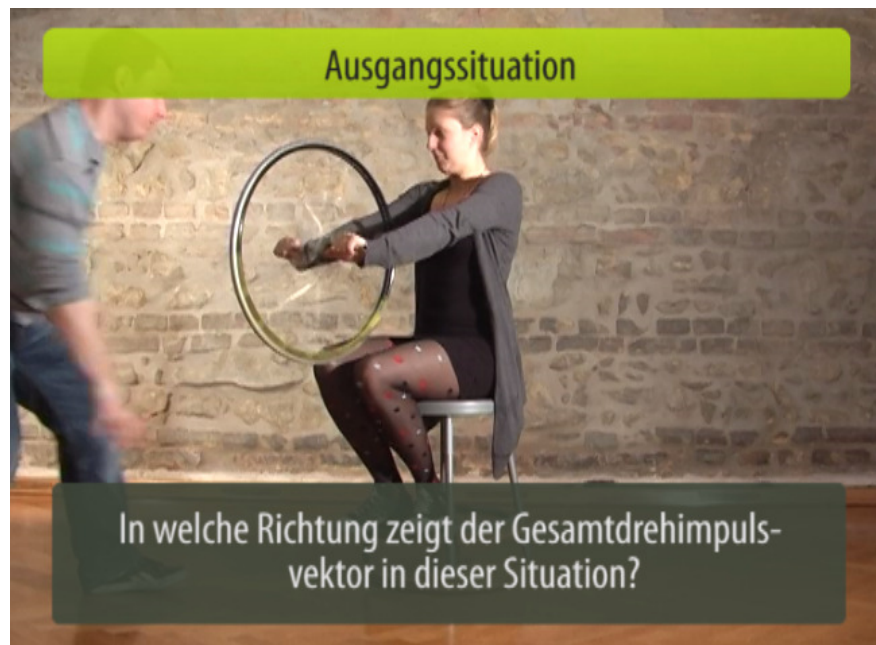


Abb. 41: Screenshot des Standbildes, kurz nachdem das Rad von außen angeworfen wurde. In der unteren grauen Textbox werden nacheinander mehrere Fragen eingeblendet.

In Abbildung 41 ist die Frage zu sehen, in welche Richtung der Gesamtdrehimpulsvektor in dieser Situation zeigt. Weitere Fragen, welche nacheinander in der unteren grauen Textbox eingeblendet werden, sind:

- Wie hält die Schülerin das Rad in der Hand?
- Wo befinden sich ihre Füße?

Außerdem wird zu Beginn dieses Standbildes (Abb. 41) auch kurz erwähnt, dass der Drehsessel in Ruhe ist und nur das Rad rotiert.

Durch die bisherigen Ausführungen wissen die Schüler(innen) genau über die Ausgangssituation des Experiments Bescheid. Am Ende des Videos werden die Lernenden nun vor eine Denksportaufgabe gestellt. Mit Hilfe der Drehimpulserhaltung sollen die Jugendlichen nun herausfinden, was passiert, wenn die Schülerin in dem Video das Rad nun von ihr aus gesehen nach rechts kippt. Abbildung 42 zeigt den Screenshot der abschließenden Fragefolie.

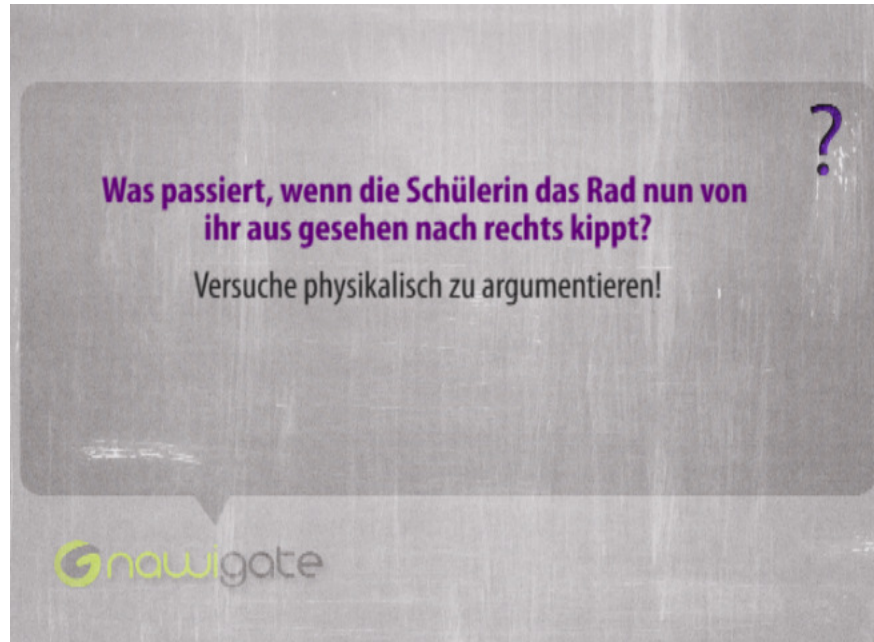


Abb. 42: Screenshot der abschließenden Fragefolie des Videos.

Diese Aufgabe können die Schüler(innen) nur dann selbständig lösen, wenn sie das Prinzip der Drehimpulserhaltung bereits verstanden haben. Andernfalls kann dieser Lernblock (in Verbindung mit der Lösung) aber auch dazu dienen, den Drehimpulssatz als auch den vektoriellen Charakter des Drehimpulses zu verstehen.

Lösung

Die Dauer des Lösungsvideos beträgt 4:31 min. Zu Beginn des Videos werden gleich die ersten Fragen zur Ausgangssituation aus dem Aufgaben-Video (siehe Abbildung 41) nacheinander beantwortet. Dabei wechseln Textfolie und Standbild einander ab, um die Erklärung bzw. Analyse gleich auf einem Standbild des Experiments zu veranschaulichen.

Die Abbildungen 43 bis 46 zeigen entsprechende Screenshots. Somit können die Schüler(innen) gleich ihre eigenen Analysen der Anfangsbedingungen des Experiments mit denen der Lösung abgleichen.

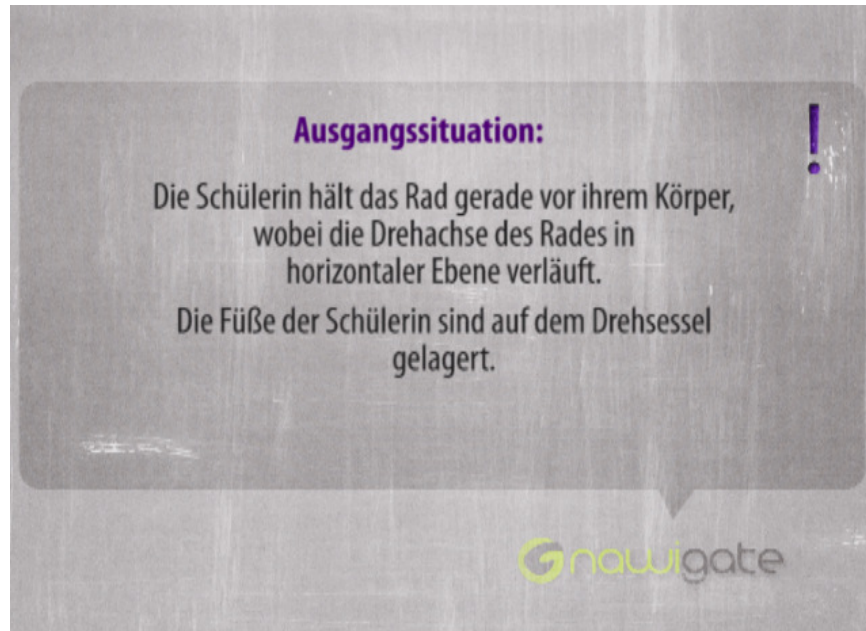


Abb. 43: Screenshot einer Antworttextfolie zu Beginn der Lösung.

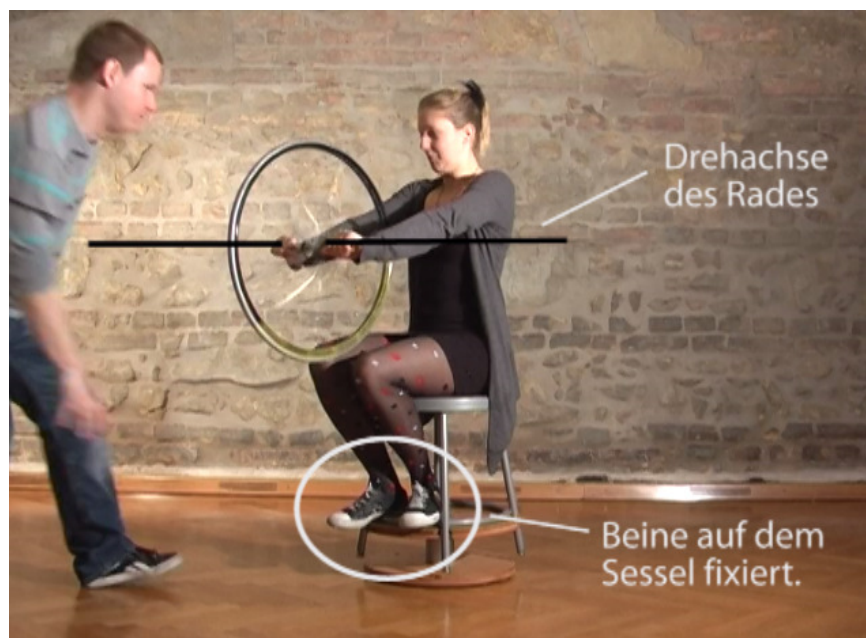


Abb. 44: Die in Abbildung 43 gezeigte Erklärung wird gleich in einem anschließenden Standbild veranschaulicht.

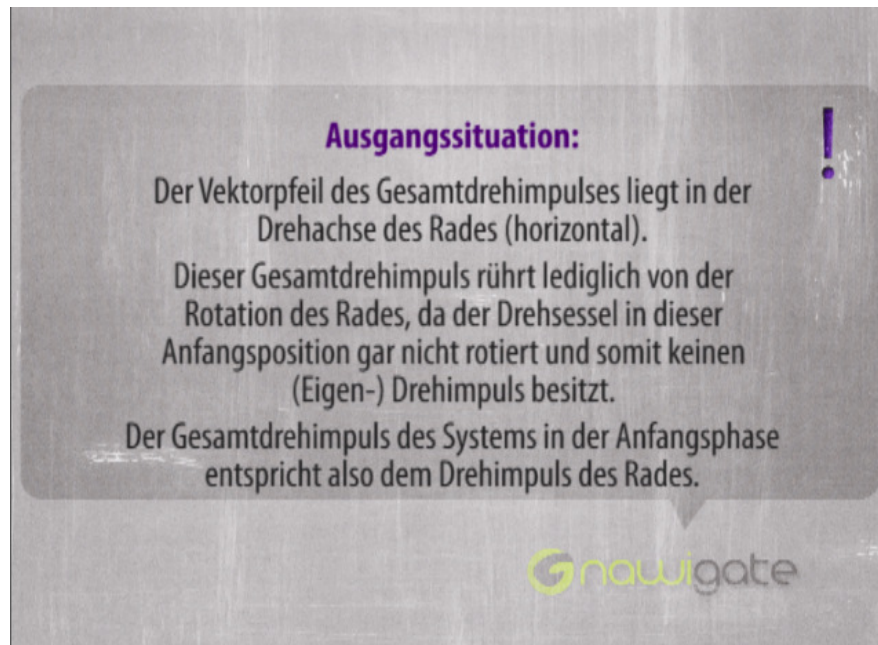


Abb. 45: In dieser Textfolie wird die Richtung und die Herkunft des Drehimpulsvektors ausführlich erklärt.



Abb. 46: Screenshot des Standbilds zur Veranschaulichung der Richtung des Drehimpulsvektors.

Ebenso wird in einer Textfolie die Richtung und die Herkunft des Gesamtdrehimpulsvektors zu Beginn des Experiments erklärt (siehe Abb. 45). Nach dieser Textfolie wird der Vektor zum besseren Verständnis der Lernenden wieder anschaulich im darauf nachfolgenden Standbild eingezeichnet. Abbildung 46 zeigt einen Screenshot dieses Standbildes.

Die Auflösung dieser Ausgangssituation zu Beginn der Lösung dauert ungefähr eine Minute. Danach befasst sich das Video mit der Hauptfrage aus der Aufgabe, nämlich was passiert, wenn die Schülerin das Rad von ihr aus gesehen nach rechts kippt. Dazu wird die Sequenz des Experiments weitergelaufen lassen, um zu sehen was geschieht. Der experimentelle Befund (die Schülerin beginnt mit dem Drehsessel im Uhrzeigersinn zu rotieren) wird anschließend auf einer Textfolie festgehalten.

Anschließend geht dieses Video den physikalischen Ursachen nach, wieso die Schülerin plötzlich zu rotieren beginnt. Dazu werden zwei Textfolien zur Theorie der Drehimpulserhaltung eingeblendet. Abbildung 47 zeigt den Screenshot einer dieser Textfolien.

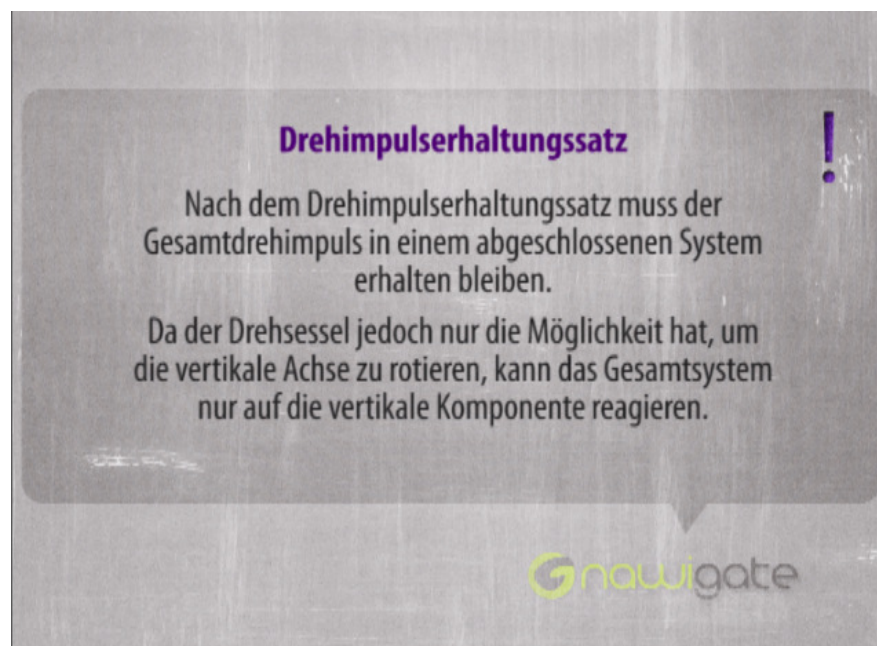


Abb. 47: Screenshot einer Textfolie zur Erläuterung der Drehimpulserhaltung (bezogen auf das in dem Lernobjekt dargestellte Experiment).

Da die Schüler(innen) nun wissen, dass sie sich hier ausnahmsweise nur auf eine Komponente (die Vertikalkomponente) konzentrieren müssen, widmet sich die Lösung anschließend der Analyse des Kippvorgangs. Abbildung 48 zeigt einen Screenshot der Videosequenz, bevor das Rad nach rechts gekippt wird.



Abb. 48: Screenshot des Standbildes aus der Kippsequenz, bevor das Rad gekippt wird. Hier wird den Schüler(innen) gezeigt, dass der Drehimpulsvektor zu Beginn keine vertikale Komponente hat.

Nach diesem Standbild wird die Videosequenz des Experiments einfach weiterlaufen gelassen. Die Schülerin kippt darin das Rad um 90 Grad nach rechts. Danach wird wieder ein Standbild zur Analyse gemacht (Abb. 49).

Um den Lernenden zu zeigen, dass die vertikale Komponente des Gesamtdrehimpulsvektors aus der Anfangssituation tatsächlich erhalten ist, wird in der Lösung in weiterer Folge der Drehimpulsvektor des Drehsessels mit der Schülerin eingezeichnet. In Abbildung 50 ist zu sehen, dass die vektorielle Summe dieser beiden Teildrehimpulse (Rad und Drehsessel) Null ergibt, wodurch die Vertikalkomponente erhalten ist.



Abb. 49: Screenshot des Standbildes nach dem Kippvorgang. Der Drehimpulsvektor des Rades zeigt durch den Kippvorgang nun ausschließlich in vertikaler Richtung.



Abb. 50: Screenshot des Standbildes zur Erklärung der Drehimpulserhaltung.

Gegen Ende des Videos wird der wesentliche Lerninhalt auf zwei Textfolien noch einmal zusammengefasst. Abbildung 51 zeigt den Screenshot einer solchen Folie.

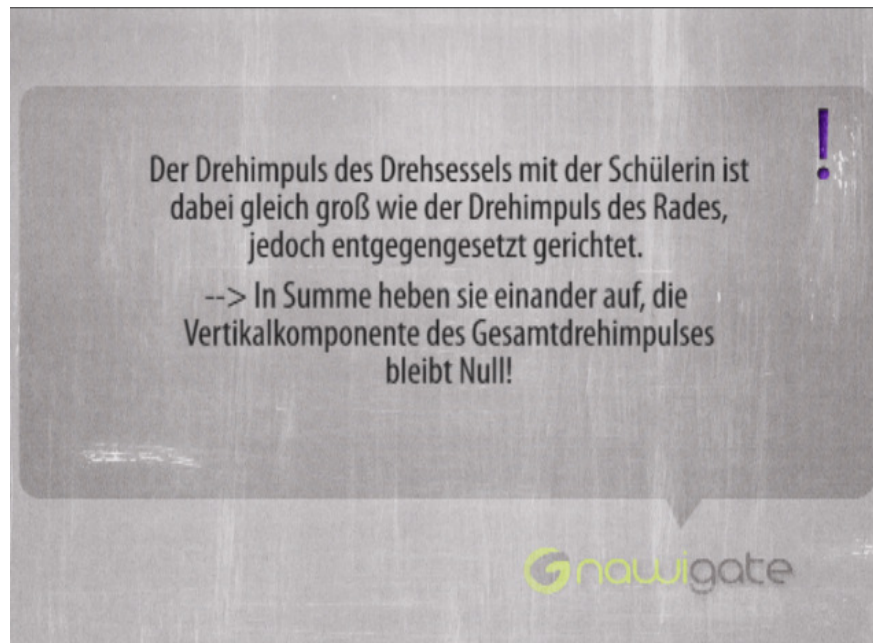


Abb. 51: Screenshot einer Textfolie am Ende der Lösung.

4.2.2 Lernblock „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 2“

Aufgabe

Die Länge dieses Videos beträgt 1:34 min. Zu Beginn wird, ähnlich wie bei der Aufgabe in 4.2.1 (siehe Abb. 39) mit einer anfänglichen Textfolie auf das bevorstehende Experiment vorbereitet.

Nach dieser Textfolie folgt wiederum ein Standbild der Schülerin, welche sich wie in der Textfolie beschrieben, in der entsprechenden Ausgangsposition befindet. Abbildung 52 zeigt diesen Screenshot.

Der wesentliche Unterschied zu dem Lernblock „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 1“ besteht darin, dass das Rad in ihrer Hand in Rotation versetzt wird, bevor sie sich auf den Sessel setzt. Außerdem gibt sie das Rad in eine andere Position, bevor sie sich auf den Drehsessel setzt, wodurch sich eine völlig neue Ausgangsposition im Vergleich zu Kapitel 4.2.1 ergibt. Nachdem das Rad also in Rotation versetzt ist und die Schülerin auf dem

Drehsessel Platz genommen hat, wird wieder ein Standbild gemacht. In Abbildung 53 ist der entsprechende Screenshot zu sehen.



Abb. 52: Screenshot des Standbildes. In diesem Bild wird den Lernenden der Versuchsaufbau noch einmal visuell dargestellt.



Abb. 53: Screenshot des Standbildes, kurz nachdem das Rad von außen angeworfen wurde und die Schülerin Platz genommen hat. In der unteren grauen Textbox werden nacheinander mehrere Fragen eingeblendet.

Diese Ausgangssituation ist für den weiteren Verlauf des Experiments wieder sehr wichtig, weshalb sie auch in dieser Lösung sehr genau beleuchtet wird. So werden einige Fragen zu der Ausgangssituation in diesem Standbild eingeworfen. Eine dieser Fragen ist in Abbildung 53 zu sehen. Die Fragen, welche in der grauen Textbox (Abb. 53) nacheinander eingeblendet werden, unterscheiden sich wörtlich und inhaltlich nicht von den Fragen der Aufgabe in Kapitel 4.2.1. So ist auch in diesem Video angemerkt, dass in dieser Situation (Abb. 53) zunächst nur das Rad rotiert, der Drehsessel mit der Schülerin aber in Ruhe ist.

Durch die bisherigen Ausführungen wissen die Schüler(innen) wieder in etwa über die Ausgangssituation des Experiments Bescheid. Am Ende des Videos werden die Lernenden wiederum vor eine ähnliche Denksportaufgabe wie in Kapitel 4.2.1 gestellt. Mit Hilfe der Drehimpulserhaltung sollen die Jugendlichen nun herausfinden, was passiert, wenn die Schülerin in dem Video das Rad nun von ihr aus gesehen nach rechts kippt. Abbildung 54 zeigt den Screenshot der abschließenden Fragefolie des Videos.

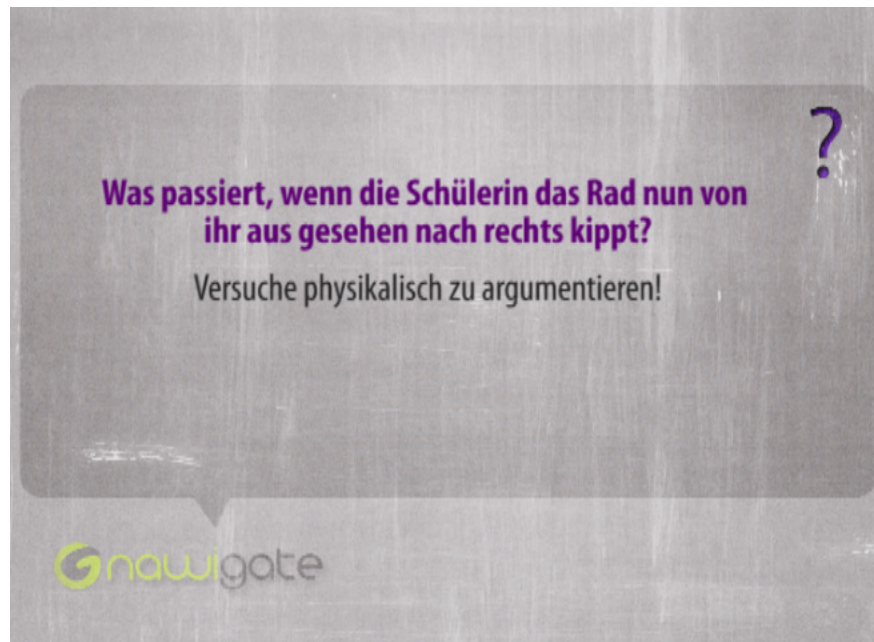


Abb. 54: Screenshot der abschließenden Fragefolie.

Diese Aufgabe können die Schüler(innen) selbständig lösen, wenn sie bereits den Lernblock „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 1“ verstanden haben.

Lösung

Die Dauer der Lösung beträgt 3:50 min. Gleich zu Beginn des Videos werden, wie schon bei dem Lernblock in Kapitel 4.2.1, die Fragestellungen aus der Aufgabe zu der Ausgangssituation beantwortet. Dabei wechseln wieder Textfolie und Standbild einander ab. Abbildung 55 zeigt einen Screenshot des Standbilds zur Auflösung der Ausgangssituation des Experiments.



Abb. 55: Screenshot des Standbildes zu Beginn der Lösung.

Ebenfalls wird auch die Richtung des Gesamtdrehimpulses zu Beginn des Experiments in einer Textfolie erklärt und dargestellt. Abbildung 56 zeigt den Screenshot, der in einem Standbild dargestellten Richtung des Drehimpulsvektors.

Anschließend widmet sich dieses Video wieder der Hauptfragestellung aus dem zugehörigen Video der Aufgabe: Was passiert, wenn die Schülerin auf dem Drehsessel das rotierende Rad von ihr aus gesehen um 90 Grad nach rechts kippt und warum? Dazu wird die Videosequenz des Experiments im Lösungsvideo einfach weiterlaufen gelassen, um anschließend in einer Textfolie den experimentellen Befund (Die Schülerin beginnt mit dem Drehsessel im Uhrzeigersinn zu rotieren) festzuhalten.



Abb. 56: Screenshot des Standbildes zur Auflösung der Ausgangssituation.

Um der physikalischen Ursache wieder auf den Grund zu gehen, werden, wie bei der Lösung in Kapitel 4.2.1, wieder einige Textfolien zur Theorie der Drehimpulserhaltung gezeigt.



Abb. 57: Screenshot des Standbildes vor dem Kippvorgang.

Nach der Erklärung des Drehimpulserhaltungssatzes widmet sich das Video wieder dem Kippvorgang. Dazu wird der Drehimpulsvektor vor dem Kippvorgang noch einmal analysiert (Abb. 57).

Der Drehimpulssatz soll für die Schüler(innen) nun verständlich auf dieses Experiment angewandt werden, weshalb auf der im Video nachfolgenden Textfolie die Theorie (bezogen auf das Standbild in Abb. 57) passend aufbereitet wird. Abbildung 58 zeigt einen Screenshot dieser Textfolie.

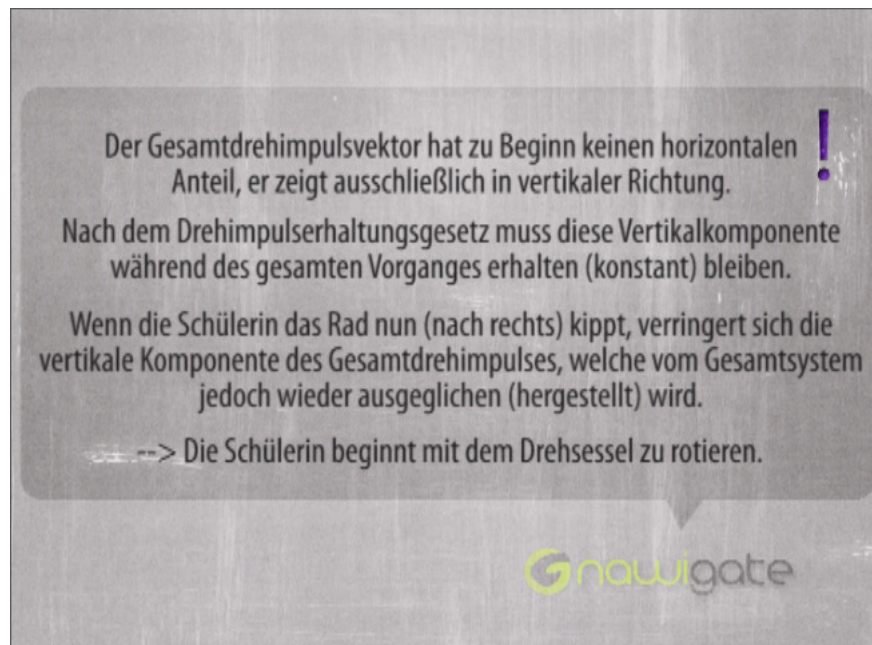


Abb. 58: Screenshot der Textfolie zur Anwendung des Drehimpulssatzes auf dieses Experiment.

Anschließend sieht man die Sequenz des Kippvorganges, wobei nach der 90 Grad-Kippung des Rades wieder ein Standbild im Video zu sehen ist, in welchem zum vollständigen Verständnis alle Drehimpulsvektoren eingezeichnet sind. Abbildung 59 zeigt den Screenshot dieses Bildes.

In Abbildung 59 ist jedoch noch nicht der Vektor des Drehsessels mit der Schülerin zu sehen, welcher erst später eingeblendet wird (Abb. 60).



Abb. 59: Screenshot des Standbildes nach dem Kippvorgang. Hier ist der Drehimpulsvektor des Rades eingezeichnet und gekennzeichnet.



Abb. 60: Screenshot des Standbildes nach dem Kippvorgang. Diesmal sind alle Drehimpulsvektoren eingeblendet.

Danach werden zum Abschluss dieses Videos zur Lösung noch einmal die essentiellen Lerninhalte auf einer Textfolie zusammengefasst (Abb. 61).

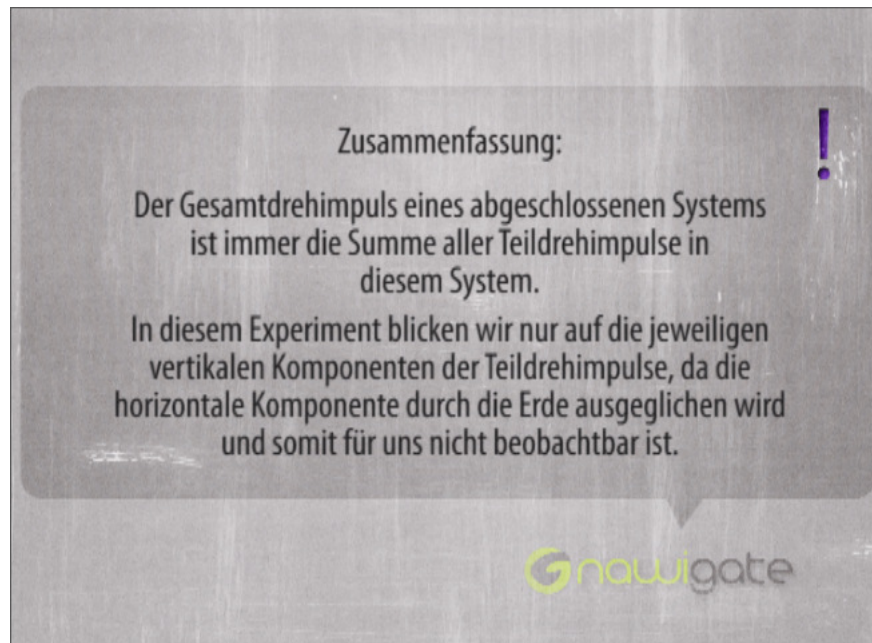


Abb. 61: Screenshot der Abschlussfolie des Lösungsvideos.

Man erkennt, dass sich dieser Lernblock sehr mit dem Lernblock „Rad Teil 1“ ähnelt. Die Schüler(innen) sollen hier jedoch ihr bisher verstandenes Wissen in einer neuen Ausgangssituation anwenden und verstehen lernen.

Die Lernblöcke (vor allem die Aufgaben) aus dem in diesem Kapitel vorgestellten Modul „Drehimpulserhaltung“ eignen sich besonders gut zur Überprüfung und Vertiefung der physikalischen Kompetenzen der Schüler(innen).

4.2.3 Zusatzaufgaben / Zusatzmaterial

Zusatzaufgabe Rad Teil 1 (Video)

Diese Zusatzaufgabe in Form eines Videos, welche sich auf den in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Lernblock bezieht, wird mit einer Textfolie begonnen. Darin wird der bisherige experimentelle Befund aus dem Lösungsvideo „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 1“ zur Wiederholung noch einmal beschrieben. Anschließend wird auch die

Sequenz der Schülerin auf dem Drehsessel gezeigt, in welcher sie das Rad von ihr aus gesehen nach rechts kippt und anschließend mit dem Drehsessel im Uhrzeigersinn zu rotieren beginnt. Danach wird das Video mit einer Textfolie fortgeführt. In dieser Folie werden die Lernenden vor eine neue Aufgabe gestellt (siehe Abb. 62).

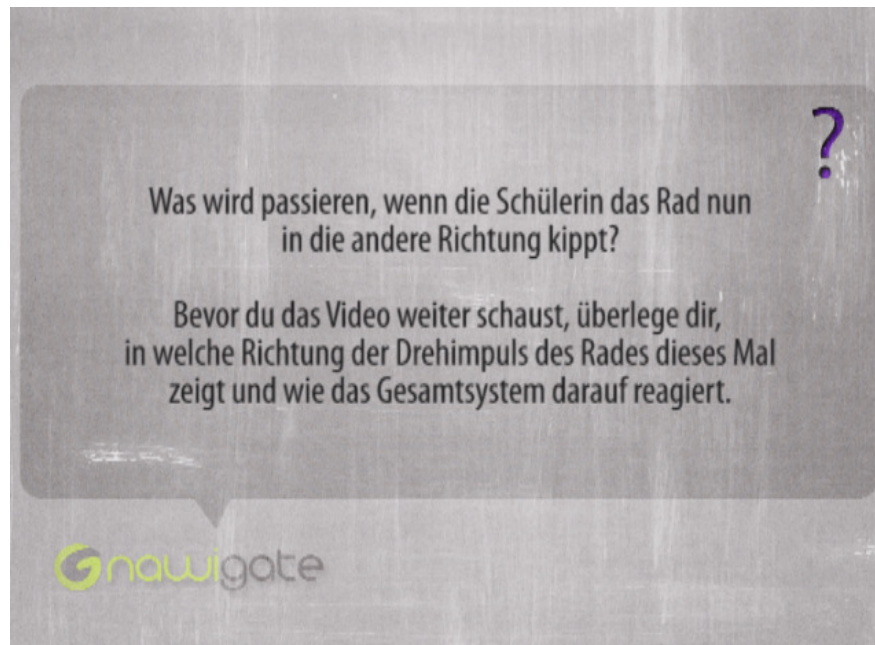


Abb. 62: Screenshot der Textfolie, welche die Schüler(innen) vor eine neue Denkaufgabe stellt.

Danach wird in zwei Textfolien, die in Abbildung 62 gezeigte Aufgabenstellung aufgelöst. Ebenso wird im Video eine kurze Sequenz der Schülerin auf dem Drehsessel gezeigt, in welcher sie das Rad nun in die andere Richtung kippt, und somit mit dem Drehsessel in die andere Richtung zu rotieren beginnt. Abbildung 63 zeigt nun einen Screenshot einer Textfolie, welche das Phänomen kurz erklären soll.

Zum Schluss dieses Zusatzmaterials wird der Lerninhalt, ähnlich wie in der Lösung in Kapitel 4.2.1, anhand der Videosequenz mit der Schülerin auf dem Drehsessel erklärt, wobei wieder alle Teildrehimpulsvektoren eingezeichnet sind. Abbildung 64 zeigt einen Screenshot dieser Darstellung.

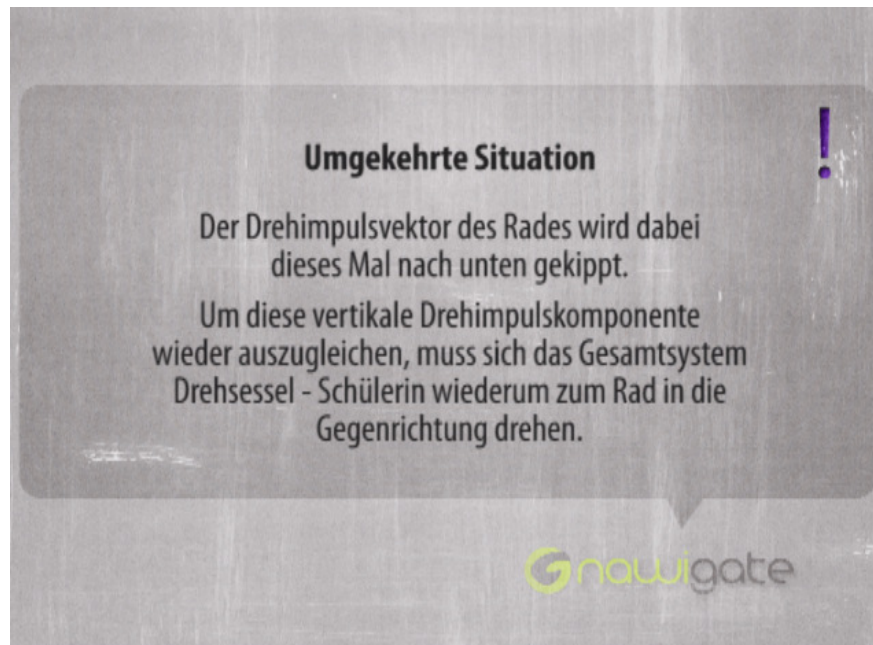


Abb. 63: Screenshot der Textfolie, welche das Phänomen kurz erklärt.



Abb. 64: Screenshot der anschaulichen Darstellung aller Drehimpulsvektoren in der Videosequenz.

Zusatzaufgabe Rad Teil 2 (Video)

Diese Zusatzaufgabe in Form eines Videos, welche sich auf den in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Lernblock bezieht, ähnelt vom Aufbau her sehr mit „Zusatzaufgabe Rad Teil 1“. Auch hier wird zu Beginn unter anderem eine Textfolie gezeigt. Darin wird der bisherige experimentelle Befund aus der Lösung „Drehsesselexperiment mit dem Rad Teil 2“ zur Wiederholung noch einmal beschrieben. Anschließend wird auch in dieser Zusatzaufgabe die Sequenz der Schülerin auf dem Drehsessel gezeigt, in welcher sie das Rad von ihr aus gesehen nach rechts kippt und anschließend mit dem Drehsessel im Uhrzeigersinn zu rotieren beginnt. Danach wird das Video wieder mit einer Textfolie fortgeführt, um die Lernenden vor eine neue Aufgabe zu stellen (siehe Abb. 65).

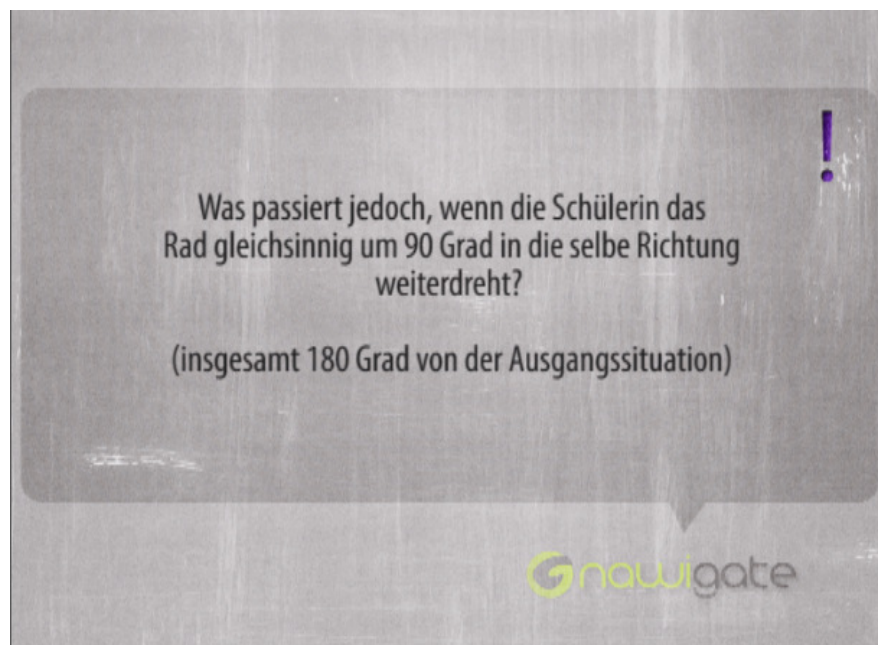


Abb. 65: Screenshot der Textfolie, welche die Lernenden vor eine neue Aufgabe stellt.

Die Aufgabenstellung wird noch im selben Videozusatzmaterial aufgelöst. Abbildung 66 zeigt den Screenshot der Textfolie, welche die in Abbildung 65 gezeigte Fragestellung beantwortet.

Wie im Screenshot in Abbildung 66 zu sehen ist, wird die Videosequenz mit der Schülerin fortgeführt, um die Vermutungen experimentell zu verifizieren. Danach wird, ähnlich wie beim Zusatzmaterial „Rad Teil 1“, der theoretische Inhalt anhand eines Standbildes der

Schülerin auf dem Drehsessel dargestellt. Dazu sind wieder alle Drehimpulsvektoren eingezeichnet. Abbildung 67 zeigt den zugehörigen Screenshot dieses Standbildes.

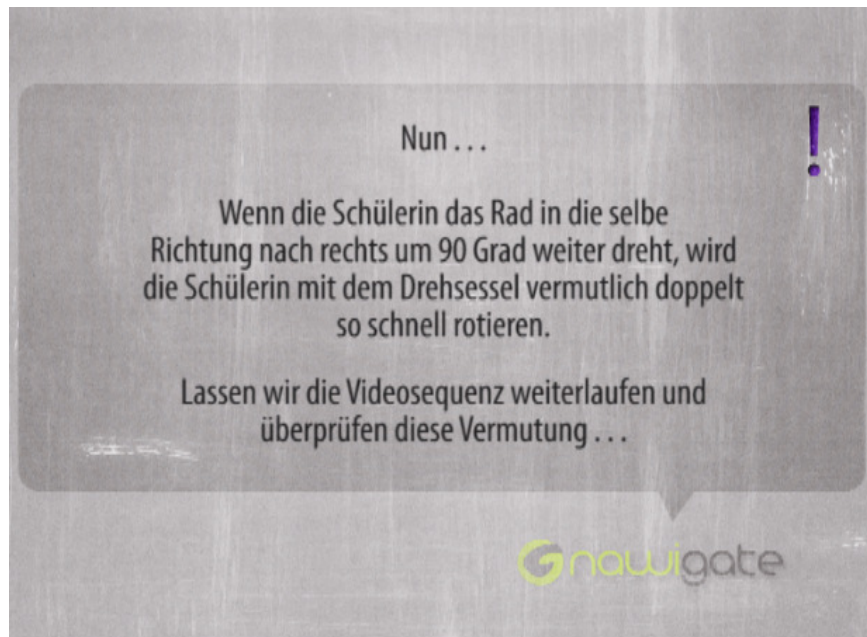


Abb. 66: Screenshot der Antworttextfolie.



Abb. 67: Screenshot des Standbildes, welche die Theorie der Drehimpulserhaltung veranschaulicht.

Abschließend wird in diesem Videozusatzmaterial eine Textfolie eingeblendet, welche alle Lerninhalte noch einmal zusammenfasst (Abb. 68).

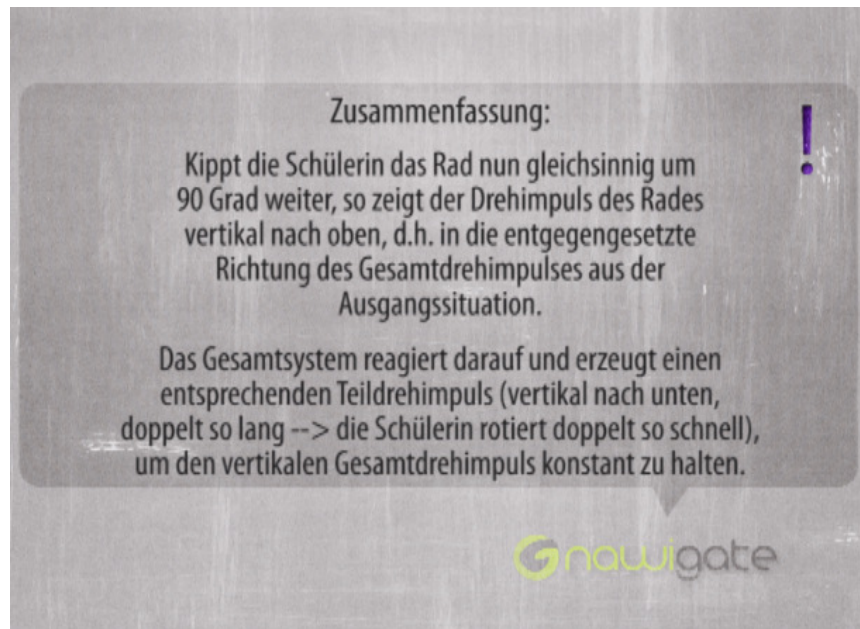


Abb. 68: Screenshot der abschließenden Textfolie des Videozusatzmaterials.

Zusatzmaterial „Clip Trinity Fenstersprung“ (Video)

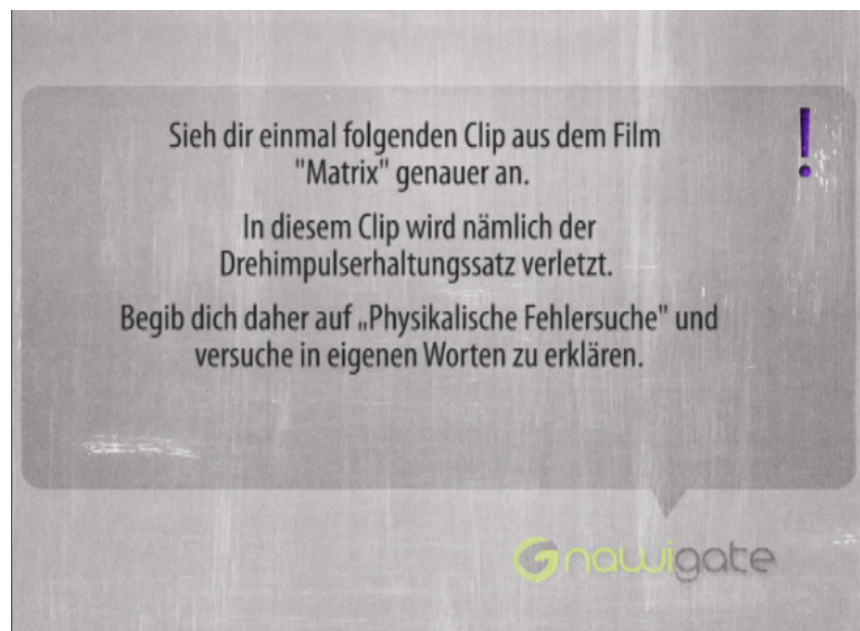


Abb. 69: Screenshot der Textfolie, welche zu Beginn des Zusatzmaterials zu sehen ist.

Dieses Videozusatzmaterial (Dauer: 1:34 min) zeigt einen kurzen Videoclip aus dem Film „Matrix“. Eröffnet wird das Videomaterial mit der in Abbildung 69 dargestellten Textfolie. Danach wird ein Ausschnitt aus dem Film „Matrix“ gezeigt, wobei die Schüler(innen) selbst darauf kommen sollten, wo der physikalische Fehler vorkommt. Nach dem Videoclip des Kinofilms wird in einer weiteren Textfolie die Fehlersuche der Schüler(innen) aufgelöst. Abbildung 70 zeigt den Screenshot dieser Textfolie.

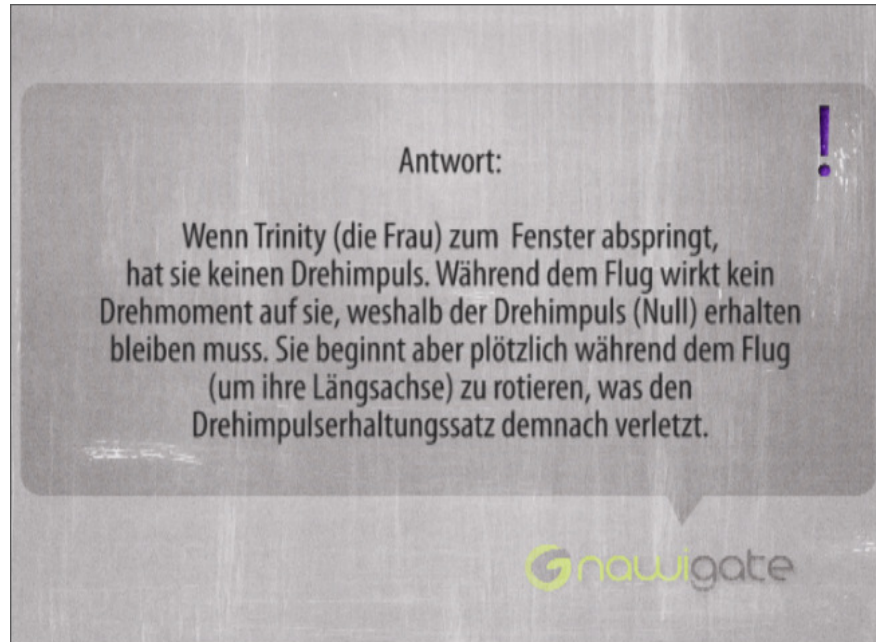


Abb. 70: Screenshot der Textfolie, welche den Fehler des Videoclips auflöst.

Zusatzmaterial „Clip Trinity Freier Fall“ (Video)

Dieses Lernvideo ähnelt sehr dem Zusatzmaterial „Clip Trinity Fenstersprung“. Auch hier sollen sich die Schüler(innen) auf physikalische Fehlersuche begeben. Dieses Videozusatzmaterial beginnt mit einer Textfolie wie in Abbildung 69. Danach wird ein kurzer Clip aus dem Film „Matrix Reloaded“ abgespielt, um anschließend in einer Textfolie die Fehlersuche der Lernenden aufzulösen. Abbildung 70 zeigt den Screenshot dieser Textfolie.

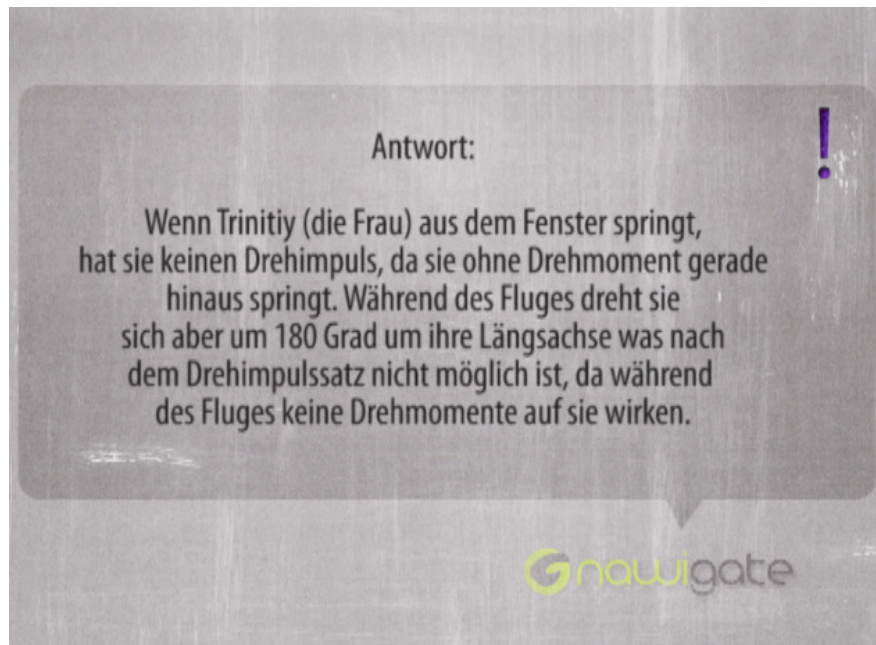


Abb. 70: Screenshot der Textfolie, welche den physikalischen Fehler des Videoclips auflöst.

Zusatzmaterial „Rechte-Hand-Regel“ (Video)

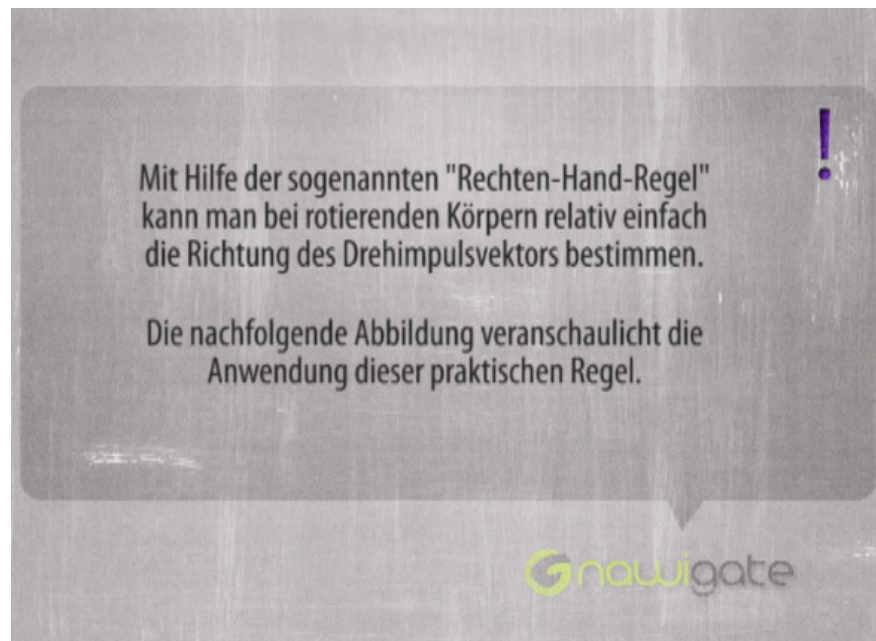


Abb. 71: Screenshot der Textfolie zu Beginn des Videos.

Dieses Video (Länge 1:06 min) soll den Schüler(inne)n die „Rechte-Hand-Regel“ erklären. Eröffnet wird das Zusatzmaterial mit einer Textfolie, welche die Betrachter(innen) auf die bevorstehenden Sequenzen hinweist. Abbildung 71 zeigt den Screenshot dieser Textfolie.



Abb. 72: Screenshot des Standbildes mit dem ersten Erklärungstext.



Abb. 73: Screenshot des Standbildes, das die Bedeutung des Daumens erläutert.

Anschließend wird das Prinzip der praktischen „Rechten-Hand-Regel“ mit Hilfe eines Standbildes erklärt. Abbildung 72 zeigt den Screenshot des ersten Erklärungstextes, welcher in dem Standbild eingeblendet wird.

Im weiteren Verlauf des Videos wird noch die Bedeutung des Daumens der rechten Hand näher erläutert. Abbildung 73 zeigt den Screenshot, in welchem sich die entsprechenden Erklärungen finden.

Am Ende des Videos wird noch eine Textfolie gezeigt, welche die Betrachter(innen) dazu auffordert, die „Rechte-Hand-Regel“ anhand der Videos zu den Lösungen zu üben.

Reaktive Rotationen (digitaler Text)

Prinzip der Oberkörpergegendrehung: Stelle dir einen Astronauten in der Schwerelosigkeit vor. Er möchte seinen Unterkörper/seine Beine nach links drehen. Was wird sein Oberkörper in Folge der Drehimpulserhaltung automatisch machen?

Wie kann ein Saltospringer eine Schraubendrehung bewirken, obwohl er zu Beginn der Saltodrehung keine Drehimpulskomponente um seine Längsachse hat?

Aufgaben zu den Lernvideos (digitaler Text)

Bei diesem Versuch ist der (vertikale) Drehimpuls erhalten. Warum rotiert die Schülerin auf dem Drehsessel langsamer als das Rad in ihrer Hand? Welche physikalische Größe könnte hier eine Rolle spielen?

Rechte Hand-Regel: Übe die Rechte-Hand-Regel an diesem Video. Überprüfe die Drehrichtungen der Schülerin und des Rades mit Hilfe der „Rechten-Hand-Regel“. WH: Wie funktioniert die Rechte-Hand-Regel?

Nenne noch zwei weitere Beispiele aus dem Alltag zur Drehimpulserhaltung.

¹Ball an der Schnur (Epstein, 2008, S. 128)

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht eingerückt und kursiv geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Epstein, 2008, S. 128) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

Der an der Schnur gehaltene Ball wird auf einer großen horizontalen Kreisbahn herumgeschleudert. Dann wird die Schnur verkürzt gehalten, sodass der Ball auf einer kleineren Kreisbahn rotiert. Wenn er auf dem kleineren Kreis rotiert, ist seine Geschwindigkeit dann

- a) größer b) kleiner c) unverändert

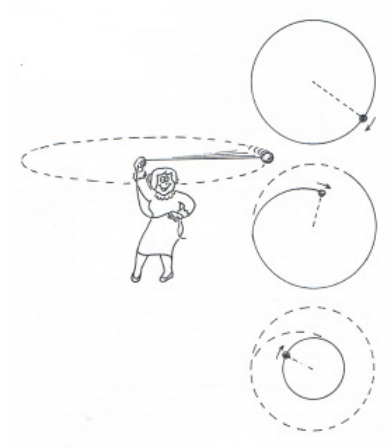


Abb. 74: Skizze der beschriebenen Aufgabenstellung (Epstein, 2008, S. 128).

²**Straßenbahnweiche (Epstein, 2008, S. 130)**

Eine Straßenbahn rollt frei (ohne Reibung) auf einem großen Schienenkreis. Dann wird sie über Weichen auf einen kleinen Schienenkreis dirigiert. Beim Rollen auf dem kleinen Kreis ist ihr Geschwindigkeitsbetrag

- a) größer b) kleiner c) unverändert

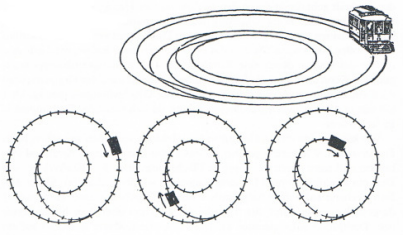


Abb. 75: Skizze der Aufgabenstellung (Epstein, 2008, S. 130).

² Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht eingerückt und kursiv geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Epstein, 2008, S. 130) übernommen wurde.

³Das Pendel (Epstein, 2008, S. 136)

Man zieht ein Pendel nach links und lässt es los, worauf es von selbst hin und her schwingt. Während es so hin und her schwingt, bewahrt das Pendel

- a) Drehimpuls sowie (linearen) Impuls
- b) nur den Drehimpuls
- c) nur den Impuls
- d) weder Drehimpuls noch Impuls

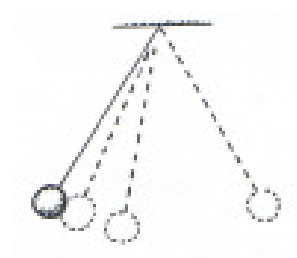


Abb. 76: Skizze eines Pendels (Epstein, 2008, S. 136).

4.3 Modul Drehmoment

Dieses Lernmodul soll den Schüler(innen) die physikalische Größe „Drehmoment“ anhand des einseitigen und zweiseitigen Hebels anschaulich vermitteln. Dazu gibt es wiederum zwei Lernblöcke, welche jeweils aus einer Aufgabe und einer Lösung (beide in Form eines Videos) bestehen. Die Zusatzmaterialien für dieses Modul erklären (im Gegensatz zu den Lösungen) den physikalischen Inhalt auch quantitativ, was ein tieferes Verständnis seitens der Lernenden zur Folge haben soll.

³ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht eingerückt und kursiv geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Epstein, 2008, S. 136) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

4.3.1 Lernblock „Einseitiger Hebel“

Aufgabe

Die Aufgabe (in Form eines Videos) des Lernblocks „Einseitiger Hebel“ hat eine Länge von 1:19 min. Das Video wird mit einer Textfolie begonnen, welche die Betrachter(innen) auf die bevorstehenden Sequenzen vorbereiten soll. Abbildung 77 zeigt den Screenshot dieser Textfolie.

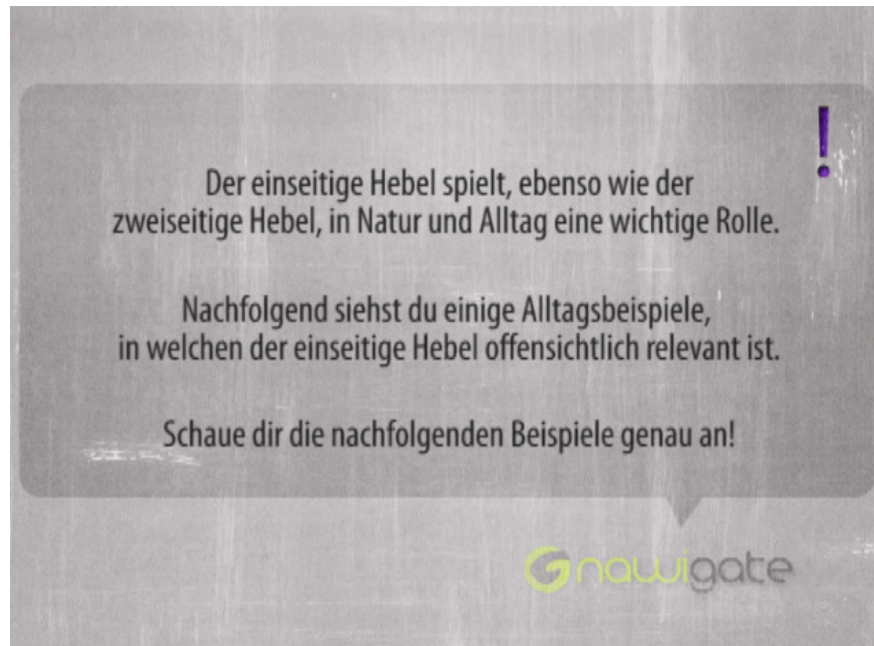


Abb. 77: Screenshot der Textfolie zu Beginn des Videos.

Nach dieser Textfolie (Abb. 77) folgen zwei kurze Videosequenzen von Alltagshandlungen, in welchen das Prinzip des einseitigen Hebels offensichtlich zum Einsatz kommt. Abbildung 78 zeigt einen Screenshot eines solchen Beispiels.

Nach dieser kurzen Sequenz (Abb. 78), in welcher ein junger Mann einen Schubkarren schiebt, folgt noch eine weitere kurze Szene, in welcher eine junge Dame eine Bierflasche mit einem Flaschenöffner öffnet.

Am Ende des Videos wird für 15 Sekunden eine Fragefolie eingeblendet, welche die Schüler(innen) vor physikalische Denkaufgaben stellt. Abbildung 79 zeigt einen Screenshot dieser Textfragefolie.



Abb. 78: Screenshot aus dem Aufgaben-Video. Hier wird ein Alltagsbeispiel für den einseitigen Hebel gezeigt.

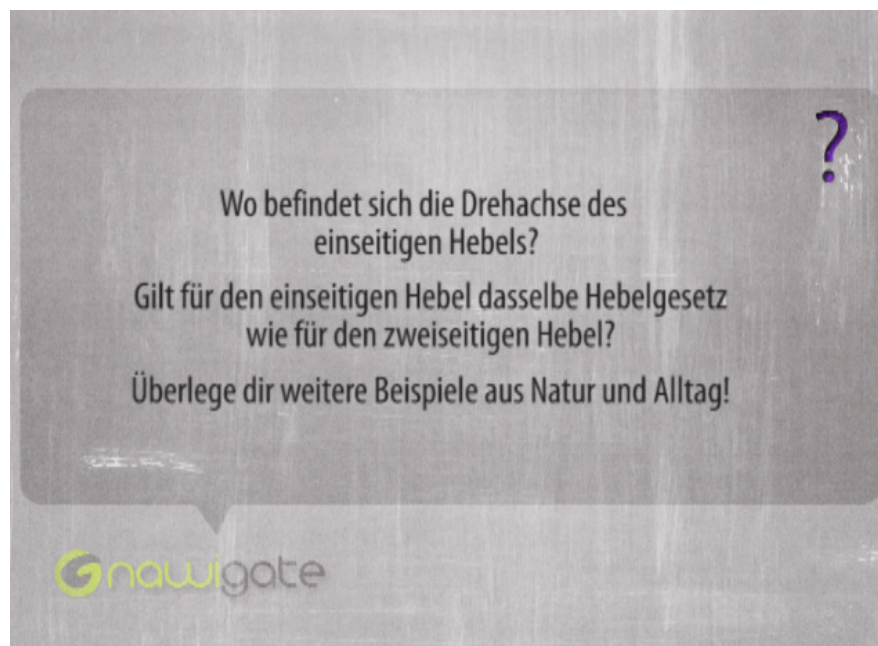


Abb. 79: Screenshot der Textfolie, welche am Ende des Videos gezeigt wird.

Lösung

Die Dauer des Lösungs-Videos dieses Lernblocks beträgt 1:47 min. Zu Beginn dieses Videos werden noch einmal kurz die zwei in der Aufgabe gezeigten Alltagsbeispiele gezeigt. Danach wird in einer Textfolie die erste Frage aus der Aufgabe (siehe Abb. 79) beantwortet. Abbildung 80 zeigt den Screenshot dieser Antworttextfolie.

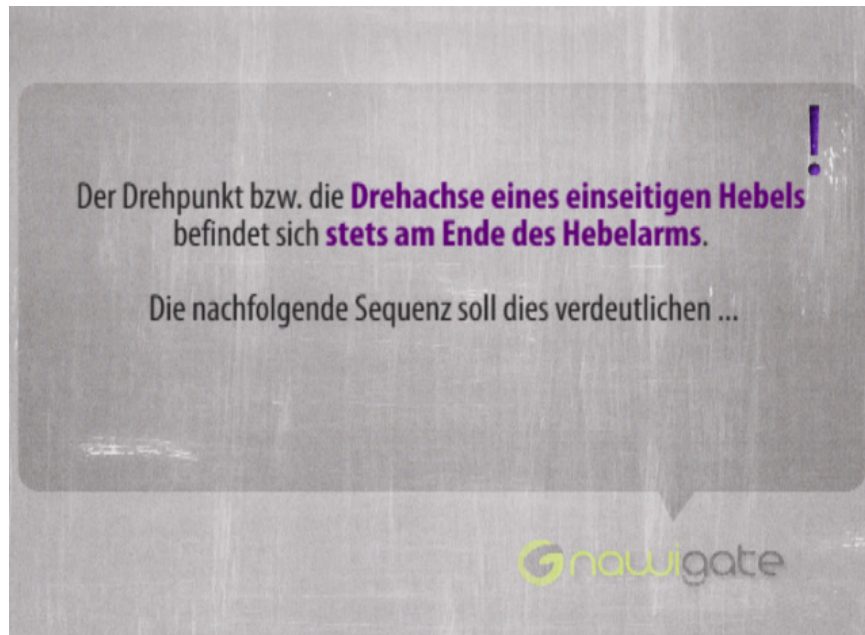


Abb. 80: Screenshot der Textfolie, welche die erste Frage aus dem Aufgaben-Video beantwortet.

Wie in der Textfolie (Screenshot Abb. 80) angedeutet, wird der physikalische Inhalt in einer nachfolgenden Videosequenz anschaulich dargestellt. Abbildung 81 zeigt den Screenshot eines Standbildes dieser Videosequenz.

Ebenso wird auch nachfolgend in der Lösung das Beispiel des Flaschenöffners aufgelöst (auch hier befindet sich der Drehpunkt am Ende des Hebelarms). Abbildung 82 zeigt den zugehörigen Screenshot.

Danach widmet sich das Video der zweiten Frage (Gilt für den einseitigen Hebel dasselbe Hebelgesetz wie für den zweiseitigen Hebel?) aus dem Video zur Aufgabe (Abb. 79). Abbildung 83 zeigt einen Screenshot der Textfolie, welche die Frage zunächst in schriftlicher Form beantwortet und erklärt.



Abb. 81: Screenshot des Standbildes, welche die Lage der Drehachse des einseitigen Hebels (hier exemplarisch am Beispiel des Schubkarrenfahrens) veranschaulichen soll.

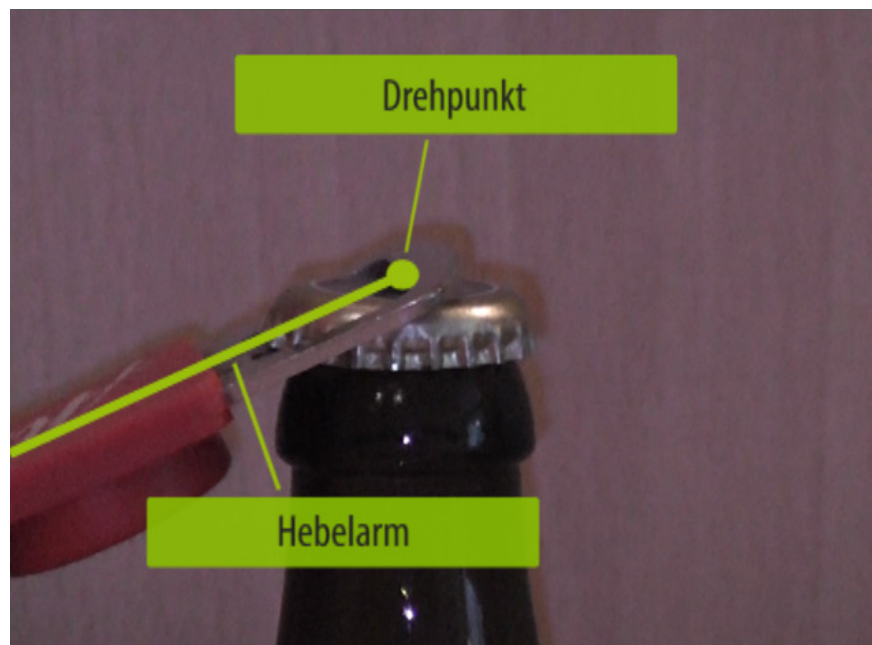


Abb. 82: Screenshot des Standbildes, welche die Lage des Drehpunkts beim einseitigen Hebel, am Beispiel eines Flaschenöffners, zeigt.



Abb. 83: Screenshot der Textfolie.

Der physikalische Inhalt aus dieser Textfolie (Abb. 83) wird in der Lösung anhand des Alltagsbeispiels „Schubkarrenfahren“ dargestellt. Abbildung 84 zeigt den Screenshot eines Standbildes, in welchem die wirkenden Kraftvektoren am Schubkarren eingezeichnet sind.



Abb. 84: Screenshot des Standbildes mit eingezeichneten Kraftvektoren.

Zum Abschluss des Lösungs-Videos werden zwei Textfolien eingeblendet, welche die zwei wesentlichen Lerninhalte dieses Lernblocks noch einmal textuell wiedergeben. Auf der letzten Textfolie wird außerdem auf das Zusatzmaterial zum einseitigen Hebel verwiesen, welche die physikalischen Inhalte noch einmal durch genaue Drehmomentsberechnungen in quantitativer Form darstellt.

4.3.2 Lernblock „Zweiseitiger Hebel“

Aufgabe

Die Dauer dieses Videos beträgt 1:06 min. Zu Beginn wird eine Videosequenz von zwei jungen Männern gezeigt, welche auf dem Spielplatz auf einer großen Wippe schaukeln. Abbildung 85 zeigt einen Screenshot dieser Sequenz.



Abb. 85: Screenshot der Videosequenz zu Beginn des Videos.

In der Sequenz, in welcher die jungen Männer auf der großen Wippe (Abb. 85) wippen, wird in einer grünen Textbox auch später die Frage „Wo befindet sich der Drehpunkt?“ eingeblendet. Danach folgt eine weitere Videosequenz, in welcher die zwei Männer diesmal auf einer wesentlich kleineren Wippe schaukeln. Abbildung 86 zeigt einen Screenshot dieser Sequenz.



Abb. 86: Screenshot der zwei Männer, welche auf einer kleinen Wippe schaukeln.

In der Videosequenz, welche in Abbildung 86 als Screenshot dargestellt ist, wird in der grünen Textbox später ebenfalls eine Frage eingeblendet. Diese Frage lautet: „Worin unterscheiden sich diese und die vorhergehende Wippe?“

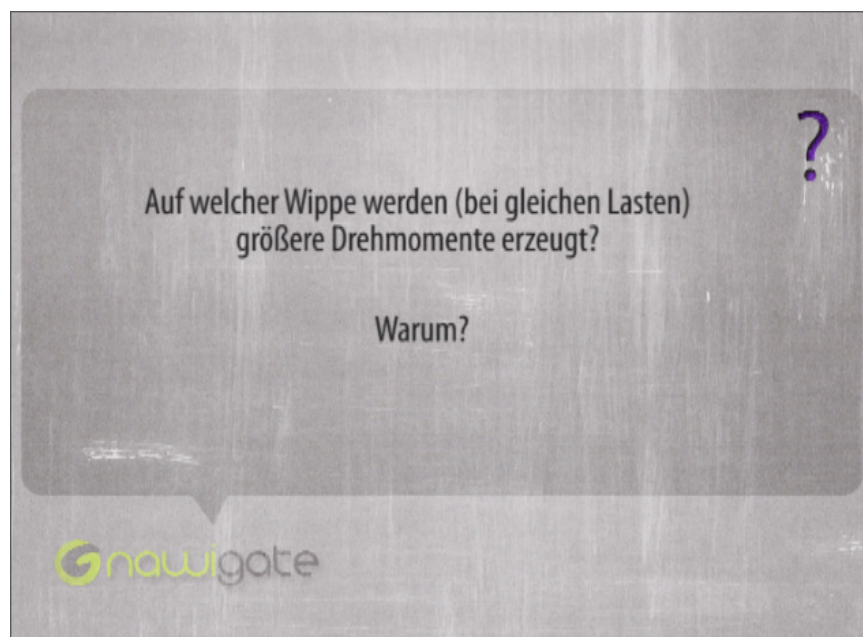


Abb. 87: Screenshot der abschließenden Fragefolie des Videos.

Nach dieser kurzen Sequenz der kleinen Wippe wird im Video eine abschließende Fragetextfolie eingeblendet. Die Fragestellung auf dieser Textfolie, welche in Abbildung 87 als Screenshot abgebildet ist, soll die Schüler(innen) zum Nachdenken und zu selbständigen Nachforschungen anregen.

Die Lernenden können diese Fragestellung (Abb. 87) übrigens leicht(er) beantworten, wenn sie sich das Zusatzmaterial „Einführungsvideo Drehmoment“ (siehe Kapitel 4.3.3) anschauen.

Lösung

Die Länge der Lösung beträgt 1:52 min. Am Anfang des Videos wird noch einmal die Sequenz der beiden Männern gezeigt, welche auf der großen Wippe schaukeln. Nach dieser Sequenz folgt eine Textfolie, in welcher erklärt wird, dass sich der Drehpunkt dieses zweiseitigen Hebels genau in der Mitte befindet. Dies wird danach auch anhand eines Standbildes der großen Wippe dargestellt, das nach der Textfolie gezeigt wird. Abbildung 88 zeigt den Screenshot dieses Standbildes.

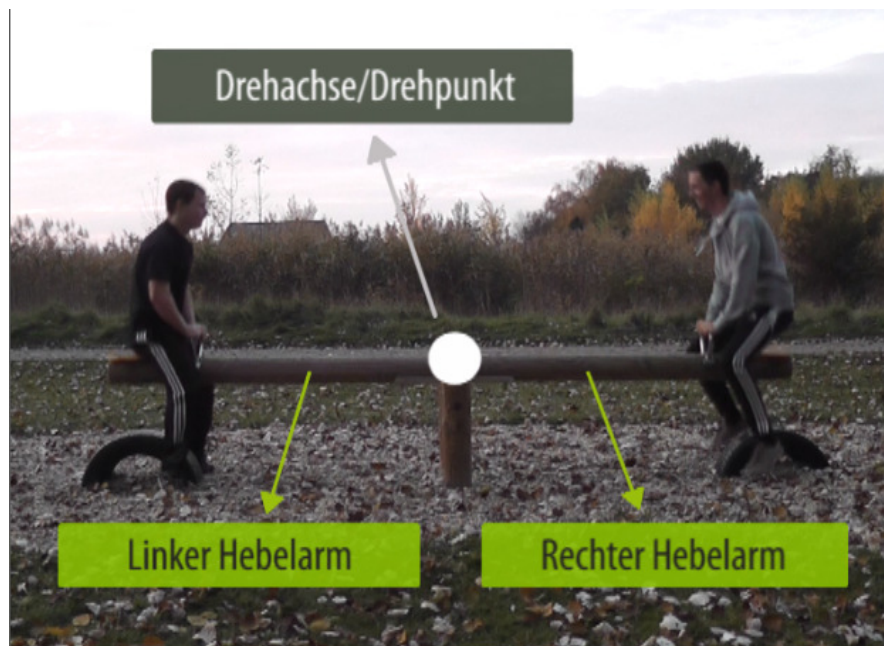


Abb. 88: Screenshot des Standbildes, welche die Lage des Drehpunkts bei der großen Wippe veranschaulicht.

Danach wird die große mit der kleinen Wippe verglichen. Dazu folgt ein Standbild der kleinen Wippe, in welcher unter anderem die Hebelarme eingezeichnet sind. Abbildung 89 zeigt den entsprechenden Screenshot.

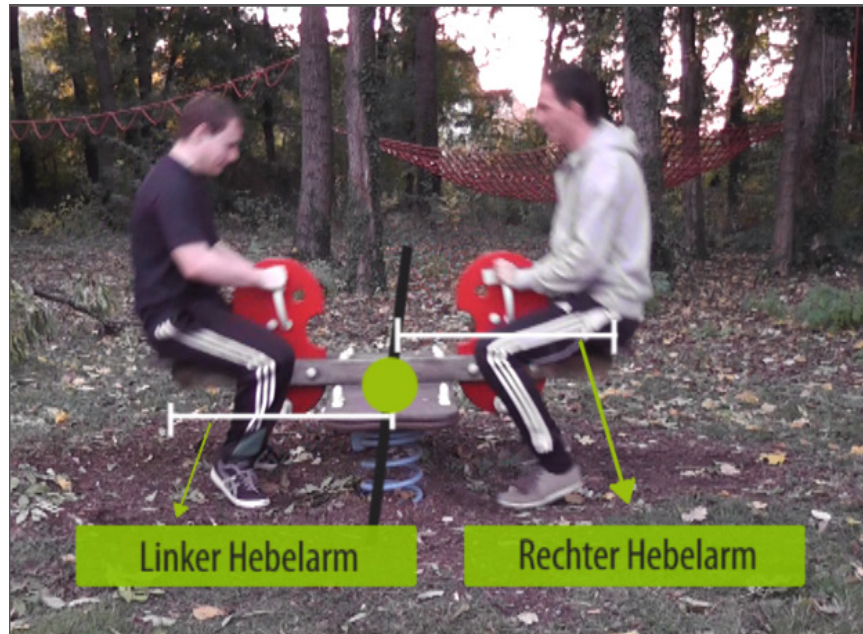


Abb. 89: Screenshot des Standbildes der kleinen Wippe.



Abb. 90: Screenshot aus der Videosequenz, in welcher die Erklärung des Unterschieds der beiden Wippen eingeblendet ist.

Anschließend wird in der Videosequenz, in welcher die zwei Männer auf der kleinen Wippe schaukeln, in einer grünen Textbox der wesentliche Unterschied der beiden Wippen erklärt. Abbildung 90 zeigt den zugehörigen Screenshot.

Nach dieser Sequenz wird im weiteren Verlauf des Videos die in Abbildung 91 dargestellte Textfolie eingeblendet, welche die Hauptfrage aus der Aufgabe (siehe dazu Abb. 87) beantwortet.

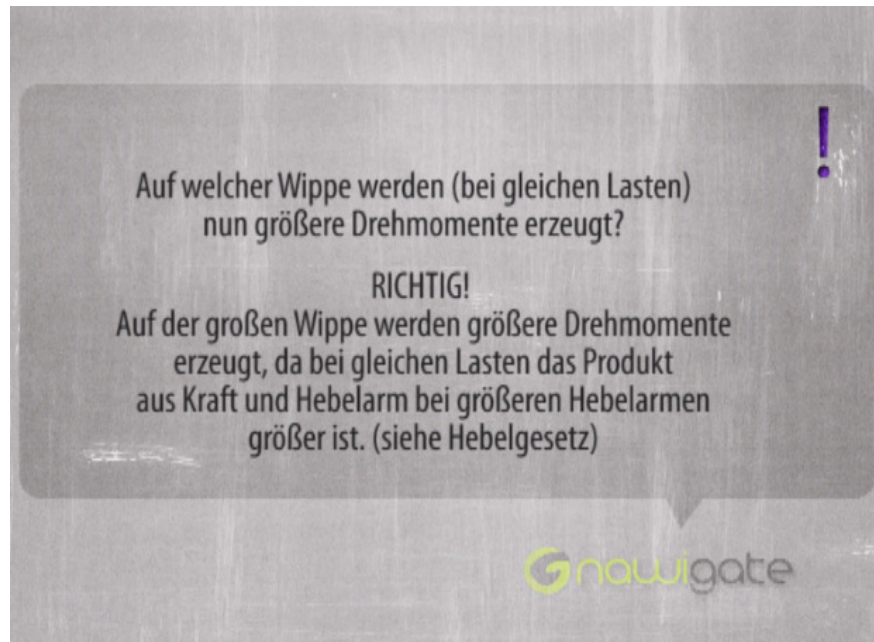


Abb. 91: Screenshot der Textfolie, welche die Hauptproblemstellung aus der Aufgabe auflöst.

Den Inhalt der in Abbildung 91 dargestellten Textfolie können die Schüler(innen) jedoch erst dann vollinhaltlich verstehen, wenn sie bereits das Zusatzmaterial „Einführungsvideo Drehmoment“ studiert haben. Am Ende dieses Videos wird der in der Textfolie (Abb. 91) dargestellte Inhalt anhand der Videosequenzen der kleinen und großen Wippe noch einmal veranschaulicht. Abbildung 92 zeigt einen Screenshot, in welchem dieser Inhalt anhand der großen Wippe veranschaulicht wird.

Ebenso am Ende des Videos zur Lösung wird der Lerninhalt auch anhand der kleinen Wippe gezeigt.



Abb. 92: Screenshot der Videosequenz, welche den wesentlichen Lerninhalt anhand der großen Wippe veranschaulicht.

Die zwei Lernblöcke „Einseitiger Hebel“ und „Zweiseitiger Hebel“ sind für den Lernprozess der Schüler(innen) effektiver und hilfreicher, wenn zuvor das bereits genannte Zusatzmaterial „Einführungsvideo Drehmoment“ (in Kapitel 4.3.3 beschrieben) ausreichend studiert wurde.

4.3.3 Zusatzaufgaben / Zusatzmaterial

Einführungsvideo

Dieses Video dauert 3:04 min und soll den Schüler(innen) die physikalische Größe des Drehmoments vertraut machen. Zu Beginn des Videos wird den Betrachter(innen) der Aufbau der Apparatur erklärt, anhand dessen die Folgen eines wirkenden Drehmoments anschaulich gemacht werden sollen. Abbildung 93 zeigt den einen Screenshot des Aufbaus, wobei man erkennt, dass es sich um einen zweiseitigen Hebel handelt.

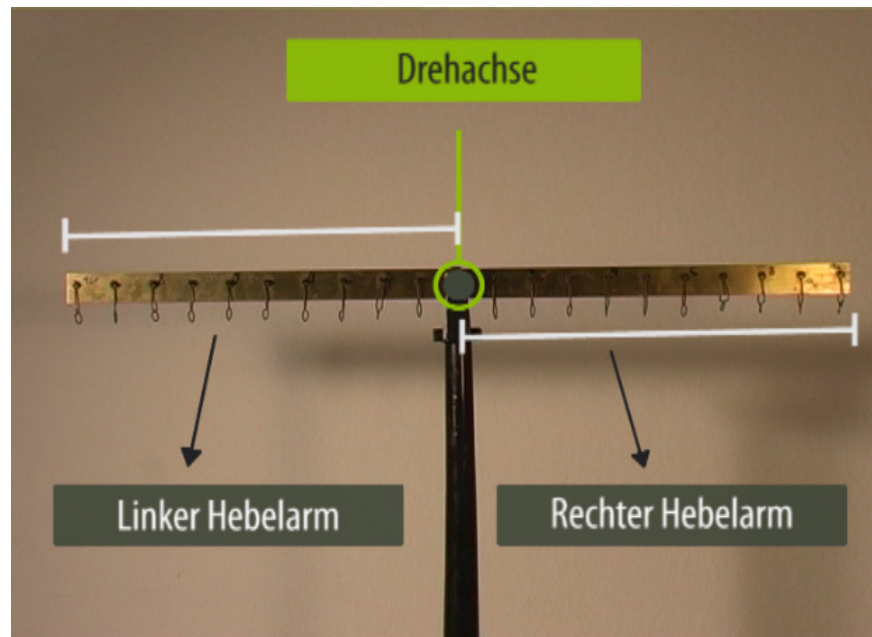


Abb. 93: Screenshot des Standbildes, das den Aufbau der Apparatur veranschaulicht.

Danach wird im Video eine Textfolie eingeblendet, in welcher erklärt wird, dass man nun Massenstücke an unterschiedlichen Positionen auf den Hebelarmen anbringen kann, und jede Position dabei einen unterschiedlichen Abstand zur Drehachse aufweist.

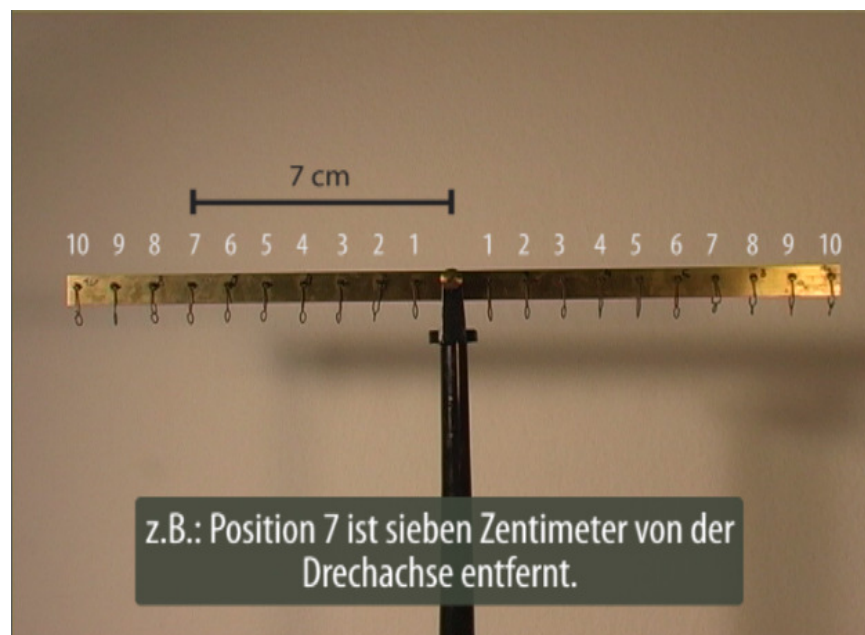


Abb. 94: Screenshot des Standbildes, welches die Abstände der Positionen zur Drehachse erklärt.

Dies wird in einem nachfolgenden Standbild, welches in Abbildung 94 zu sehen ist, veranschaulicht.

Nach diesem Standbild wird ein kleines Massenstück auf Position Sieben des linken Hebelarms gehängt. Dabei sollen die Lernenden einmal nur beobachten was passiert. Abbildung 95 zeigt einen Screenshot dieser Videosequenz.

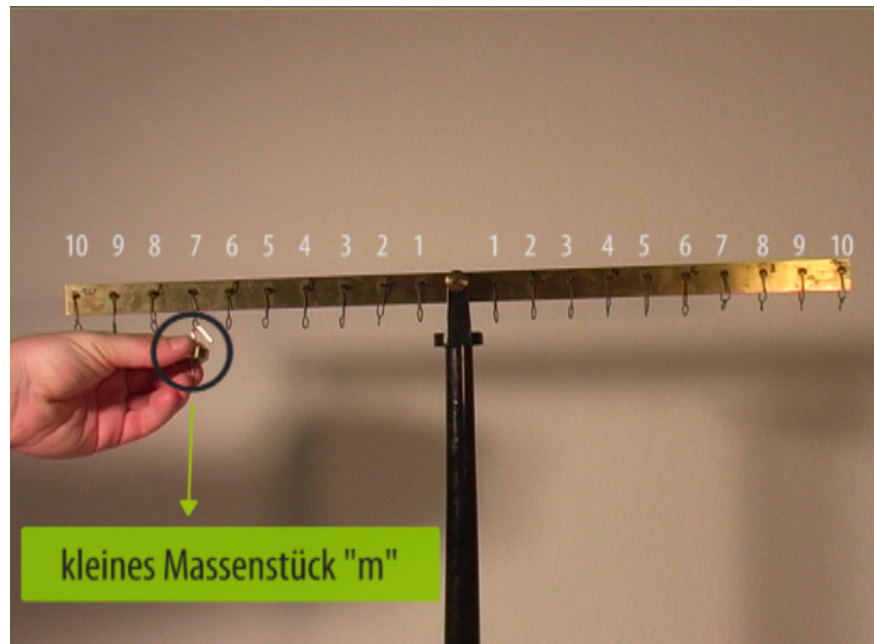


Abb. 95: Screenshot der Videosequenz, in welcher ein Massenstück angehängt wird.

Im weiteren Verlauf dieser Videosequenz (Abb. 95) sieht man, dass nach dem Anhängen des Massenstücks der linke Hebelarm gegen den Uhrzeigersinn nach unten rotiert. Dieser experimentelle Befund wird in der darauf nachfolgenden Textfolie festgehalten. Ein Screenshot dieser Textfolie ist in Abbildung 96 zu sehen.

Danach folgt eine weitere Textfolie, welche den Begriff des Drehmoments auf einfache Weise erklären soll. Abbildung 97 zeigt den Screenshot dieser Textfolie.

Anschließend wird in einer weiteren Folie die Einheit des Drehmoments genau erläutert. Abbildung 98 zeigt auch diese Textfolie als Screenshot. Im letzten Abschnitt dieses Einführungsvideos soll die Theorie nun anhand des Experiments am zweiseitigen Hebel erklärt werden.

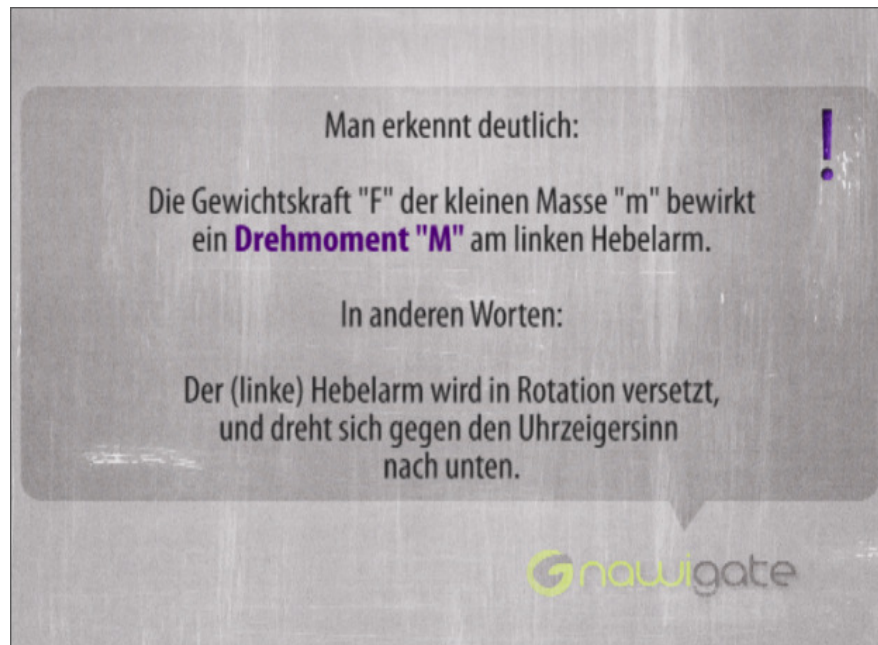


Abb. 96: Screenshot der Textfolie, welche den experimentellen Befund textuell wiedergibt.

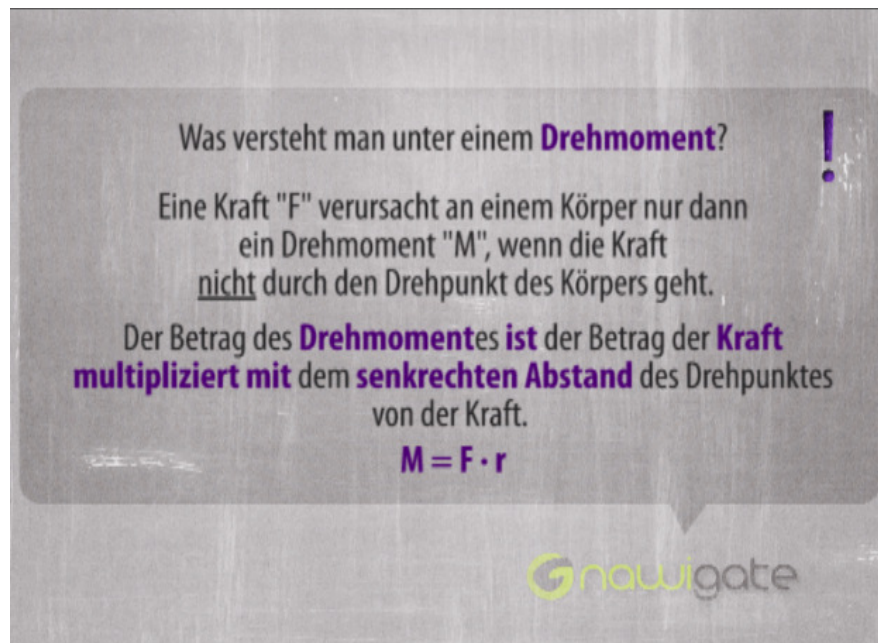


Abb. 97: Screenshot der Textfolie, welche den Begriff des Drehmoments erklärt.

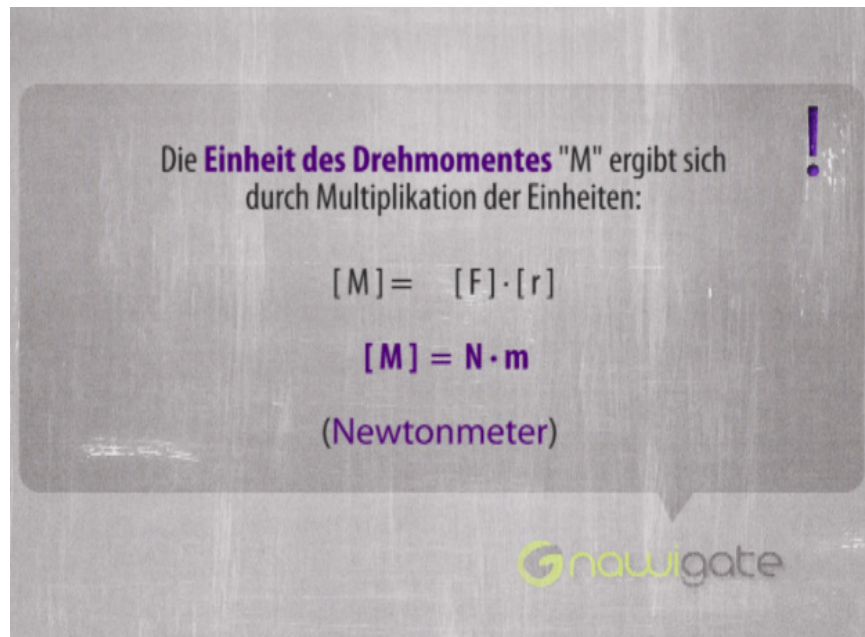


Abb. 98: Screenshot der Textfolie, welche die Einheit des Drehmoments erklärt.

Die Abbildungen 99 bis 101 zeigen dabei die Screenshots des Standbildes, in welchem die einzelnen Erklärungsschritte für die Theorie des Drehmoments nacheinander eingeblendet sind.

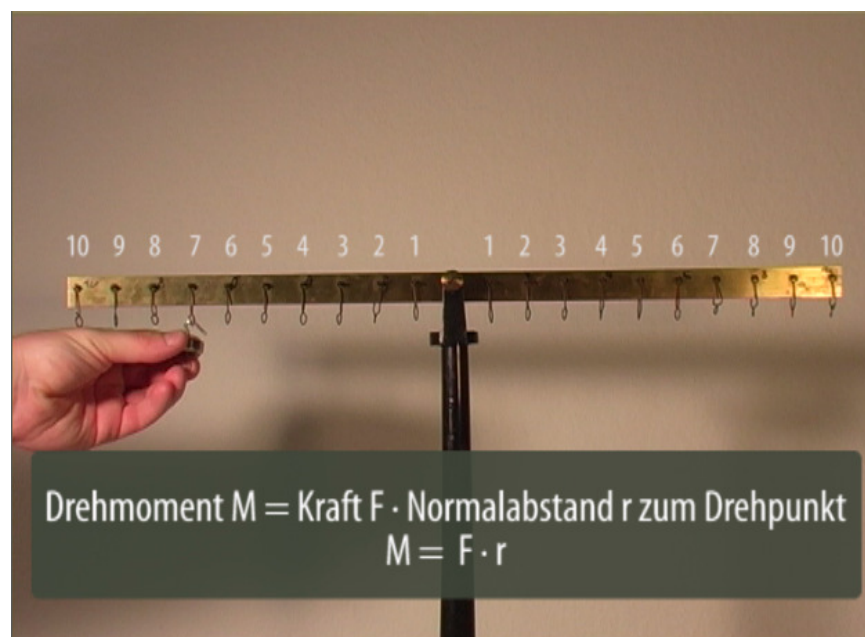


Abb. 99: Screenshot des Standbildes mit Einblendung des ersten Erklärungsschrittes.



Abb. 100: Screenshot des Standbildes mit Einblendung des zweiten Erklärungsschrittes.

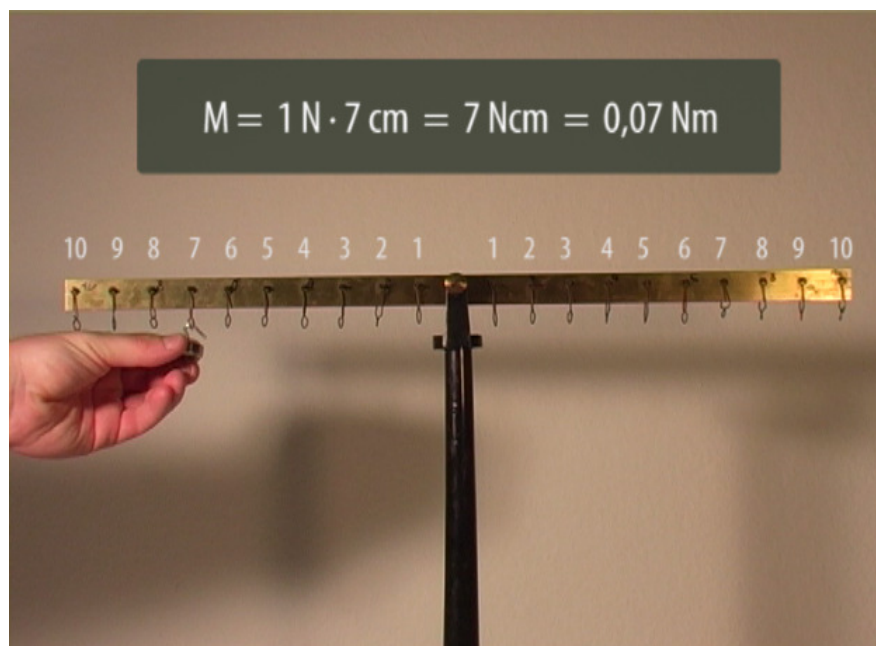


Abb. 101: Screenshot des Standbildes mit Einblendung des letzten Erklärungsschrittes, in welchem das wirkende Drehmoment berechnet wird.

Zusatzmaterial Einseitiger Hebel

Dieses Zusatzmaterial in Form eines Videos (Länge 4:04 min) dient zur theoretischen Vertiefung des einseitigen Hebels. Im Vergleich zu dem Lernblock „Einseitiger Hebel“ wird hier das Hebelgesetz experimentell überprüft und quantifiziert.

Zu Beginn des Videos wird auf den Aufbau der Versuchsanordnung eingegangen. Dabei wird in einer Textfolie erklärt, dass sich die Drehachse beim einseitigen Hebel am Ende des Hebelarms befindet, bzw. dass die Kräfte an der gleichen Seite von der Drehachse angreifen. Abbildung 102 zeigt den Screenshot des Standbildes, welches diesen Inhalt veranschaulichen soll.

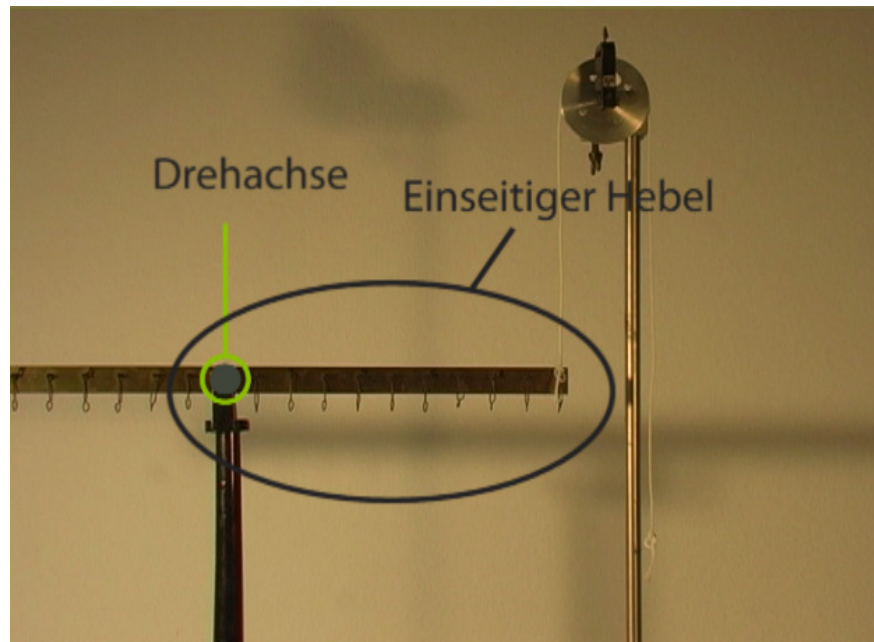


Abb. 102: Screenshot des Standbildes, welches den Versuchsaufbau des einseitigen Hebels veranschaulicht.

Anschließend wird erklärt, dass an dem Hebelarm unterschiedliche Massenstücke angebracht werden können. Das Massenverhältnis dieser Massenstücke wird dabei wieder anhand eines Standbildes dargestellt (siehe Screenshot in Abb. 103).

Danach wird, ähnlich wie beim „Einführungsvideo Drehmoment“, erklärt, dass die Massen nun an unterschiedlichen Positionen am Hebelarm angebracht werden können.

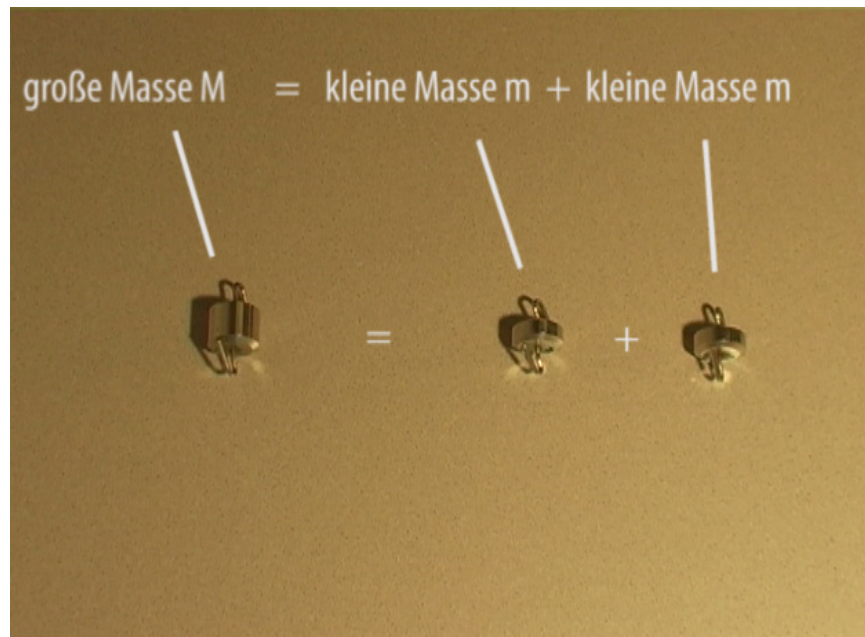


Abb. 103: Screenshot des Standbildes, welche das Massenverhältnis der Massenstücke veranschaulicht.

Abbildung 104 zeigt den Screenshot des Standbildes, in welchem die Positionen auf dem Hebelarm mit größer werdendem Abstand zur Drehachse aufsteigend nummeriert sind.

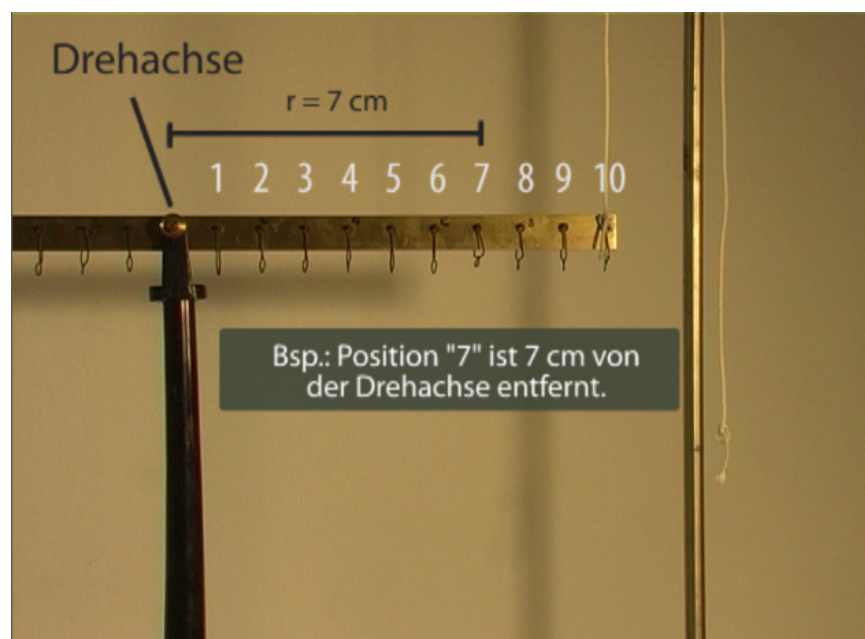


Abb. 104: Screenshot des Standbildes, welche die Positionen auf dem Hebelarm erklärt.

In weiterer Folge wird in der nächsten Textfolie erwähnt, was man am Versuchsaufbau sonst noch verstehen bzw. erkennen sollte. Die Inhalte dieser Textfolie werden wieder anhand eines Standbildes der Versuchsanordnung anschaulich erläutert. Abbildung 105 zeigt den Screenshot dieses Bildes.

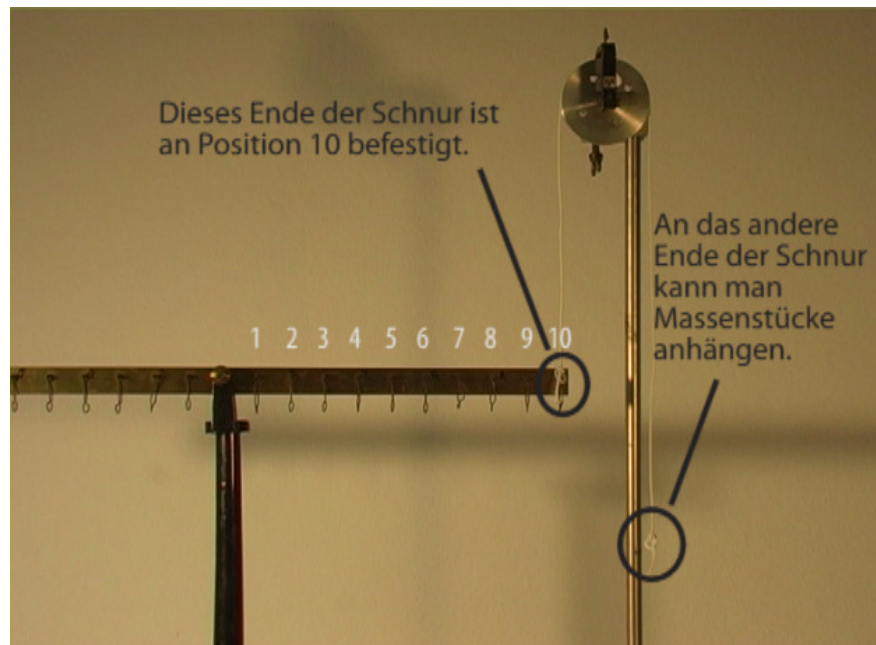


Abb. 105: Screenshot des Standbildes, welche wesentliche Merkmale des Versuchsaufbaus veranschaulicht.

Zu guter Letzt wird noch die für den Versuchsaufbau essentielle Funktion der Umlenkrolle in einer Textfolie erläutert. Auch dieser Inhalt wird wieder anhand des Bildes der Apparatur veranschaulicht (Abb. 106).

Nun ist im Video der vollständige Versuchsaufbau ausführlich beschrieben und dargestellt worden. Die Schüler(innen) sind mit der Apparatur jetzt bestens vertraut, wodurch sich das Video dem wesentlichen Lehrinhalt (Hebelgesetz) widmen kann. Deshalb wird in einer nächsten Textfolie gleich auf die Theorie des Hebelgesetzes eingegangen. Abbildung 107 zeigt einen Screenshot dieser Textfolie.

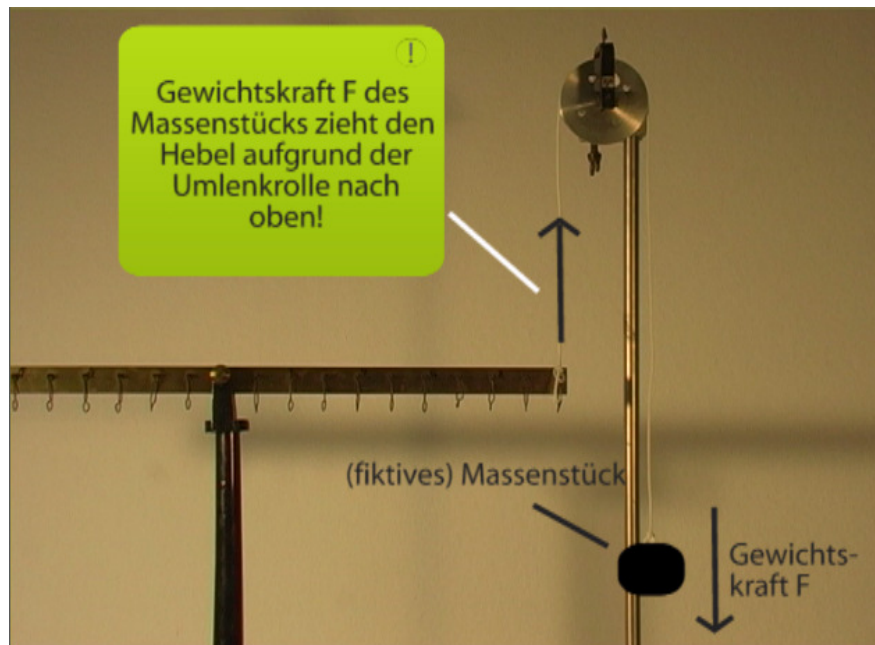


Abb. 106: Screenshot des Standbildes, welche die Funktion der Umlenkrolle anschaulich darstellt.

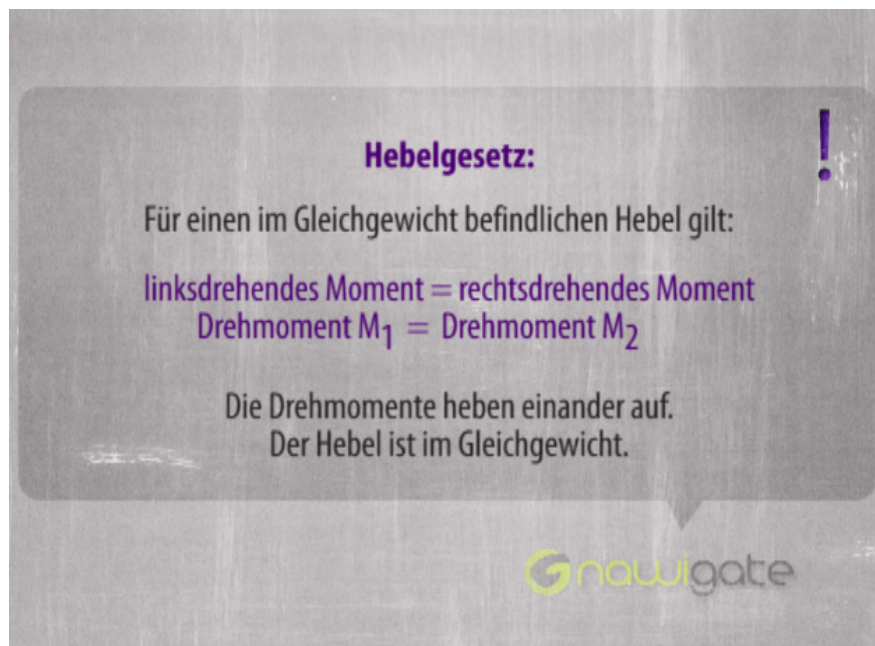


Abb. 107: Screenshot der Textfolie, welche das Hebelgesetz erklärt.

Das Hebelgesetz soll nun anhand der im Video ausführlich beschriebenen Apparatur experimentell überprüft werden. Dazu werden ausgewählte Massenstücke sowohl an

Position „Zwei“ des Hebelarms und am freien Ende der weißen Schnur befestigt. Ebenso werden in diesem Standbild (Schritt für Schritt eingeblendet) die durch die Massenstücke verursachten Drehmomente berechnet und verglichen. Abbildung 108 zeigt einen Screenshot des Bildes, in welchem das rechtsdrehende Drehmoment berechnet ist.

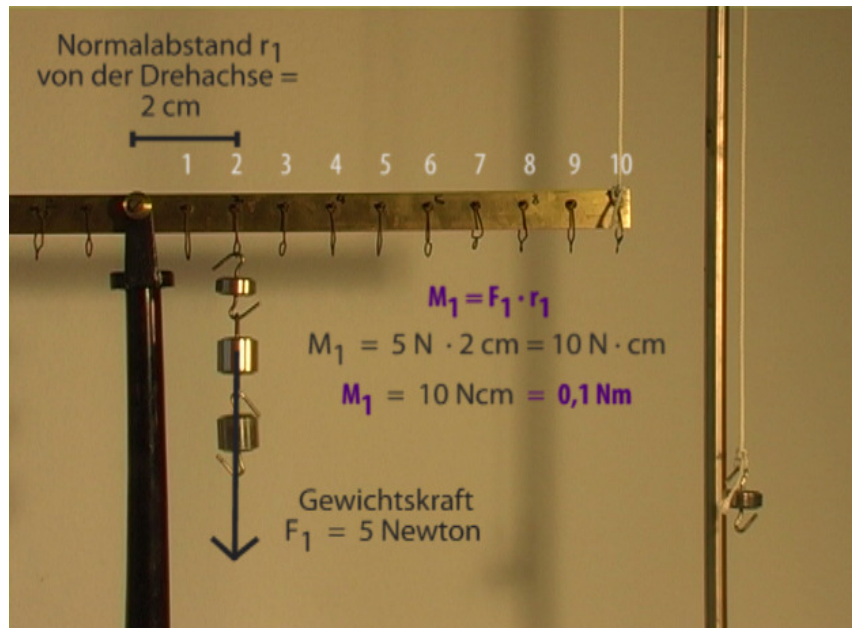


Abb. 108: Screenshot des Standbildes, in welchem das rechtsdrehende Drehmoment berechnet ist.

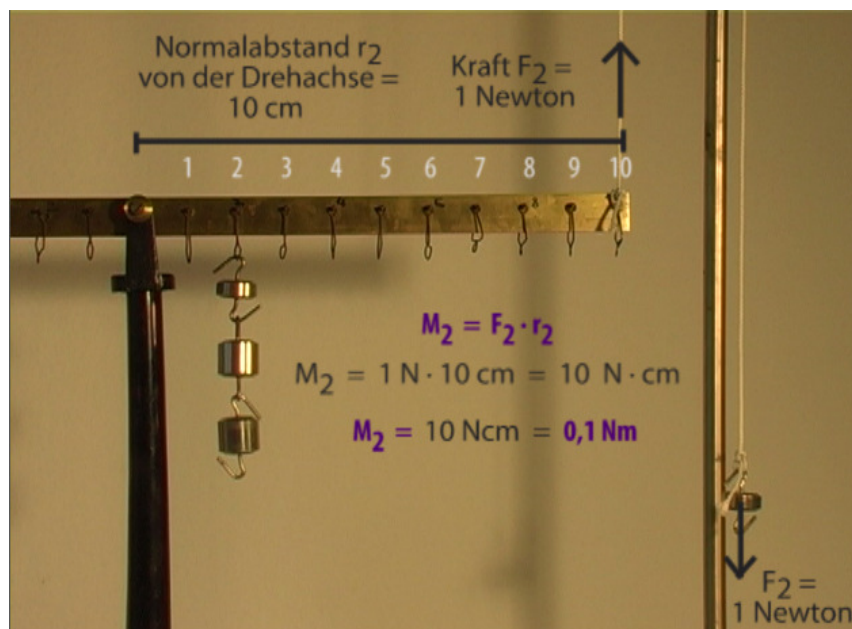


Abb. 109: Screenshot des Standbildes, in welchem das Drehmoment „ M_2 “ berechnet ist.

Danach wird im selben Standbild das linksdrehende Drehmoment (verursacht durch das Massenstück an der weißen Schnur) berechnet. Abbildung 109 zeigt den zugehörigen Screenshot.

Abschließend folgt eine Textfolie, in welcher die experimentellen Befunde zusammengefasst sind. Mit dieser Textfolie (in Abb. 110 dargestellt) endet dieses Videozusatzmaterial.

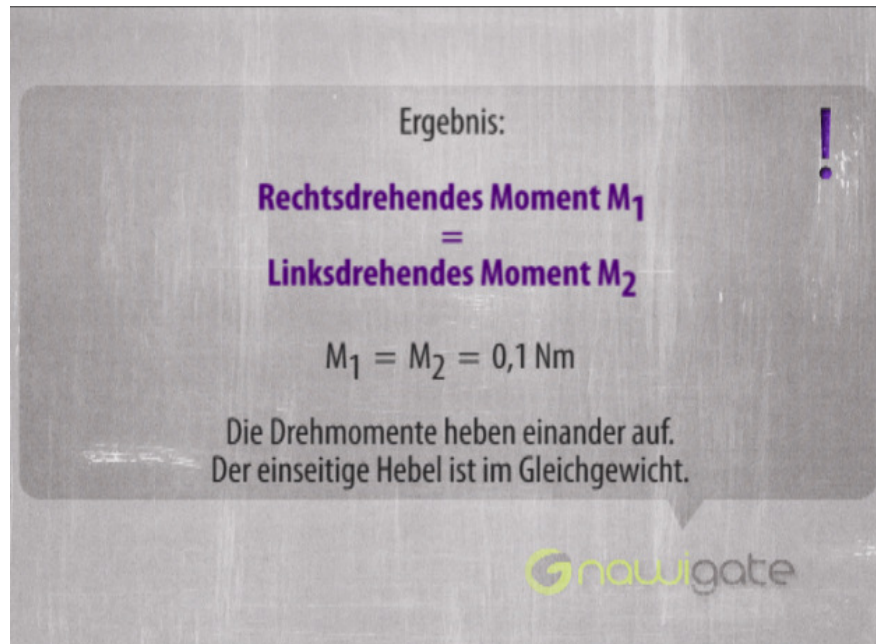


Abb. 110: Screenshot der Textfolie, welche das Versuchsergebnis noch einmal zusammenfasst.

Zusatzmaterial Zweiseitiger Hebel

Dieses Zusatzmaterial in Form eines Videos (Länge 2:26 min) dient zur theoretischen Vertiefung des zweiseitigen Hebels. Im Vergleich zum Lernblock „Zweiseitiger Hebel“ wird hier das Hebelgesetz experimentell überprüft und quantifiziert dargestellt (ähnlich wie beim Zusatzmaterial „Einseitiger Hebel“).

Zu Beginn des Videos wird wieder auf den Aufbau der Versuchsanordnung eingegangen. Dabei wird in einer Textfolie erklärt, dass der zweiseitige Hebel dadurch gekennzeichnet ist, dass die Drehachse den Hebel in zwei Teile unterteilt. Dies wird auch anhand eines Standbildes des Versuchsaufbaus dargestellt (Abb. 111).

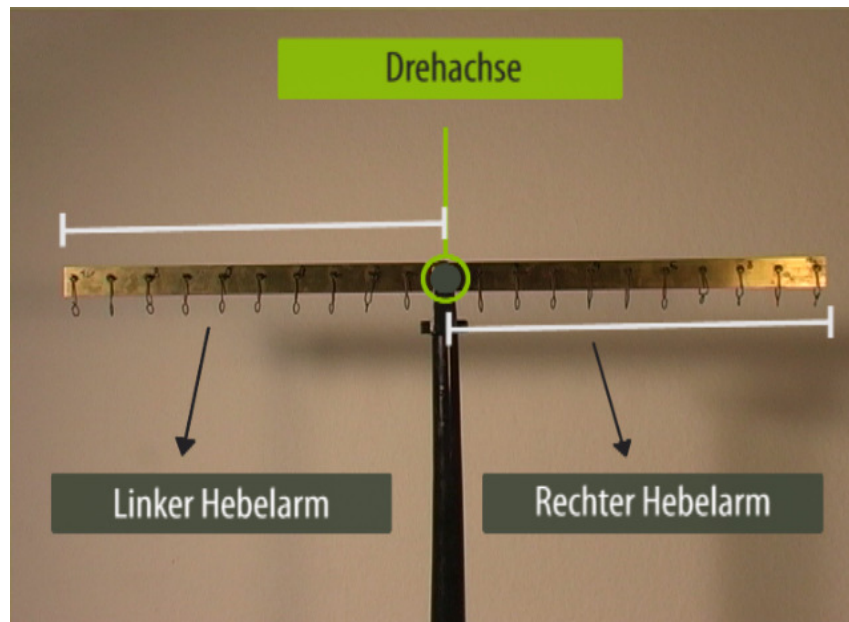


Abb. 111: Screenshot des Standbildes, welche den zweiseitigen Hebel anhand des Versuchsaufbaus erläutert.

Nach diesem Standbild (Abb. 111) wird im weiteren Verlauf des Videos erklärt, dass an beiden Seiten des Hebels verschiedene Massenstücke angebracht werden können. Die Massenverhältnisse dieser Stücke werden auch anhand eines Bildes der Massenstücke erläutert (Abb. 103).

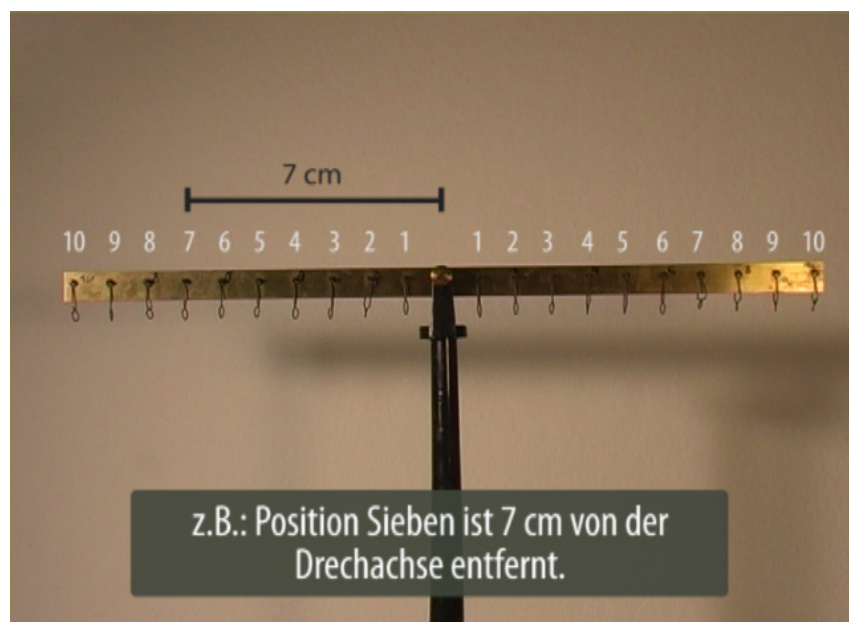


Abb. 112: Screenshot des Bildes, welche die Positionen auf den Hebelarmen erläutert.

Anschließend werden (ähnlich wie beim Zusatzmaterial „Einseitiger Hebel“) auf einem Standbild des Versuchsaufbaus die Positionen auf den Hebelarmen, mit größer werdendem Abstand zur Drehachse, aufsteigend nummeriert eingezeichnet. Abbildung 112 zeigt den Screenshot dieses Bildes.

Im weiteren Verlauf des Videos werden an beiden Seiten des zweiseitigen Hebels Massenstücke nun so angebracht, dass sich der Hebel im Gleichgewicht befindet. Abbildung 113 zeigt einen Screenshot, in welchem das rechtsdrehende Drehmoment berechnet wurde.

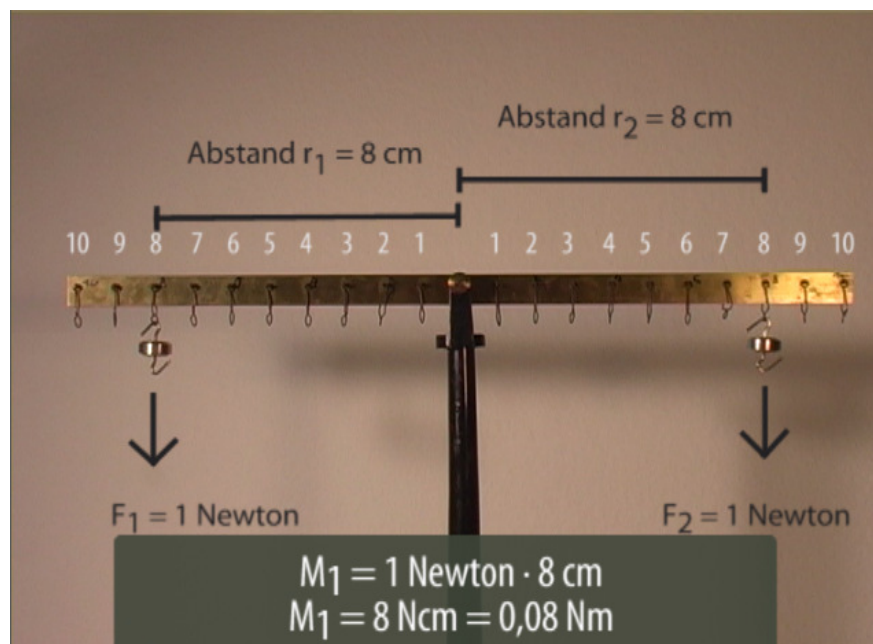


Abb. 113: Screenshot des Standbildes, in welchem das rechtsdrehende Drehmoment in der grauen Textbox berechnet ist.

Ebenso wird im selben Standbild auch das linksdrehende Drehmoment (M_2) berechnet und in der grauen Textbox (Abb. 113) eingeblendet. Anschließend wird das Ergebnis der Berechnungen ebenfalls in der grauen Textbox kurz dargestellt (Abb. 114).

Am Ende des Videos wird der Lerninhalt zur besseren Übersicht noch einmal auf einer Textfolie, welche in Abbildung 115 zu sehen ist, zusammengefasst.

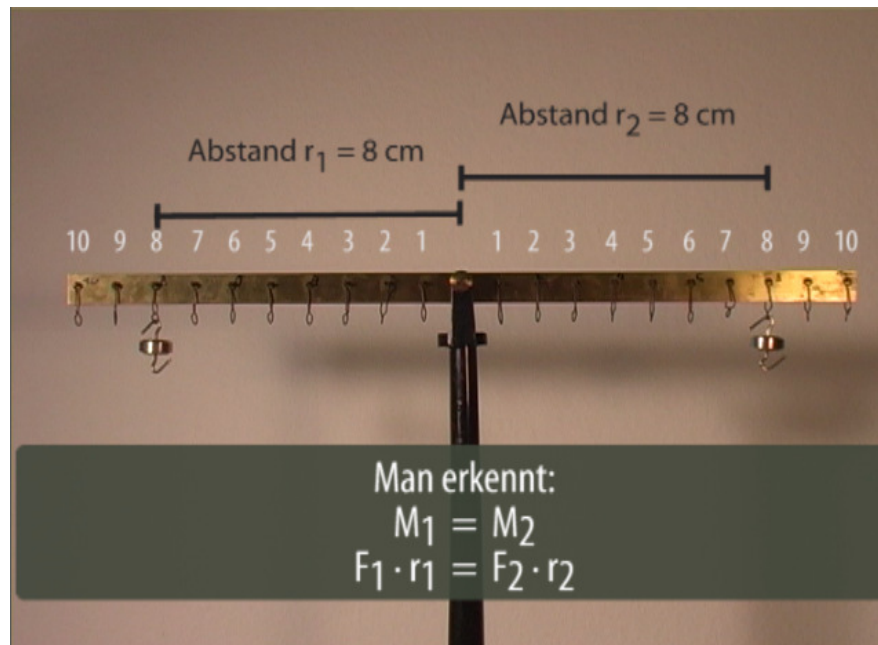


Abb. 114: Screenshot des Standbildes, in welchem der experimentelle Befund quantitativ dargestellt ist.

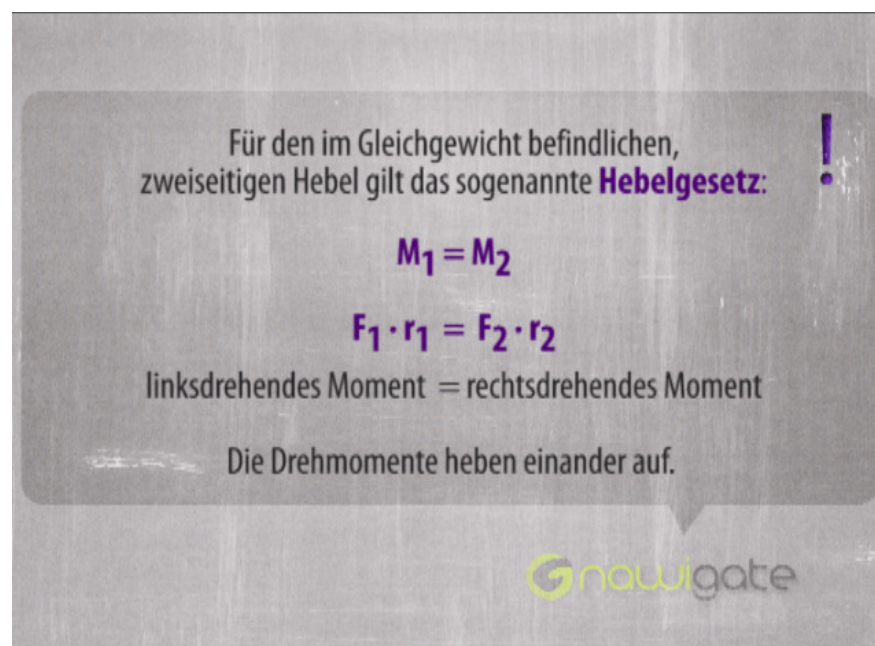


Abb. 115: Screenshot der Textfolie am Ende des Videos.

Aufgaben zum Lernblock „Einseitiger Hebel“

Ad Video: Am Ende der weißen Schnur hänge ein Gewicht von fünf Newton.

1. Welche Kraft müsse an Position „Fünf“ wirken, damit der einseitige Hebel im Gleichgewicht ist?
2. Welche Kraft müsse an Position „Zehn“ wirken, damit der Hebel im Gleichgewicht ist?
3. Wie groß sind die jeweiligen Drehmomente?

Nenne einige weitere Alltagsbeispiele für den einseitigen Hebel.

Rechte- Hand- Regel: In welche Richtung zeigt das Drehmoment bzw. der Drehimpuls, wenn sich der Hebel im Uhrzeigersinn nach unten drehen würde? In welche Richtung zeigt er bei Drehung gegen den Uhrzeigersinn nach oben?

Aufgaben zum Lernblock „Zweiseitiger Hebel“

- An Position „Zehn“ des linken Hebelarms hänge ein Gewicht von zwei Newton. Mit welchem Gewicht an welcher Position des rechten Hebelarms kann der Zweiseitige Hebel im Gleichgewicht gehalten werden?
- Worin liegen die wesentlichen Unterschiede zum Einseitigen Hebel?
- Rechte- Hand- Regel: In welche Richtungen zeigen das linksdrehende-, bzw. das rechtsdrehende Drehmoment? Wie groß ist das Gesamtdrehmoment, wenn der Hebel im Gleichgewicht ist?

4.4 Modul Trägheitskräfte

Dieses Lernmodul soll den Schüler(innen) das Prinzip der Trägheitskräfte, welche in beschleunigten Bezugssystemen, und damit in rotierenden Systemen auftauchen, verständlicher machen. Dieses Modul besteht wiederum aus zwei Lernblöcken mit jeweils einer Aufgabe und einer zugehörigen Lösung (alles in Form eines Videos). Der erste Lernblock befasst sich mit der Corioliskraft, welche auf Körper in rotierenden Bezugssystemen wirkt, die sich selbst mit einer Relativgeschwindigkeit v relativ zum System bewegen. Der zweite Lernblock befasst sich mit der Zentripetalkraft, welche keine

Trägheitskraft, sondern eine sogenannte eingeprägte Kraft ist. Jedoch wird in einer Zusatzaufgabe auf die zugehörige Trägheitskraft (die Zentrifugalkraft) eingegangen. Anschließend werden im Unterkapitel 4.4.3 noch Zusatzaufgaben bzw. Zusatzmaterialien für dieses Modul aufgelistet und beschrieben.

4.4.1 Lernblock „Corioliskraft“

Aufgabe

Die Dauer des Videos beträgt 1:49 min. Eröffnet wird es mit der in Abbildung 116 dargestellten Textfolie.

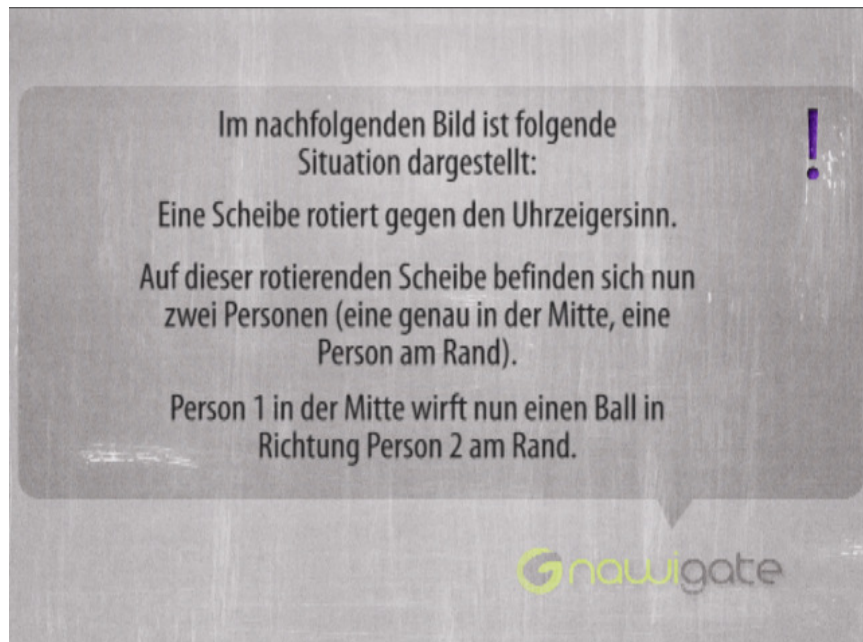


Abb. 116: Screenshot der Textfolie, welche auf den Inhalt des Videos vorbereitet.

Nach der ersten Textfolie folgt ein Bild, in welchem die in Abbildung 116 beschriebene Situation veranschaulicht wird. Einen Screenshot dazu findet man in Abbildung 117.

Anschließend folgt wiederum eine Textfolie, welche den Gedankengang des Experiments erklären soll. Abbildung 118 zeigt den Screenshot dieser wichtigen Folie.

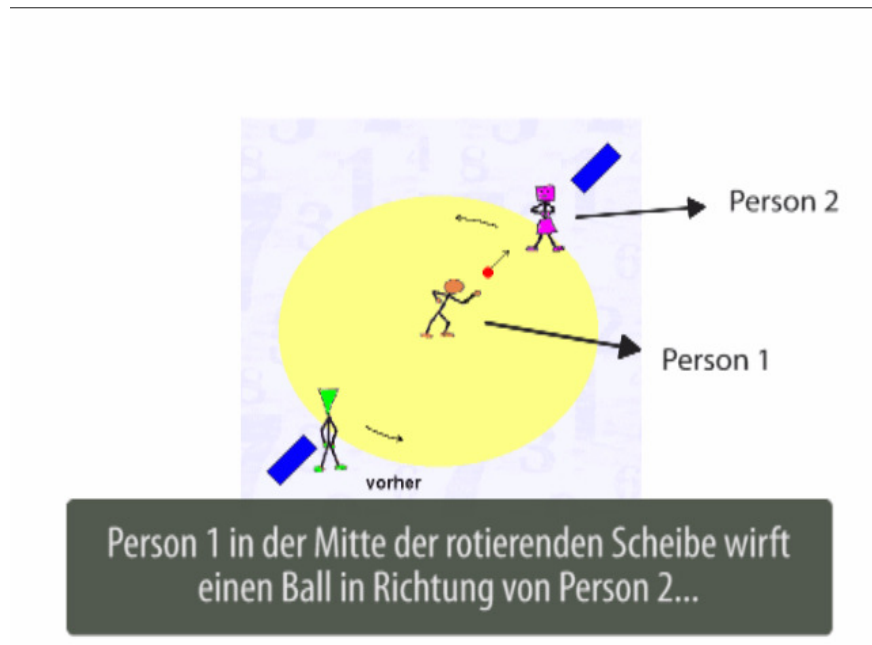


Abb. 117: Screenshot des Bildes, welche die experimentelle Situation erklärt. Die dritte Person in diesem Screenshot ist die beobachtende Person, welche im Bild ebenfalls gekennzeichnet wird (in diesem Screenshot nicht eingeblendet). Auch die Rotationsrichtung der Drehscheibe wird in diesem Bild eingezeichnet.

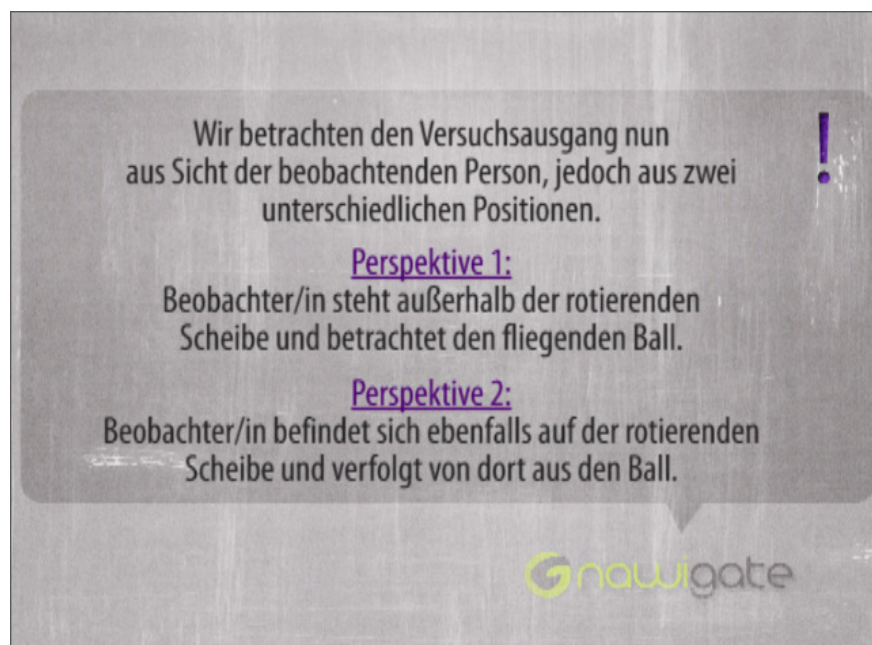


Abb. 118: Screenshot der Textfolie, welche das Gedankenexperiment erläutert.

Danach wird den Schüler(innen) das Bild aus Perspektive 1 (die beobachtende Person ist außerhalb der rotierenden Scheibe) gezeigt. Abbildung 119 zeigt den Screenshot dieser Perspektive.

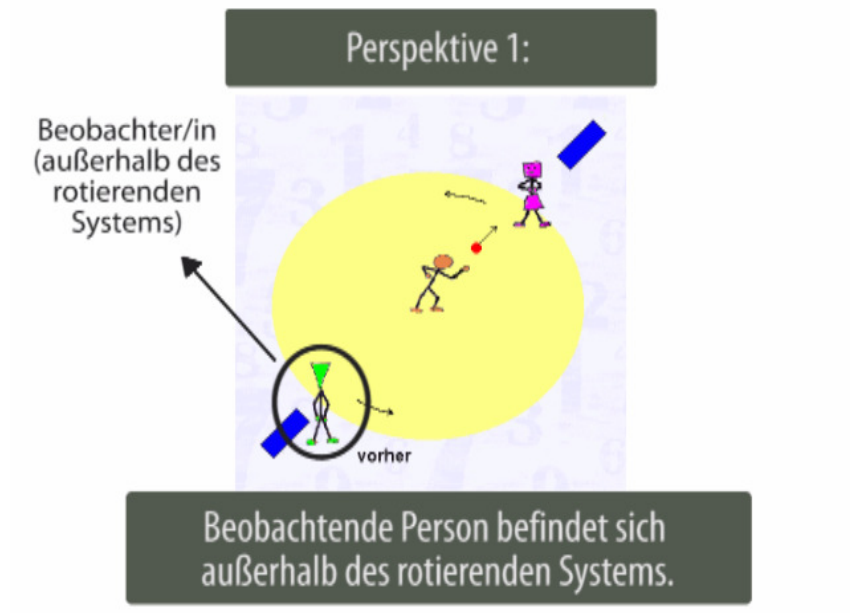


Abb. 119: Screenshot von Perspektive 1, noch bevor der Ball abgeworfen wird.

Nach diesem Bild (Abb. 119) bekommen die Schüler(innen) eine Fragefolie zu dieser Perspektive zu sehen, welche sie vor eine Denkaufgabe stellen soll. Abbildung 120 zeigt den Screenshot dieser Folie.

Anschließend zeigt das Video den Betrachter(inne)n ein Bild der Perspektive 2, in welchem also die beobachtende Person auf der rotierenden Scheibe mitrotiert. Abbildung 121 zeigt den Screenshot dieses Bildes.

Nach dieser bildhaften Darstellung (Abb. 121) folgt wieder eine Fragefolie, welche die Schüler(innen) Denkaufgaben zu dieser „Perspektive 2“ gibt. Abbildung 122 zeigt den Screenshot dieser Fragefolie. Diese Fragefolie bildet gleichzeitig den Abschluss dieses Videos.

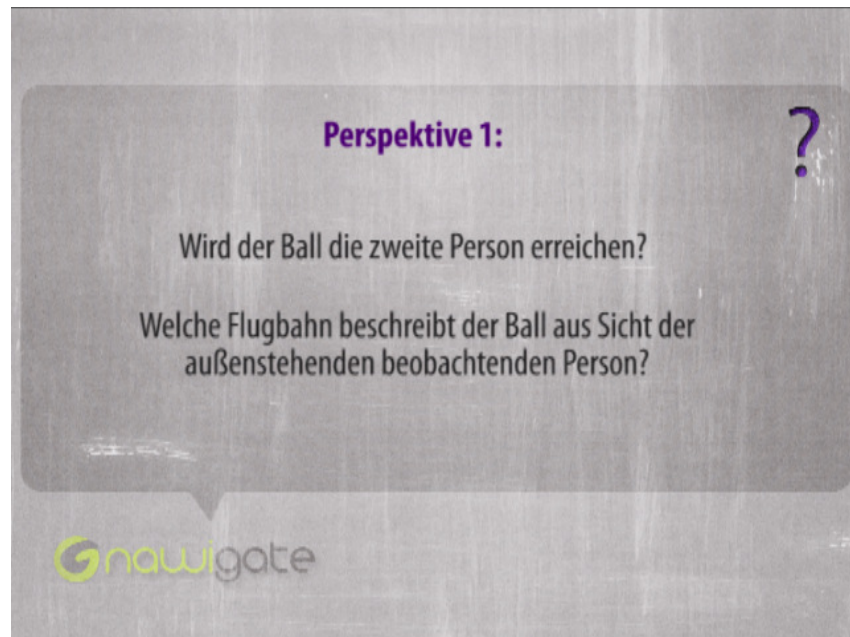


Abb. 120: Screenshot der Fragefolie zu Perspektive 1.

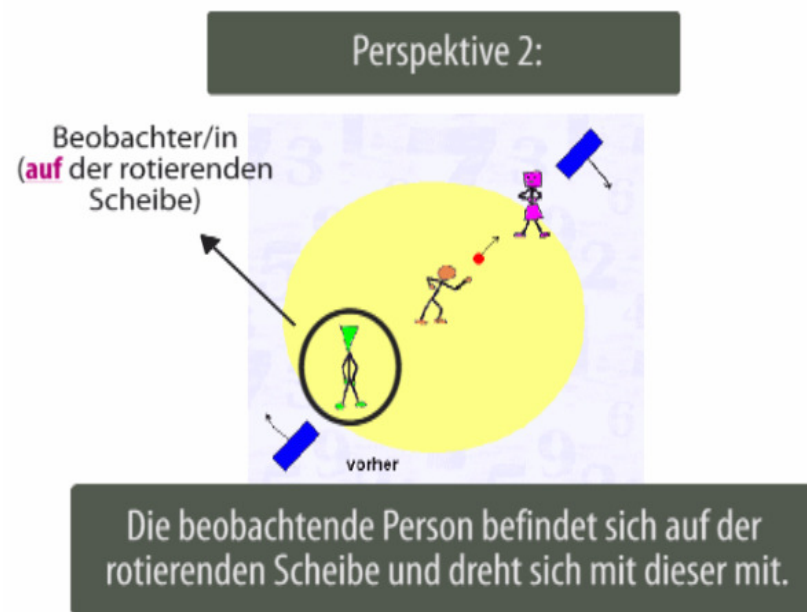


Abb. 121: Screenshot des Bildes von Perspektive 2.

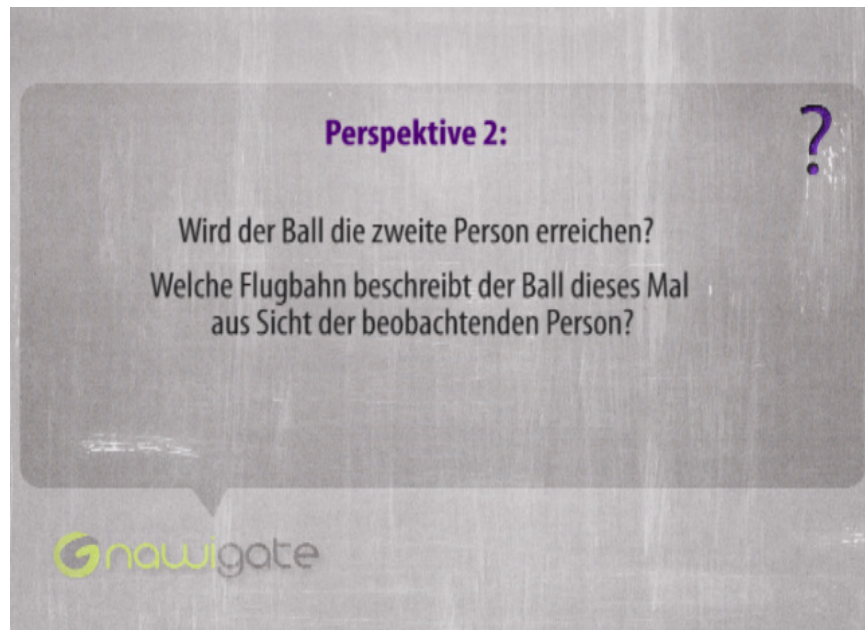


Abb. 122: Screenshot der Fragefolie zu der Perspektive 2, in welcher die beobachtende Person auf der Scheibe mitrotiert.

Lösung

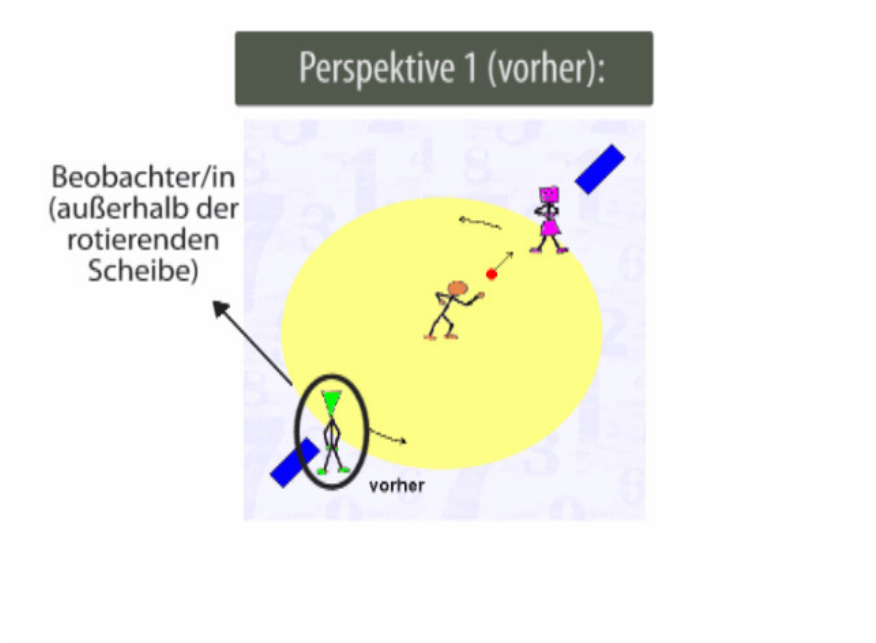
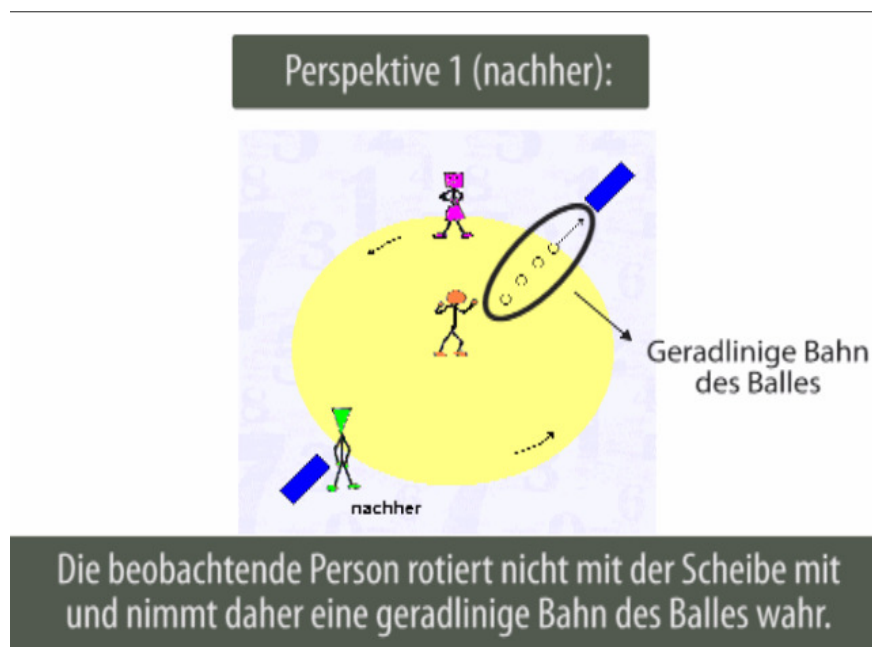


Abb. 123: Situation aus Perspektive 1, kurz nachdem der Ball die Hand der werfenden Person verlässt.

Die Dauer der Lösung beträgt 2:24 min. Zu Beginn des Videos wird der wesentliche Grundgedanke der Aufgabe (die Versuchsdurchführung) noch einmal wiederholt und aufgegriffen. Anschließend wird der Vorgang aus jener Perspektive analysiert, in welcher sich die beobachtende Person außerhalb der rotierenden Scheibe befindet. Der Screenshot in Abbildung 123 zeigt die Situation aus dieser Perspektive, kurz nachdem der Ball die Hand der werfenden Person verlässt.



Eine andere Erklärung, welche in der unteren grauen Textbox eingeblendet wird (Abb. 124) bezieht sich darauf, dass Person 2 mit der Scheibe mitrotiert und der Ball diese dadurch nicht erreichen kann.

Anschließend widmet sich das Video der zweiten Perspektive, bei welcher die beobachtende Person mit der Scheibe mitrotiert. Das erste Bild dazu liefert wieder eine Darstellung der Situation, kurz nachdem der Ball die Hand der werfenden Person in der Mitte der Scheibe verlässt. Abbildung 125 zeigt einen Screenshot.

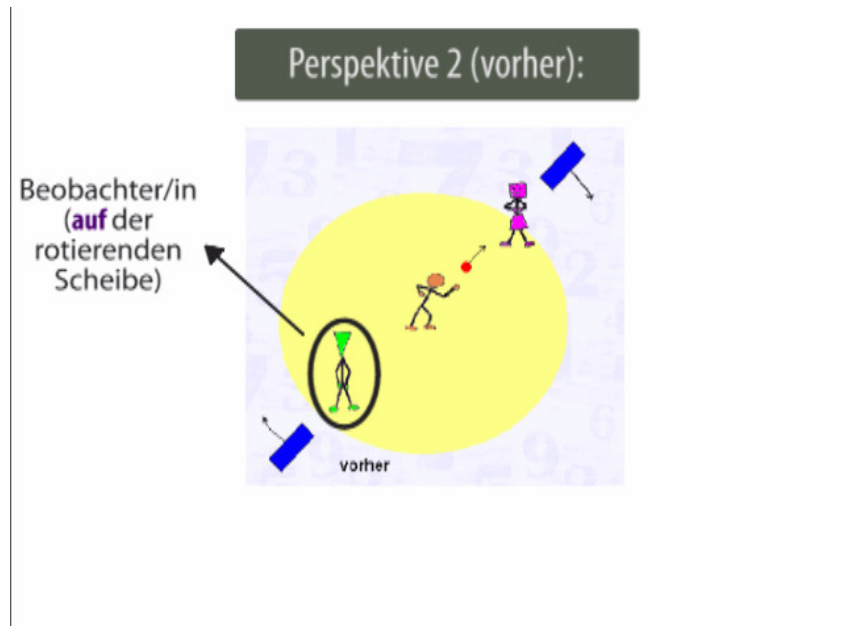


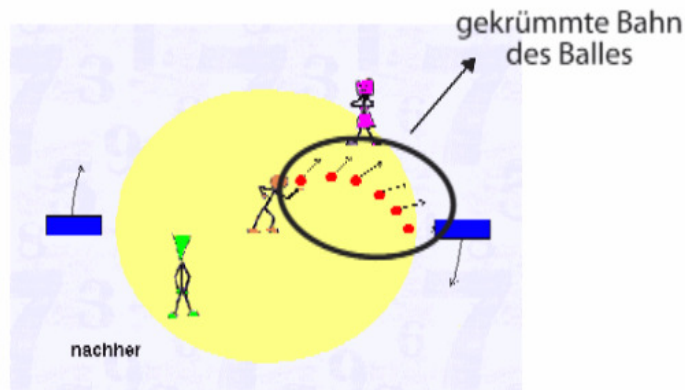
Abb. 125: Screenshot der Situation aus dem Experiment, kurz nachdem der Ball die Hand verlässt. Das selbe Experiment wird nun aus der Perspektive 2 wahrgenommen.

Auch hier soll die Flugbahn des Balles aus Sicht der (diesmal mitrotierenden) beobachtenden Person aufgelöst werden. Dazu folgt im Video das nächste Bild, in welchem der Ball schon eine gewisse Zeit geflogen ist. Abbildung 126 zeigt den Screenshot dieses Bildes.

Am Ende der Lösung werden auf zwei Textfolien noch einmal die experimentellen Befunde zusammengefasst und die wesentlichen Lerninhalte festgehalten. Abbildung 127 zeigt den Screenshot der Textfolie, welche die Befunde zusammenfasst.

Die letzte Textfolie im Video, welche auch den Abschluss dieses Videos bildet, fasst noch einmal die Theorie zur Corioliskraft zusammen. Abbildung 128 zeigt den Screenshot dieser Textfolie.

Perspektive 2 (nachher):



Die mitrotierende beobachtende Person macht eine Kraft für die gekrümmte Bahn des Balles verantwortlich, die Corioliskraft.

Abb. 126: Screenshot der Situation, nachdem der Ball schon eine Zeit lang geflogen ist. Hier ist die Erklärung eingeblendet, in welcher die beobachtende Person eine Kraft für die gekrümmte Flugbahn des Balles verantwortlich macht.

Zusammenfassung

Eine **ruhende (außenstehende) beobachtende Person** nimmt keine Richtungsänderung des Balles (also keine Beschleunigung) wahr. Folglich wirkt aus Sicht dieser Person keine Kraft auf den fliegenden Ball.

Für eine **mitrotierende beobachtende Person** erscheint die Flugbahn des Balles jedoch gekrümmt. Der Ball ändert demnach ständig seine Richtung. Dafür macht die beobachtende Person die Corioliskraft verantwortlich.

Gnawigate

Abb. 127: Screenshot der Textfolie, welche die experimentellen Befunde noch einmal übersichtlich darstellt.

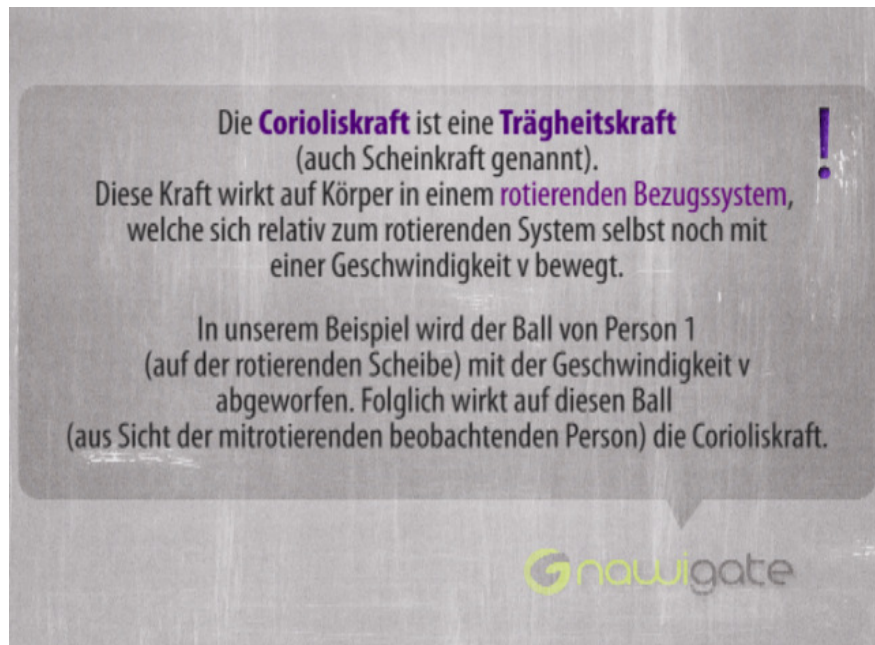


Abb. 128: Screenshot der Textfolie am Ende des Videos.

Dieser Lernblock soll den Schüler(innen) dabei helfen zu verstehen, dass Trägheitskräfte nur in beschleunigten (rotierenden) Bezugssystemen beobachtet werden. Befinden sich die Beobachter(innen) jedoch in einem Inertialsystem, so können diese keine Corioliskraft oder Zentrifugalkraft ausmachen.

4.4.2 Lernblock „Snowboard fahren“

Aufgabe

Dieses Video hat eine Länge von 1:38 min. Zu Beginn sehen die Schüler(innen) eine kurze Videosequenz, in welcher eine Snowboarderin abwechselnd Front- und Backside-Schwünge fährt. Danach folgt eine Textfolie, welche auf das eigentlich interessante Phänomen bei diesen Schwüngen hinweist. Abbildung 129 zeigt einen Screenshot dieser Textfolie.

Die Ganzkörperinnenlage (Abb. 129) der Fahrerinnen wird in dem Video anschließend anhand eines Standbildes veranschaulicht. In Abbildung 130 ist ein Screenshot zu sehen, der die Innenlage beim Frontside- Schwung verdeutlicht.

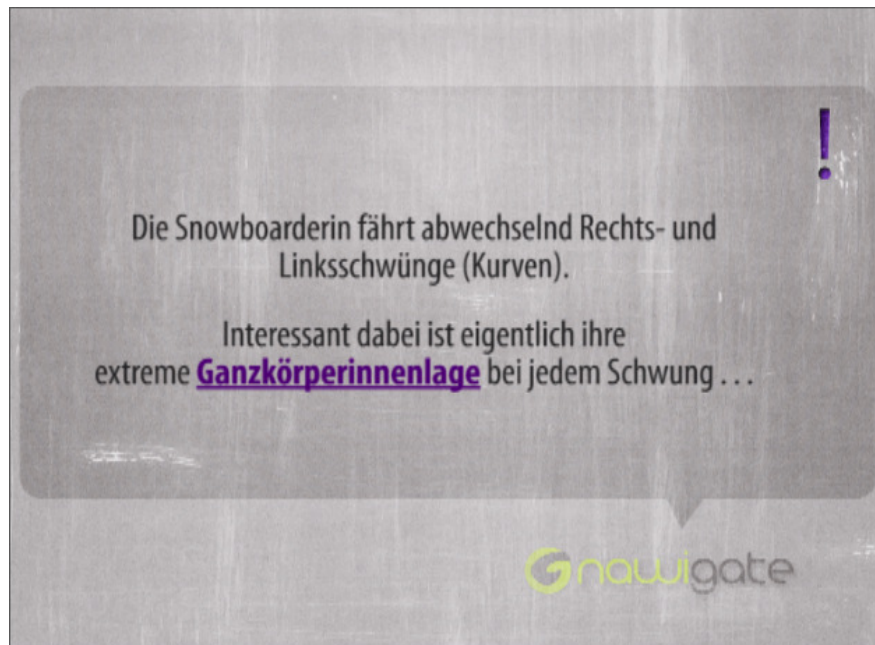


Abb. 129: Screenshot der Textfolie, welche auf die Ganzkörperinnenlage der Snowboarderin hinweist.



Abb. 130: Screenshot des Standbildes, welches die Körperinnenlage der Snowboarderin veranschaulicht.

Ebenso wird auch die Innenlage beim Backside- Schwung gezeigt (Abb. 131).



Abb. 131: Screenshot des Standbildes beim Backflip. Die Projektion des Körperschwerpunkt (P) lässt deutlich erkennen, dass diese außerhalb der Auflagefläche des Snowboards liegt.

Am Ende des Videos werden die Schüler(innen) wieder mit interessanten Fragestellungen zu diesem Phänomen konfrontiert (Screenshot in Abb. 132)

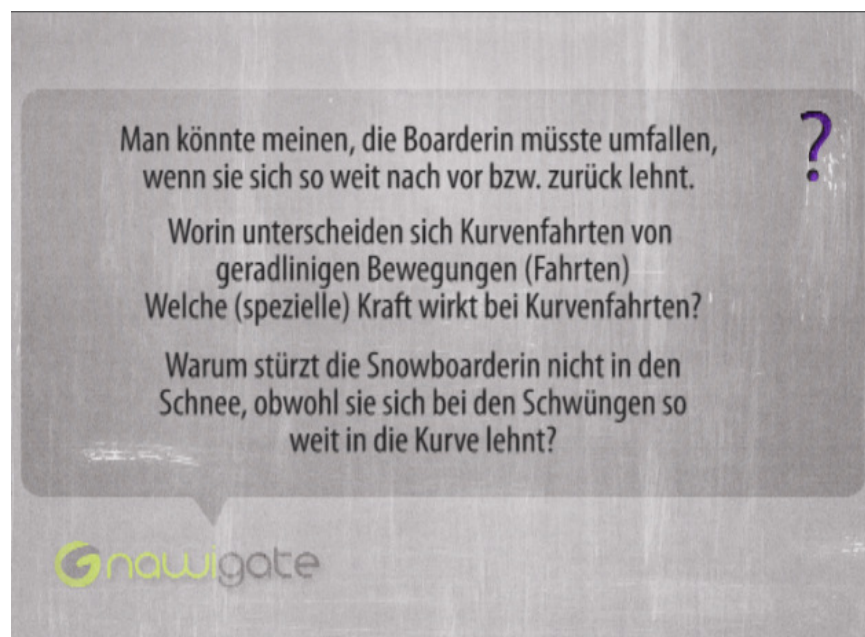


Abb. 132: Screenshot der Fragefolie am Ende des Aufgaben-Videos.

Lösung

Die Dauer dieses Videos beträgt 2:01 min. Am Anfang wird anhand eines Standbildes erklärt, dass die Kräfte am Körperschwerpunkt angreifen (Screenshot in Abb. 133).



Abb. 133: Screenshot des Standbildes zu Beginn des Lösungsvideos.



Abb. 134: Screenshot des Standbildes, in welchem die tatsächlich angreifenden Kräfte eingezeichnet sind.

Danach widmet sich das Video mit der Fragestellung, welche Kräfte überhaupt tatsächlich an der Snowboarderin bei einer Kurvenfahrt angreifen. In Abbildung 134 ist der Screenshot des Standbildes zu sehen, welches die angreifenden Kräfte als Vektorpfeile darstellt.

Anschließend folgt eine Textfolie, welche die Bodenreaktionskraft näher erläutert (Abb. 135).

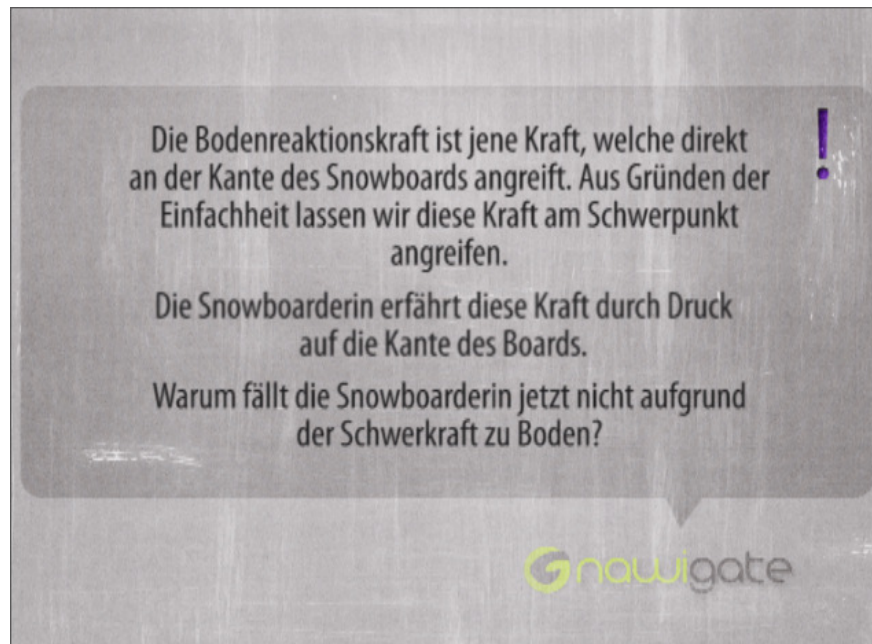


Abb. 135: Screenshot der Textfolie, welche die Bodenreaktionskraft erklärt.

In einer weiteren Textfolie im Video wird erklärt, dass die resultierende Kraft (Wirkung) auf einen Körper die vektorielle Summe aller auf ihn einwirkenden Kräfte ist. Der Inhalt dieser Textfolie wird danach anhand eines Standbildes der Snowboarderin dargestellt. Abbildung 136 zeigt diesen Screenshot.

Dieser komplexe Inhalt wird in einer nachfolgenden Textfolie noch einmal ausführlich erläutert. Abbildung 137 zeigt den Screenshot dieser Folie. Der Inhalt dieser Textfolie (Abb. 137) wird im Video sogleich auf einem Standbild noch einmal verdeutlicht (Screenshot in Abb. 138).

Zum Abschluss des Lösungsvideos wird auf einer Textfolie der wichtigste Lerninhalt dieses Lernblocks zusammengefasst. Abbildung 139 zeigt den entsprechenden Screenshot.



Abb. 136: Screenshot des Standbildes, welche die vektorielle Summe der einwirkenden Kräfte veranschaulicht.

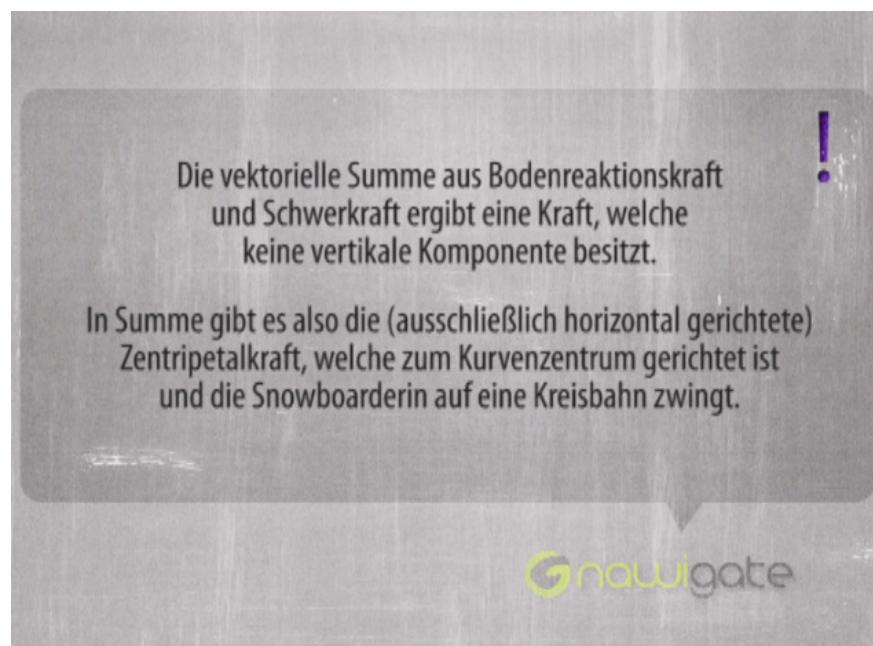


Abb. 137: Screenshot der Textfolie, welche die resultierende Kraft (Zentripetalkraft) noch einmal erläutert.



Abb. 138: Screenshot des Standbildes, welche zeigen soll, dass die resultierende Zentripetalkraft keine vertikale Komponente besitzt.

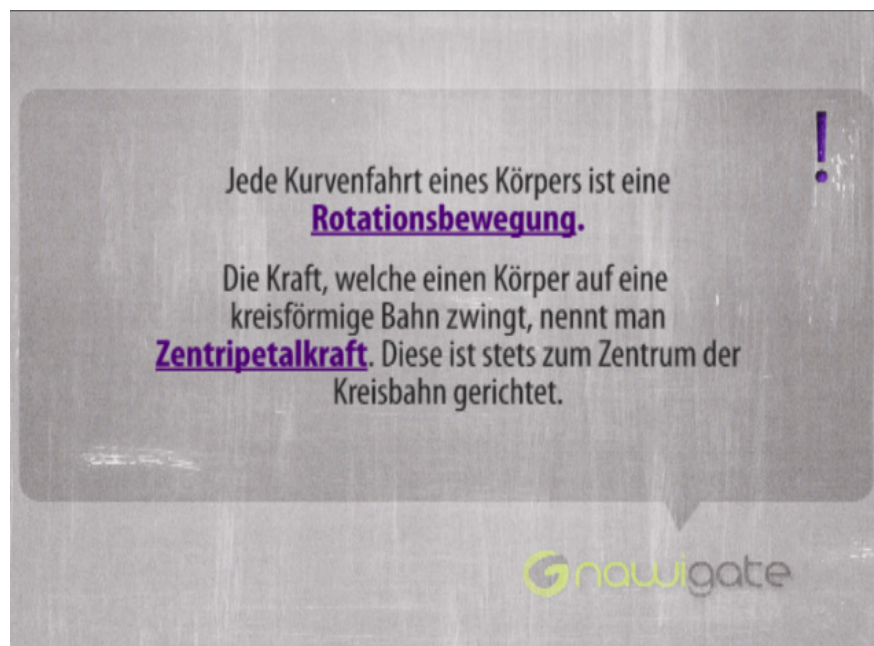


Abb. 139: Screenshot der Textfolie am Ende des Lösungsvideos.

Anzumerken hierbei ist, dass die Zentripetalkraft keine Trägheitskraft ist (obwohl das Modul „Trägheitskräfte“ heißt). Die Zentripetalkraft ist eine eingeprägte Kraft, welche sich nicht durch Wahl des Bezugssystems wegtransformieren lässt. Im Gegensatz zu einer Trägheitskraft, welche aus Sicht eines Inertialsystems nicht beobachtet werden kann.

Im Kapitel 4.4.3 findet sich eine Zusatzaufgabe zu diesem Lernblock, welche das bei der Snowboarderin behandelte Phänomen aus Sicht eines mitrotierenden Beobachters (aus Sicht der Snowboarderin) behandeln soll. Man kann das Nicht-Stürzen der Snowboarderin bei Kurvenfahrten nämlich auch mit Hilfe der Zentrifugalkraft lösen, und das ist eine Trägheitskraft.

4.4.3 Zusatzaufgaben / Zusatzmaterial

Zentrifugalkraft

Das Nicht-Umkippen der Snowboarderin im Video (siehe Kapitel 4.4.2) bei den Kurvenfahrten kann man auch noch anders erklären. Aus Sicht der Snowboarderin (einer mitrotierenden Beobachterin) wirkt auf sie die Zentrifugalkraft. In welche Richtung zeigt die Zentrifugalkraft? Wie könnte man nun mit Hilfe dieser Trägheitskraft das Nicht-Umkippen erklären?

⁴Karussell (Epstein, 2008, S. 124)

Peter und Daniel stehen auf einem Karussell, das sich wie in der Skizze dreht. Peter wirft einen Ball direkt auf Daniel zu.

- a) Der Ball erreicht Daniel
- b) Der Ball geht rechts an Daniel vorbei
- c) Der Ball geht links an Daniel vorbei

⁴ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht eingerückt und kursiv geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Epstein, 2008, S. 124) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

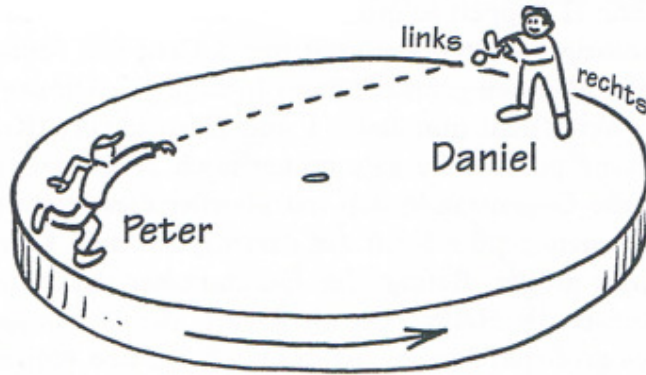


Abb. 140: Skizze der Aufgabenstellung (Epstein, 2008, S. 124).

Windrichtungen

In welche Richtungen werden Winde auf der Nord- bzw. Südhalbkugel abgelenkt?

Wiederholungsaufgaben

- Wiederhole die Formel für die Berechnung der Corioliskraft.
- Wie kann mit der Rechten- Hand- Regel bestimmt werden, in welche Richtung die Corioliskraft wirkt. Überprüfe dein Wissen anhand des Videos, bzw. anhand der Skizze bei der Aufgabe „Karussell“.

⁵Rotierende Kugel im Cognacglas

Material:

Trinkglas, das sich zur Öffnung hin verengt, z.B. Cognacschwenker

Kleine Kugel, z.B. Murmel oder Haselnuss

⁵ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht als Fußzeile geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Berthold et. al., 2006, S. 122) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

Aufbau und Durchführung:

Ein Cognacschwenker wird mit der Öffnung über eine auf einem Tisch liegende Murmel gestellt. Man fährt mit dem Glas auf einer kreisförmigen Bahn so über den Tisch (siehe Abb. 141), dass die Murmel mitgenommen wird und sich im Inneren des Glases auf einer Kreisbahn entlang der Glaswand bewegt. Je schneller man das Glas bewegt, umso weiter oben im Glas liegt die Kreisbahn der Murmel. Die höchste Bahn, die die Murmel durchlaufen kann, liegt an der Stelle, an der das Glas den größten Radius aufweist. Bewegt man das Glas schnell genug, so ist es möglich, das Glas hochzuheben, ohne dass die Murmel heraus fällt.

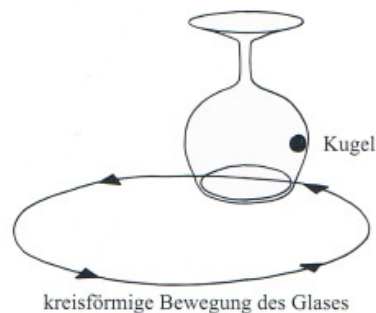


Abb. 141: Skizze der Versuchsdurchführung (S. 122).

Kannst du dieses Experiment physikalisch erklären?

⁶Schnellerer Dreh (Epstein, 2008, S. 118)

Zwei identische Dinge bewegen sich auf Kreisbahnen gleichen Durchmessers, nur dass sich eines dabei doppelt so schnell wie das andere bewegt. Die Zentripetalkraft, die erforderlich ist, um das schnellere Ding auf der Kreisbahn zu halten ist

- a) gleich groß
- b) ein Viertel so groß

⁶ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht als Fußzeile geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Epstein, 2008, S. 118) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

- c) halb so groß
- d) doppelt so groß
- e) viermal so groß

wie die Kraft, um das langsamere Ding auf der Bahn zu halten?

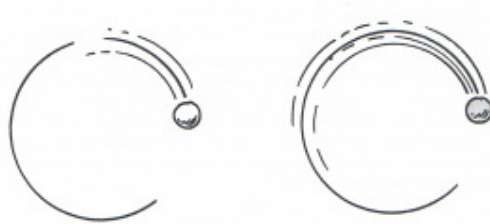


Abb. 142: Skizze der Aufgabenstellung (Epstein, 2008, S. 118).

⁷Engerer Dreh (Epstein, 2008, S. 122)

Ein Gegenstand läuft auf der Bahn 1 mit einer Geschwindigkeit von einem Kilometer pro Stunde um. Ein identischer Gegenstand bewegt sich auf der Bahn 2 mit derselben Geschwindigkeit. Der Durchmesser der Bahn 2 ist halb so groß wie derjenige von Bahn 1. Die Kraft, erforderlich für die Bewegung des Gegenstandes auf Bahn 2 ist

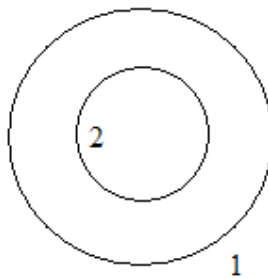


Abb. 143: Skizze der Problemaufgabenstellung (Epstein, 2008, S. 122).

⁷ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht eingerückt und kursiv geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Epstein, 2008, S. 122) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

- a) gleich groß
- b) halb so groß
- c) doppelt so groß
- d) viermal so groß
- e) ein Viertel so groß

wie die Kraft auf den Gegenstand auf Bahn 1.

Aus der Leichtathletik

„Ein Hammerwerfer rotiert mit $14,7 \text{ rad/s}$ mit einer Winkelbeschleunigung von $6,28 \text{ rad/s}^2$ vor dem Verlassen des Hammers. Der Gesamtradius (incl. Arm) beträgt $1,5 \text{ m}$. Wie groß sind Zentripetal-, Tangential- und resultierende Beschleunigung?“ (Baca, 2010)

⁸Schwenk (Epstein, 2008, S. 116)

Eine Katze rennt über den Boden von 1 nach 3, ohne ihre Geschwindigkeit zu erhöhen oder zu senken. Allerdings ändert sie bei 2 ihre Bewegungsrichtung. Können wir mit Sicherheit sagen, dass bei 2 eine Kraft auf die Katze ausgeübt wurde?

- a) Ja, es muss eine Kraft auf die Katze eingewirkt haben
- b) Nicht unbedingt, denn die Geschwindigkeit der Katze hat sich nicht geändert.

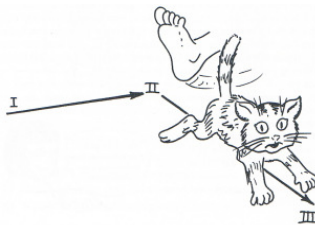


Abb. 144: Skizze des Inhalts der Aufgabenstellung (Epstein, 2008, S. 116).

⁸ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht als Fußzeile geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Epstein, 2008, S. 116) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

⁹**Kurvenfahrt in Entenhausen (Hemme, 2008, S. 63)**

Donald Duck fährt mit seinem kleinen roten Auto mit der Nummer 313 gemütlich durch Entenhausen. Plötzlich sieht er die Panzerknacker AG, die von Onkel Dagoberts Geldspeicher kommt und ihn offensichtlich ausgeraubt hat und nun mit hoher Geschwindigkeit die Stadt verlässt. Sofort nimmt Donald die Verfolgung auf. Ungebremst und mit quietschenden Reifen rast er um eine Kurve, sodass die Räder auf der einen Seite des Autos vom Boden abheben.

Heben sich die Räder auf der Innen- oder auf der Außenseite der Kurve ab?

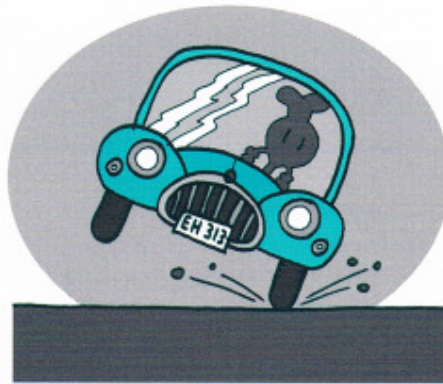


Abb. 145: Skizze der Problemstellung. Fährt Donald eine Links- oder eine Rechtskurve, heben also die Räder auf der Innen- oder Außenseite der Kurve ab? (Hemme, 2008, S. 63).

⁹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird dieser Text nicht als Fußzeile geschrieben, obwohl die Aufgabenstellung wort-wörtlich aus dem Buch (Hemme, 2008, S. 63) übernommen wurde. Der Text wird auch genau in dieser Form auf der Lernplattform zu sehen sein.

LITERATURVERZEICHNIS

- Baca, A. (2010). *Einführung in die Biomechanik für den Schulsport*. Wien: Universität Wien.
- Berthold, C. Braam, G. Christ, D. Haubrich, J. Herfert, M. Hilscher, H. Kraus J. & Möller C. (2006). *Physikalische Freihandexperimente. Band 1. Mechanik*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Epstein, L. C. (2008). *Denksport Physik. Fragen und Antworten*. München: Deutscher Taschenbuchverlag.
- Girwidz, R. (2005). Multimedia im Physikunterricht. Ansätze für eine theoriegeleitete Entwicklung und Anwendung. In A. Pitton (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit neuen Medien* (S. 27-41). Berlin: LIT Verlag.
- Girwidz, R. (2009). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Heidelberg: Springer.
- Hemme, H. (2008). *Düsentrieb contra Einstein. 100 physikalische Kopfnüsse*. Hamburg: Rowohlt.
- Hopf, M. Schecker, H. & Wiesner H. (2011). *Physikdidaktik kompakt*. München: Aulis.
- Issing, L. J. (1994). Wissenserwerb mit bildlichen Analogien. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 149-176). Bern: Hans Huber.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning. Second Edition*. Cambridge University Press.
- Müller, C. (2006). *Mediendidaktische Grundlagen zum Einsatz „Neuer Medien“ Multimedia in Lehr- Lernprozessen und deren Einfluss auf den Unterricht Bewegung und Sport*. Wien: Universität Wien, Universitätssportinstitut.
- Neugebauer, C. & Sumfleth, E. (Hrsg.). (2006). *Lernen mit Simulationen und der Einfluss auf das Problemlösen in der Physik*. Berlin: Logos.
- Rabe, T. & Sumfleth, E. (Hrsg.). (2007). *Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia*. Berlin: Logos.
- Schnotz, W. (1994). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 95-148). Bern: Hans Huber.
- Varnai, A. S. & Sumfleth, E. (Hrsg.). (2006). *Unterstützung des Problemlösens in Physik durch den Einsatz von Simulationen und die Vorgabe eines strukturierten Kooperationsformats*. Berlin: Logos.
- Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L.J. Issing (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis* (S. 45-64). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Roman Brunner
Wohnort: Hofgraben 13/1/11 2490 Ebenfurth
Telefonnummer: 0650/4217978
e-Mail: a0600417@unet.univie.ac.at
Familienstand: ledig
Staatsbürgerschaft: Österreich

Schulausbildung:

1993 bis 1997: Volksschule Pottendorf
1997 bis 2006: BRG Gröhrmühlgasse Wr.Neustadt

Studium:

seit Wintersemester
2006/2007: Studium der Unterrichtsfächer Physik und Psychologie an
der Universität Wien
seit Sommersemester
2008: Studium der Unterrichtsfächer Physik und Bewegung und
Sport an der Universität Wien

Berufserfahrung:

1. 8. bis 31. 8. 2002 Ferialpraktikum Firma Billa Pottendorf
1. 7. bis 31. 7. 2004 Ferialpraktikum Firma Billa Pottendorf
2. 8. bis 31. 8. 2005 Ferialpraktikum Firma Spar Pottendorf

3. 7. bis 05. 8. 2006	Ferialpraktikum Firma Billa Pottendorf
7. 9. 2009 bis 31.1. 2010	Unterricht Physik am BG Zehnergasse Wr.Neustadt (9 Stunden pro Woche)
1. 10. 2010 bis 28. 2. 2011	Tutorentätigkeit an der Universität Wien (Physik)
1. 3. 2011 bis 31. 7. 2011	Tutorentätigkeit an der Universität Wien (Physik)
9. 5. 2011 bis 1. 7. 2011	Unterricht Physik am BG Zehnergasse Wr.Neustadt (7 Stunden pro Woche)

Besondere Kenntnisse/Fähigkeiten

Fremdsprachen: Englisch, Grundkenntnisse in Französisch

Führerschein B

Fußballvereine:

- SVG Pottendorf (bis Herbst 2001)
- SK Rapid Wien (Frühling 2002)
- SC Wr.Neustadt (Herbst 2002 bis Frühling 2005)
- SVG Pottendorf (Herbst 2005 bis Frühling 2006)
- SC Wr.Neustadt (Herbst 2006 bis Frühling 2008)
- SC Neunkirchen (Herbst 2008 bis Frühling 2009)
- ASK Bad Fischau- Brunn (seit Herbst 2011)