

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung  
für das Lehramt an Hauptschulen und Realschulen im Fach Physik,  
eingereicht dem Landesschulamt – Prüfungsstelle Frankfurt am Main –

# Der Simulationsbaukasten Yenka – Beschreibung und Beispiele

**Gutachter:** Prof. Dr. Thomas Wilhelm  
Institut für Didaktik der Physik  
Goethe-Universität Frankfurt am Main  
Max-von-Laue-Straße 1  
60438 Frankfurt am Main

**Datum der Fertigstellung:** 29.10.16



# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Was kennzeichnet ein Simulationsprogramm? .....	3
2.1 Modellbildung im Physikunterricht .....	3
2.2 Modellbildung mit dem Computer .....	4
2.2.1 Animationen und Simulationen .....	5
2.2.2 Vor- und Nachteile von Simulationen .....	6
2.3 Multimedia aus lernpsychologischer Sicht .....	7
3. Yenka Physik.....	9
3.1 Allgemeine Informationen .....	9
3.2 Die Benutzeroberfläche .....	11
3.3 Nutzung der vorgefertigten Simulationen .....	13
3.4 Erstellung einer neuen Simulation .....	15
3.4.1 Bewegung .....	15
3.4.2 Elektrizität und Magnetismus.....	25
3.4.3 Licht und Schall.....	31
4. Beispiel-Simulationen.....	36
4.1 Mechanik .....	37
4.1.1 Freier Fall und waagerechter Wurf .....	37
4.1.2 Gleichförmige Bewegungen .....	40
4.1.3 Gleichmäßig beschleunigte Bewegungen .....	41
4.1.4 Schiefe Ebene .....	43
4.1.5 Wechselwirkungsprinzip (Newtons drittes Gesetz) .....	44
4.1.6 Faden- und Federpendel.....	45
4.2 Elektrizitätslehre.....	48
4.2.1 Ohmsches Gesetz .....	48
4.2.2 Reihenschaltungen .....	49
4.2.3 Parallelschaltungen .....	50
4.2.4 Komplexere Schaltungen .....	51
4.2.5 Elektromagnetische Induktion.....	52
4.2.6 Windkraft zur Energiegewinnung.....	55

<b>4.3 Optik .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.1 Schattenräume.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.2 Reflexionsgesetz.....</b>	<b>58</b>
<b>4.3.3 Bildentstehung am ebenen Spiegel .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.4 Bildentstehung an der Sammellinse.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.5 Fehlsichtigkeit beim Auge .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3.6 Fernrohr.....</b>	<b>62</b>
<b>4.3.7 Totalreflexion.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3.8 Additive Farbmischung .....</b>	<b>64</b>
<b>5. Abschließendes Fazit .....</b>	<b>66</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>68</b>
<b>7. Anhang.....</b>	<b>70</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>72</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung.....</b>	<b>73</b>

# 1. Einleitung

Neue Medien, wie PCs, Tablets und Smartphones, werden im Alltag der Schülerinnen und Schüler immer relevanter. Aber auch in der Schule werden zunehmend PCs und interaktive Whiteboards genutzt. Diese bieten gerade für den Physikunterricht diverse Vorteile. Mit interaktiven Whiteboards können Bilder, Grafiken, Videos, Animationen oder Simulationen schnell und unkompliziert der gesamten Klasse präsentiert werden. Insbesondere in Bezug auf das Experimentieren bieten neue Medien viele Möglichkeiten. Mit Videoanalyseprogrammen können Bewegungen mit einer Videokamera aufgezeichnet und anschließend bearbeitet werden. Dabei können Stroboskopbilder von sich bewegenden Objekten erzeugt oder Vektorpfeile an Objekten angezeigt werden, während das aufgenommene Video abgespielt wird. Auch für das Smartphone gibt es mittlerweile zahlreiche Anwendungen, die für den Unterricht genutzt werden können. Dazu gehören beispielsweise Anwendungen, die den internen Beschleunigungssensor des Smartphones nutzen, um seine Beschleunigungswerte in einem Koordinatensystem als Vektorpfeil darzustellen.

Schließlich gehören auch Simulationsprogramme zu den computergestützten Anwendungen, die für den Physikunterricht sinnvoll eingesetzt werden können. Zu diesen Anwendungen gehört der Simulationsbaukasten „Yenka Physik“. Dieser ermöglicht einem Anwender, innerhalb einer virtuellen Welt frei mit den zur Verfügung gestellten Objekten und Werkzeugen zu experimentieren. Die Besonderheit eines solchen Programms liegt darin, dass beim Anwender keine großen Physikkenntnisse vorausgesetzt werden, da er keine Gleichungen für physikalische Zusammenhänge eingeben muss, sondern lediglich die gewünschte Situation innerhalb dieser virtuellen Welt erstellt und die Rahmenbedingungen dafür festlegt (vgl. Wilhelm & Zang 2011, S. 6). Dies ermöglicht ein entdeckendes und erforschendes Vorgehen bei seiner Nutzung, das gerade für Schülerinnen und Schüler großes Potential besitzt. Die verschiedenen Objekte innerhalb des Programms bieten hierfür vielfältige Einstellungsmöglichkeiten, damit sie unter den festgelegten Rahmenbedingungen miteinander interagieren können. Auch wenn der Computer mittlerweile als vielseitig nutzbares Medium in Schulen angekommen ist, bleibt die Frage, ob Simulationsbaukästen bzw. Simulationen im Allgemeinen überhaupt für den Physikunterricht eingesetzt werden. In einer Erhebung in Unterfranken aus dem Jahre 2009 gaben 83% der befragten Gymnasiallehrkräfte an, dass sie Simulationen bereits im Unterricht eingesetzt haben (Wilhelm & Trefzger 2010, S. 2

f.). Obwohl dieser Anteil sehr hoch ist, gaben 40% der Befragten an, dass sie Simulationen allerdings nur zur Demonstration nutzen. Lediglich 12% geben Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, selbst mit Simulationen zu arbeiten.

Auch wenn der Simulationsbaukasten Yenka Physik sowohl zur Demonstration als auch für die Nutzung durch Schülerinnen und Schüler geeignet ist, soll der Fokus auf den Potentialen liegen, die sich aus der schülerseitigen Nutzung ergeben. Viele Beispiele, die zum Schluss dieser Arbeit vorgestellt werden, sind besonders für Schülerinnen und Schüler geeignet, um explorativ in einer virtuellen Experimentierumgebung zu arbeiten.

In dieser Arbeit sollen die Chancen des Simulationsbaukastens Yenka Physik für den Physikunterricht aufgezeigt werden. Dazu findet in Kapitel 2 zunächst ein theoretischer Einstieg statt. Hier soll erläutert werden, welche Rolle die Modellbildung im Physikunterricht spielt und wie diese mit dem Computer geschehen kann. Dazu werden die Begriffe Animation, Simulation und mathematische Modellbildung definiert und voneinander abgegrenzt. Außerdem werden die Vor- und Nachteile bei der Verwendung von Simulationen aufgezeigt und die Nutzung von Multimedia wird aus lernpsychologischer Sicht erläutert.

In Kapitel 3 wird der Simulationsbaukasten Yenka Physik näher beschrieben. Zunächst werden allgemeine Informationen zum Programm vorgestellt. Anschließend wird die Benutzeroberfläche mit ihren einzelnen Funktionen erläutert. Ebenso wird übersichtlich beschrieben, wie die einzelnen Objekte und Werkzeuge miteinander genutzt werden können und welche unterschiedlichen Einstellungsmöglichkeiten diese für den Nutzer bieten.

Danach werden in Kapitel 4 zahlreiche Beispiel-Simulationen zu zentralen Themen des Physikunterrichts der Sekundarstufe I vorgestellt. Diese werden nach den Bereichen Mechanik, Elektrizitätslehre und Optik gegliedert. Dabei soll aufgezeigt werden, wie diese Beispiele erstellt wurden und wie sie für den Physikunterricht genutzt werden können.

Zum Schluss dieser Arbeit wird im Fazit darauf eingegangen, inwiefern sich Yenka Physik für den Unterricht eignet und welche Argumente für oder gegen eine Nutzung sprechen.

## **2. Was kennzeichnet ein Simulationsprogramm?**

In diesem Kapitel soll eine Übersicht über die Grundlagen in Bezug auf Simulationsprogramme dargestellt werden. Zu diesen Programmen zählt auch der Simulationsbalken Yenka Physik, der im nachfolgenden Kapitel ausführlich vorgestellt wird. Zunächst wird auf den Modellbildungsbegriff eingegangen, der einen sehr relevanten Prozess innerhalb des Physikunterrichts darstellt. Dabei soll aufgezeigt werden, wie das Verhältnis zwischen der Modellbildung und Simulationen aussieht. Anschließend werden die Begriffe Animation und Simulation definiert und voneinander abgegrenzt. Insbesondere der Simulationsbegriff ist für einen Simulationsbalken, wie Yenka Physik, von zentraler Bedeutung.

### **2.1 Modellbildung im Physikunterricht**

Im Alltag verwendet man den Begriff „Modell“ häufig, um ein Abbild von etwas zu beschreiben. Dieses „Etwas“ kann dabei beispielsweise ein Gegenstand sein, sodass ein Modell oft ein kleineres Abbild oder eine kleinere Kopie dieses Gegenstands darstellt. Beispiele für Modelle sind Modell-Eisenbahnen, Modellflugzeuge oder sogar ein Modell einer ganzen Stadt, das lediglich mit einem kleineren Maßstab hergestellt wurde.

In der Physikdidaktik beschreibt der Modellbegriff allerdings eher theoretische Konstrukte, zu denen beispielsweise vorläufige Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern, vorläufige Konstrukte der Wissenschaft oder bewährte physikalische Theorien gehören (vgl. Kircher, Girwidz, Häußler 2009, S. 736). Auch in einigen theoretischen Konstrukten, wie beim Teilchenmodell, findet sich der Begriff Modell wieder. Um den Modellbegriff weiter einzugrenzen, spricht Kircher davon, dass auch experimentelle Daten keine Modelle sind (ebenda, S. 737). Sie hängen zwar sehr eng mit naturwissenschaftlichen Theorien zusammen, da die Experimente selbst auch theorieabhängig sind, aber dennoch sind die experimentellen Daten von anderer Qualität als die Theorien.

Eine sehr schöne und übersichtliche Definition des Modellbegriffs bietet Mikelskis-Seifert. Sie beschreibt ein Modell als einen „Gegenstand oder theoretisches Konstrukt, das von einem Subjekt für einen entsprechenden Zweck geschaffen bzw. verwendet wird. Dabei bestehen zwischen bestimmten Eigenschaften des Modells und bestimmten Eigenschaften des präsentierten Objekts Analogien.“ (Mikelskis-Seifert 2006, S. 128). Interessant ist hierbei der Analogie-Aspekt: Durch die Analogie zwischen dem zu

präsentierenden Objekt und dem Modell kann ein Subjekt Erkenntnisse über dieses Modell gewinnen.

Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass es beim Unterrichten von Modellen auch zu Problemen kommen kann. Durch Untersuchungen bei Schülerinnen und Schülern konnte aufgezeigt werden, dass das Unterrichten von Modellen über Schuljahre hinweg kontinuierlich und systematisch sowie durch Verknüpfung mit den naturwissenschaftlichen Fächern (Physik, Chemie, Biologie) erfolgen sollte (ebenda, S. S. 125). Ebenso soll das Arbeiten mit Modellen an vielfältigen Themen geübt werden. Es zeigte sich, dass Schülerinnen und Schüler mit dem Modellbegriff vor allem gegenständliche Modelle verbinden und dass sie die Modell- und Realitätsebene häufig durcheinander bringen.

## **2.2 Modellbildung mit dem Computer**

Die bereits vorgestellten Ausführungen in Bezug auf die Modellbildung können noch stark erweitert werden. Aber da die Modellbildung weniger allgemein, sondern eher unter dem Gesichtspunkt von Computersimulationen betrachtet werden soll, folgt nun die Betrachtung von Simulationen bzw. Animationen. Letztendlich bieten Computer im Physikunterricht die Chance, die Modellbildung bei Schülerinnen und Schülern zu unterstützen. Dieser Auffassung ist auch Berger, der beschreibt, dass Naturgesetze, die man in der Physik betrachtet, oft nur unter ganz bestimmten Bedingungen gelten (vgl. Berger 2006, S. 139). Aufgrund der hohen Komplexität von Naturphänomenen können diese aber mit schulmathematischen Mitteln kaum betrachtet werden, weshalb man zu Einschränkungen zurückgreifen muss, wie zum Beispiel die Vernachlässigung von Luftreibung bei mechanischen Bewegungen.

Die Simulation von komplexen Vorgängen mit Hilfe des Computers ist nach Berger aber an vier wichtige Voraussetzungen geknüpft: Erstens müssen Schülerinnen und Schülern die Verfahren der Modellbildung und Simulation als Möglichkeit zum Erkenntnisgewinn bekannt sein. Zweitens müssen sie die Ansätze zur Modellbildung nachvollziehen bzw. einfache Modellbildungen selbst vornehmen können. Drittens müssen sie die Simulationen mit geeigneten Werkzeugen durchführen und viertens die daraus gewonnenen Ergebnisse im Kontext realer Prozesse evaluieren können. Diese Voraussetzungen können allerdings nur durch ein schrittweises Vorgehen realisiert



werden, da ansonsten die Gefahr besteht, dass die Ergebnisse der Simulationen nicht richtig bewertet werden.

Dieses schrittweise Vorgehen gliedert Berger in insgesamt vier Schritte:

1. „umgangssprachliche Beschreibung des physikalischen Systems, seiner Elemente und ihrer Beziehungen,
2. Reduktion auf wesentliche, das System charakterisierende Elemente und Vereinfachung des Beziehungsgefüges,
3. Abstraktion unter Verwendung korrekter Fachbegriffe,
4. formale Beschreibung in der ausgewählten Entwicklungsumgebung“ (Berger 2006, S. 142).

### **2.2.1 Animationen und Simulationen**

Durch die rasante Entwicklung der Computertechnologie entstand eine Vielzahl an Animationen und auch an Simulationsumgebungen. Gerade im Internet finden sich viele Simulationen zu den unterschiedlichsten Themen, wie auch zu physikalischen Sachverhalten. Zu den wohl bekanntesten Vertretern gehören die sogenannten Java-Applets, die auch für den Bereich der Schulphysik viele Simulationen anbieten. Relativ anschauliche und etwas ältere Java-Applets werden zum Beispiel von Walter Fendt zur Verfügung gestellt.<sup>1</sup> Zwischen Animationen und Simulationen bestehen allerdings einige wichtige Unterschiede.

Eine Animation ist eine scheinbare Bewegung, bei der sich die Eigenschaften oder Merkmale ihrer Darstellungselemente über die Zeit verändern (vgl. Niegemann et al. 2008, S. 240). Mit Hilfe von einzelnen Standbildern, die mindestens 16-mal pro Sekunde gezeigt werden, kann eine flüssige und kontinuierliche Bewegung vorgetäuscht werden. Zu der Gruppe der Animationen werden auch Simulationen und Videos gezählt. Demnach bieten Simulationen einen hohen Grad an Interaktivität, während Videos sehr realitätsnah sind.

Eine Simulation wird dagegen als interaktive Animation verstanden, bei der Lernende die Möglichkeit bekommen, bestimmte Parameter zu verändern, sodass Einfluss auf den Verlauf der dargestellten Animation genommen werden kann (ebenda, S.260).

---

<sup>1</sup> Java-Applets von Walter Fendt unter <http://www.walter-fendt.de/phys.htm>

Simulationen bieten die Möglichkeit, mit dem Lernstoff aktiv zu interagieren, indem Beobachtungen darüber gemacht werden können, welche Konsequenzen sich aus der Änderung von Parametern ergeben. Weiterhin liegt jeder Simulation ein mathematisches Modell zugrunde, welches das Verhalten dieses Systems definiert. Durch die Nutzung einer Simulation können Lernende also verstehen, wie dieses Modell genau funktioniert. Im Kontext der Modellbildung ist es an dieser Stelle ebenfalls notwendig auf den Unterschied zwischen mathematischer Modellbildung und Simulationen einzugehen. Bei der mathematischen Modellbildung werden zunächst Phänomene oder Vorgänge aus der Physik betrachtet, auf deren Grundlage anschließend ein mathematisches Modell erstellt wird (vgl. Ludwig & Wilhelm 2013, S. 1). Dieses Modell führt dabei zu mathematischen Ergebnissen, die danach wiederum physikalisch interpretiert werden müssen. Mathematische Modellbildung lässt sich also an einem Computer betreiben, indem der Benutzer selbst mathematische Terme und Gleichungen eingibt, aus denen der Computer mathematische Ergebnisse berechnet. Diese lassen sich dann beispielsweise als Graphen, Tabellen oder Animationen darstellen.

Dagegen wurde bei Simulationen das mathematische Modell in der Regel bereits programmiert, sodass der Lernende keine mathematischen Gleichungen eingeben muss, sondern einfach bestimmte Parameter ändert, sodass Veränderungen innerhalb der Simulation sichtbar werden (vgl. Niegemann et al. 2008, S. 261). Simulationen dieser Art werden als modellanwendende Simulationen bezeichnet. Möchte man ein Modell selbstständig konstruieren, so programmiert bzw. erstellt man die Eigenschaften innerhalb eines Systems selbst. Dieses Vorgehen ist mit modellbildenden Simulationen möglich (ebenda, S. 262).

### **2.2.2 Vor- und Nachteile von Simulationen**

Ein offensichtlicher Vorteil bei Simulationen ist das explorative oder erforschende Vorgehen, welches den Lernenden durch eine breite Palette an Einstellungen ermöglicht wird. Außerdem können „unsichtbare“ Prozesse, die in der gewohnten Umgebung nicht beobachtbar sind, erfahrbar gemacht werden (vgl. Niegemann et al. 2008, S. 260 f.). Beispielsweise können magnetische Feldlinien durch Eisenfeilspäne sichtbar gemacht werden, jedoch ist dies nicht für die Bewegung von Elektronen im Stromkreis möglich. Für solche Fälle bieten Simulationen einerseits die Möglichkeit, dies überhaupt sichtbar zu machen und andererseits zusätzlich die Stromstärke zu verändern, um die

Auswirkungen auf die Bewegung zu beobachten. Ebenso ziehen Fehler innerhalb einer Simulation kaum Konsequenzen nach sich. Während eine teure Glühlampe in einem realen Experiment durch eine zu hohe Spannung zerstört werden könnte, ist das Zerstören einer Glühlampe in einer simulierten Umgebung kein Problem, da sie zum Beispiel durch einen einzigen Mausklick ersetzt bzw. repariert werden kann. Auf diese Weise können Lernende ohne jegliche Einschränkungen die Grenzen der Belastbarkeit austesten, ohne dass es sich auf die Lehrmittel-Ausstattung der Schule negativ auswirkt.

Jedoch haben Lernende insbesondere bei der freien Exploration von Simulationen Probleme, das zugrundeliegende Modell zu verstehen. Sie neigen bei zu großem Freiraum dazu, ihre Experimente einfach so auszurichten, dass ihre eigenen Hypothesen dadurch bestätigt werden (ebenda, S. 263 f.). So würden Lernende zum Beispiel aufgrund der Fehlvorstellung, dass schwere Gegenstände unabhängig vom umgebenden Medium stets schneller fallen als leichte, ihr Experiment so lange anpassen, bis dies auch tatsächlich der Fall ist. Auch wenn Lernende in der Simulation etwas beobachten konnten, was ihren Hypothesen widersprach, hatten viele Schwierigkeiten damit, ihre eigenen Hypothesen zu verwerfen. Im Gegensatz zur reinen Exploration stellte sich das Hinzufügen von kurzen Erläuterungen als lernförderlich heraus. Dadurch ist es Lernenden möglich, sich auf die relevanten Prinzipien der Simulation zu fokussieren. Ebenso kann durch eine Simulation, die schrittweise in ihrer Komplexität oder Schwierigkeit steigt, eine gezielte Anleitung der Lernenden erreicht werden, da einzelne Bestandteile der Simulation aufeinander aufbauen und somit keine zusätzlichen Instruktionen benötigt werden.

Nach Girwidz besteht ein weiterer Nachteil darin, dass Simulationen und auch Modelle nur Teilaspekte der Realität wiedergeben können, da sie lediglich ein reduziertes Abbild der Wirklichkeit zeigen (vgl. Kircher, Girwidz, Häußler 2009, S. 425). Auf der anderen Seite bietet diese Reduzierung aber auch eine vorteilhafte Perspektive, da eine Fokussierung auf die zentralen Zusammenhänge die Komplexität eines Lerninhalts reduziert, sodass unter anderem wichtige Einflussgrößen leichter erkennbar werden.

## **2.3 Multimedia aus lernpsychologischer Sicht**

In Bezug auf neue Medien bzw. Multimedia sind die Begriffe Multimodalität, Multicodierung und Interaktivität interessant, da diese die Stärken von neuen Medien aus lernpsychologischer Sicht beschreiben (vgl. Kircher, Girwidz, Häußler 2009, S. 632). Die

verschiedenen Interaktionsangebote, die durch neue Medien entstehen, sowie die Nutzung verschiedener Sinneskanäle und unterschiedlicher Symbolsysteme können zu einer tiefer gehenden Elaboration der Lerninhalte und zu einer höheren Motivation führen.

Der Begriff Multimodalität beschreibt die Nutzung unterschiedlicher sensorischer Systeme bzw. Sinneskanäle, die unterschiedliche Aspekte eines Inhalts betonen und damit die Informationsaufnahme erleichtern können. Dazu gehören akustische Elemente, wie Sprache und Musik, sowie visuelle, wie Bilder und Videopassagen (ebenda, S. 427). Bei Simulationsprogrammen, wie auch Yenka Physik, erfolgt die Informationsaufnahme in der Regel ausschließlich über den visuellen Sinneskanal, da die Interaktion mit den Simulationen nur auf dem Bildschirm erfolgt.

Mit Multicodierung wird die Präsentation von Inhalten mit der Nutzung von Multimedia beschrieben (ebenda, S. 632 f.). Inhalte auf verschiedene Weisen darzustellen ist aus dem Grund relevant, da die Informationsverarbeitung zumindest in der Anfangsphase codespezifisch ist. Lerninhalte können dabei in Form von Bildern oder Text kodiert werden. Da aber bei Simulationen nicht nur starre Bilder und Texte, sondern auch zusätzlich veränderbare und dynamische Animationen dargeboten werden, können Inhalte den Lernenden einfacher zugänglich gemacht werden.

Schließlich ist mit Interaktivität gemeint, dass neue Medien, im Kontrast zu den „älteren“ Medien (wie zum Beispiel Film, Fernsehen und Tonbandkassetten), einen hohen Grad an Interaktionsmöglichkeiten bietet (ebenda, S. 633). Der Computer kann in Bezug auf das interaktive Lernen konstruktivistische Lernumgebungen schaffen, bei denen Lernen zu einem aktiven und konstruktiven Prozess wird. Von einer echten Interaktivität kann allerdings erst gesprochen werden, wenn Lernende kreativ sein und Inhalte verändern bzw. neu erstellen können, das Programm dynamisch und adaptiv auf die Aktionen der Lernenden reagiert, Lernende selbst die Kontrolle über ihre Lernprozesse übernehmen können und sie vom Mediensystem bei Bedarf Hilfe oder Führung bekommen (ebenda).

Beim Umgang mit Multimedia ist auch die Rolle der Lehrperson zentral, um die multimediale Lernumgebung für Schülerinnen und Schüler gewinnbringend einzurichten. Demnach hat die Lehrperson die Aufgaben, angemessene Software auszuwählen, die Vernetzung mit anderen Lernaktivitäten zu planen und die Arbeit der Lernenden mit dem Programm zu überwachen (vgl. Kircher, Girwidz, Häußler 2009, S. 427). Ebenso kann die Arbeit am Computer genutzt werden, um Einblicke in die Denkweisen der Lernenden

zu bekommen, indem gezielte Beobachtungen vorgenommen werden. Zusätzlich sollten sie auch die Möglichkeit bekommen, ihre neuen Erkenntnisse zu reflektieren.

### **3. Yenka Physik**

In diesem Kapitel soll ein Überblick über den Simulationsbaukasten Yenka Physik gegeben werden. Dabei werden zunächst allgemeine Informationen zum Programm vorgestellt und anschließend folgen eine Vorstellung der Benutzeroberfläche sowie eine Beschreibung der grundlegenden Funktionen. Dabei wird auch darauf eingegangen, wie man die vorgefertigten Simulationen in Yenka Physik nutzt und wie man eigene Simulationen mit Hilfe der verschiedenen Objekte und Werkzeuge erstellt.

#### **3.1 Allgemeine Informationen**

Mit dem Simulationsbaukasten Yenka Physik können in einer virtuellen, zwei- bzw. dreidimensionalen Welt physikalische Experimente simuliert werden. Yenka Physik wurde von Crocodile Clips Ltd. entwickelt und kann über die Webseite des Entwicklers heruntergeladen werden.<sup>2</sup> Das Programm kennt dabei die ganze Physik, sodass der Benutzer keine physikalischen Gleichungen eingeben muss, sondern lediglich die gewünschte Situation herstellt und charakteristische Größen festlegt (vgl. Wilhelm & Zang 2011, S. 6). Der Vorgänger von Yenka Physik war das Programm Crocodile Physics, das damals weit verbreitet war. Crocodile Physics konzentrierte sich allerdings mehr auf den Bereich der Elektrizitätslehre und weniger auf die Bereiche Mechanik und Optik. Beim Erwerb von Yenka Physik bekommt man Zugriff auf vier verschiedene Produkte, die aber miteinander kompatibel sind und sich die gleiche Benutzeroberfläche teilen. Diese vier Produkte umfassen die Bereiche Bewegung, Wellen und Optik, Elektrizität und Magnetismus sowie Elektronik. Im Bereich Bewegung lassen sich verschiedene Experimente mit Kräften, Reibung, Projektilen, Schwingungen und Schwerkraft durchführen. Im Bereich Wellen und Optik kann man sich mit der Reflexion des Lichts an Spiegeln, mit der Brechung des Lichts an Linsen und mit Schallwellen bzw. elektromagnetischen Wellen beschäftigen. Beim Bereich Elektrizität und Magnetismus lassen sich elektrische Schaltungen mit Hilfe diverser Bauteile erstellen und es kann mit der Stromerzeugung und –übertragung experimentiert werden. Bei der Elektronik können

---

<sup>2</sup> Download unter: <http://www.yenka.com/de/Downloads/>

mit Hilfe von verschiedenen Komponenten analoge oder digitale Schaltungen entworfen werden.

Neben dem Bereich Physik bieten die Entwickler auch einen Simulationsbaukasten zur Chemie an, der unter dem Namen Yenka Chemie vertrieben wird. Yenka Chemie deckt dabei die Bereiche anorganische Chemie und Elektrochemie ab. Weitere Produkte sind Yenka Mathematics, Yenka Technology und Yenka Computing, die allerdings nur auf Englisch erhältlich sind.

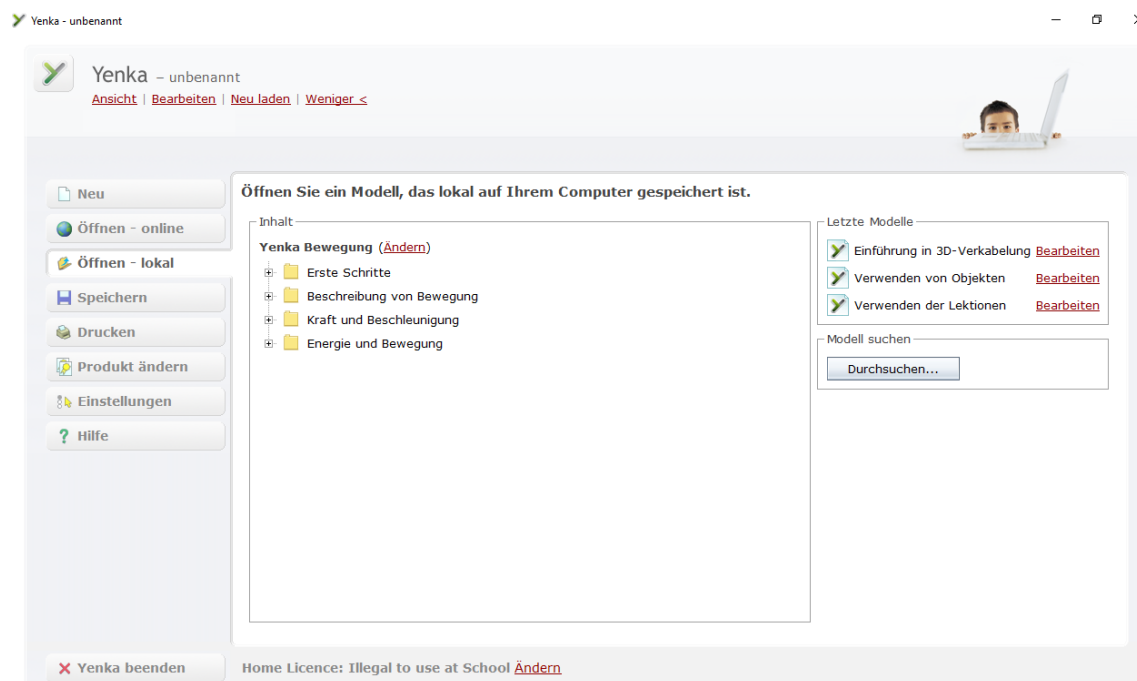
Für die Nutzung von Yenka Physik werden verschiedene Lizenzen angeboten.<sup>3</sup> Für den Gebrauch zu Hause wird eine kostenlose Heimlizenz angeboten, mit der man das Programm mit allen Funktionen am eigenen Computer nutzen kann. Allerdings kann man das Programm mit dieser Lizenz nicht von 8:30 Uhr bis 15 Uhr nutzen. Die einzigen Ausnahmen bilden Samstage und Sonntage, an denen man es den ganzen Tag lang nutzen kann. Für den schulischen Bereich wird eine kostenlose Probelizenz angeboten. Mit dieser Lizenz kann man das Programm kostenlos für 15 Tage in der Schule oder auch an einem anderen Ort nutzen. Für die dauerhafte Nutzung an Schulen muss dagegen eine Lehrerlizenz (diese wird auf den Webseiten auch als Klassenraumlizenz bezeichnet) oder eine Standortlizenz erworben werden. Mit der Lehrerlizenz darf eine Lehrperson das Produkt auf seinem Computer nutzen, während die Schülerinnen und Schüler es auch auf anderen Computern nutzen können. Die Nutzung darf aber nur mit Anwesenheit der Lehrperson geschehen und die Zahl der Schülerinnen und Schüler, die das Produkt zur selben Zeit nutzen können, ist auf 40 begrenzt. Mit der Standortlizenz können Schülerinnen und Schüler sowie Angestellte einer Schule ein Yenka-Produkt auf allen Computern nutzen, die unter der gleichen Postadresse registriert sind. Der Erwerb einer dieser beiden Lizenzen ist allerdings teuer. Möchte man eine Lehrerlizenz für Yenka Physik inklusive Elektronik erwerben, so belaufen sich die Kosten auf 310 € exklusive Mehrwertsteuer. Entscheidet man sich für die Standortlizenz, so steigt der Betrag auf 1030 € exklusive Mehrwertsteuer. Diese Preise können allerdings je nach Fachhändler variieren.

---

<sup>3</sup> Für genauere Informationen besuchen Sie bitte die Webseite unter der Adresse <http://www.yenka.com/de/Lizenzen/> oder <http://www.yenka.com/de/Preise/>.

## 3.2 Die Benutzeroberfläche

Sobald man Yenka Physik heruntergeladen, installiert und gestartet hat, wird man zunächst aufgefordert eine Lizenz anzugeben. Wählt man beispielsweise die kostenlose Heimlizenz unter Angabe der eigenen E-Mail-Adresse aus, so erscheint ein Fenster mit einer Übersicht über die verschiedenen Yenka-Produkte. Wählt man das gewünschte Produkt aus (beispielsweise Bewegung), erscheint der Startbildschirm von Yenka Physik (siehe Abbildung 1).



**Abb. 1:** Der Startbildschirm von Yenka Physik

Auf der linken Seite des Fensters sind die verschiedenen Menüpunkte zu finden, mit denen man sich im Programm zurechtfindet:



Mit einem Klick auf diesen Menüpunkt lässt sich eine neue Simulation erstellen. Es erscheinen eine weiße Fläche sowie ein kleines Fenster, aus dem man diverse Objekte oder Werkzeuge auswählen und Optionen für die Präsentationsoberfläche festlegen kann. Die weiße Fläche wird in Yenka Physik auch als Arbeitsblatt bezeichnet. Um wieder auf den Startbildschirm zurückzukehren, klickt man auf das große Yenka-Logo, das sich im linken oberen Fensterbereich befindet. Die Erstellung einer neuen Simulation unter Verwendung der verschiedenen Objekte und

Werkzeuge wird in Abschnitt 3.4 genauer beschrieben, während in Kapitel 4 einige selbst erstellte Simulationen vorgestellt werden.

#### **Öffnen - online**

Unter diesem Menüpunkt bekommt man Zugriff auf eine große Anzahl an vorgefertigten Simulationen, die online abrufbar sind. Allerdings sind diese nur auf Englisch verfügbar, sodass sie nur nach vorheriger Übersetzung für die Anwendung im Unterricht nützlich sein können. Diese bereits fertiggestellten Simulationen lassen sich in Bezug auf das Fach (Physik, Chemie etc.) und das Curriculum filtern, indem man jeweils auf die zugehörigen Schaltflächen klickt.

#### **Öffnen - lokal**

Klickt man auf diese Fläche, dann werden rechts neben den Menüpunkten verschiedene Ordner angezeigt. Klickt man auf einen dieser Ordner, so werden die einzelnen Simulationen angezeigt, die bereits durch die Installation von Yenka Physik auf dem eigenen Computer gespeichert sind (In Yenka Physik wird eine Simulation als Modell bezeichnet). Der erste Ordner trägt bei jedem Yenka-Produkt die Bezeichnung „Erste Schritte“. In diesem Ordner finden sich verschiedene Anleitungen, die die Verwendung der einzelnen Simulationen erklären. Je nachdem, welches Yenka-Produkt man auswählt, befinden sich dort weitere Ordner, die die jeweiligen Simulationen enthalten. Durch einen Klick auf die jeweilige Simulation kann diese gestartet werden. Es ist aber auch möglich, jede dieser Simulationen zu bearbeiten, indem man rechts neben dem Titel auf „Bearbeiten“ klickt.

#### **Speichern**

Durch einen Klick auf diesen Menüpunkt lassen sich selbst erstellte oder auch bearbeitete Simulationen in einem beliebigen Verzeichnis des Computers speichern.

#### **Drucken**

Über diesen Menüpunkt kann man die Simulation, die man ausgewählt hat oder gerade bearbeitet, ausdrucken. Dabei lassen sich verschiedene Seiteneinstellungen vornehmen.

#### **Produkt ändern**

Mit einem Klick auf diese Schaltfläche öffnet sich das kleine Fenster, in dem man die verschiedenen Yenka-Produkte (Bewegung, Licht und Schall, Elektrizität und Magnetismus, Elektronik) auswählen kann. Auf diese Weise



bekommt man Zugriff auf die verschiedenen Bereiche bzw. Simulationen des Programms.

#### **Einstellungen**

Hier lassen sich verschiedene Einstellungen vornehmen. Diese Einstellungen beinhalten zum Beispiel, ob das Programm im Vollbildmodus angezeigt werden soll oder welche Raumeinstellungen für die zurzeit geöffnete Simulation vorgenommen werden sollen.

#### **Hilfe**

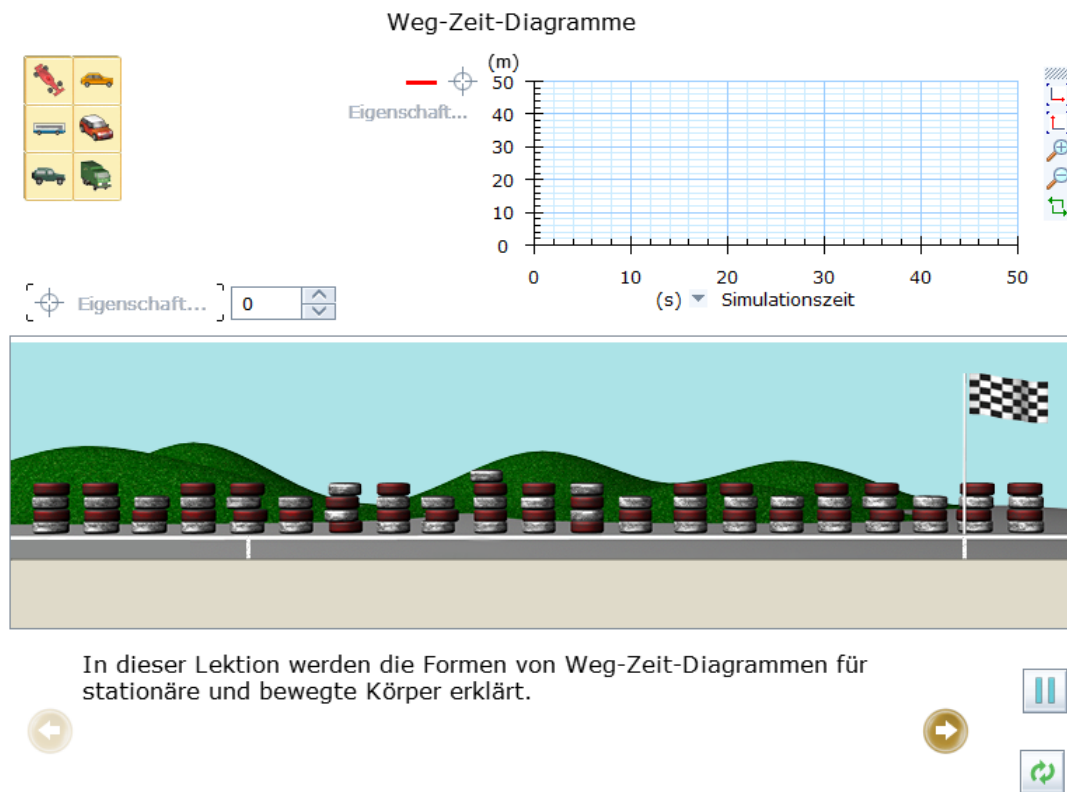
In der Hilfe findet sich eine Liste mit Stichpunkten. Bei einem Klick auf einen dieser Stichpunkte erscheint ein Hilfstext, der die grundlegende Anwendung von Yenka Physik Schritt für Schritt erklärt. Dies betrifft unter anderem die Benutzung und Erstellung neuer Simulationen oder das Erstellen von Ablaufdiagrammen innerhalb der Simulation.

Abseits dieser verschiedenen Menüpunkte findet sich auf der rechten Seite des Startbildschirms eine Liste mit den zuletzt verwendeten Simulationen bzw. Modellen. Direkt darunter kann man eine gespeicherte Simulation im Verzeichnis des Computers suchen, indem man auf *Durchsuchen* klickt.

### **3.3 Nutzung der vorgefertigten Simulationen**


Für jedes Yenka-Produkt bzw. für jeden Bereich finden sich in Yenka Physik vorgefertigte Simulationen, die der Anwender nur noch ausführen muss. Dabei kann man entweder die Simulationen nutzen, die lokal auf dem eigenen Computer gespeichert sind oder man wählt eine aus, die online zur Verfügung gestellt wurde. Um eine lokal gespeicherte Simulation zu öffnen, klickt man im Startbildschirm auf *Öffnen – lokal*, während man für die Online-Variante auf *Öffnen – online* klickt.


Als Beispiel-Simulation soll an dieser Stelle *Weg-Zeit-Diagramme* ausgewählt werden. Dazu wählt man das Yenka-Produkt *Bewegung* aus, klickt auf den Ordner *Beschreibung von Bewegung* und wählt *Weg-Zeit-Diagramme* aus. Danach öffnet sich die Simulation, welche in Abbildung 2 zu erkennen ist.





**Abb. 2:** Die Simulation *Weg-Zeit-Diagramme*

Alle vorgefertigten Simulationen sind so aufgebaut, dass sie ein kleines Textfeld enthalten, in welchem zunächst das Thema der Simulation bzw. Lektion beschrieben wird. Dieses Textfeld befindet sich dabei meistens weiter unten.

 Durch einen Klick auf den Pfeil nach rechts wird der nächste Text angezeigt, sodass dem Benutzer Schritt für Schritt Anweisungen oder Erklärungen gegeben werden können.

 Um wieder den vorherigen Text anzeigen zu lassen, klickt man auf den Pfeil nach links.

 Rechts neben dem Textfeld ist das Pause-Symbol zu erkennen. Hiermit kann eine Simulation angehalten und wieder gestartet werden. Durch einen Klick auf das  Symbol mit den beiden Pfeilen kann die gesamte Simulation neu gestartet werden.



Oben links sind sechs Quadrate bzw. Felder zu erkennen, die verschiedene Fahrzeuge (allgemeiner: Objekte) enthalten. Klickt man auf eines dieser Fahrzeuge und lässt dabei die linke Maustaste gedrückt, kann man diese auf die Rennstrecke oder auch an eine andere Stelle ziehen, indem man die Maustaste dort wieder loslässt (Drag-and-drop-Methode). Die Rennstrecke befindet sich direkt oberhalb des Textfelds.



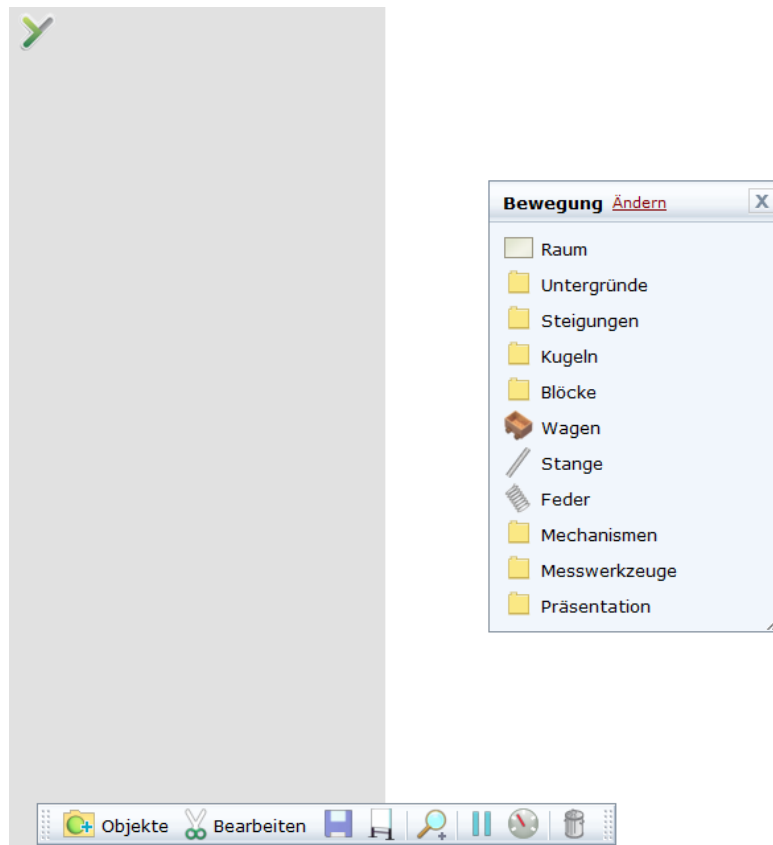
Rechts neben dem Koordinatensystem, das oben rechts zu erkennen ist, befinden sich einzelne Symbole, mit denen das Koordinatensystem angepasst werden kann. Mit einem Klick auf das obere Symbol kann die ganze x-Achse angezeigt werden, während beim Symbol darunter die ganze y-Achse angezeigt werden kann. Mit den beiden Lupen-Symbolen kann der sichtbare Bereich des Koordinatensystems vergrößert bzw. verkleinert werden. Mit dem unteren Symbol wird das Koordinatensystem neu gezeichnet. Bei einem Doppelklick auf das Koordinatensystem öffnet sich ein kleines Fenster. Dort lässt sich die Aufzeichnung eines Graphen pausieren bzw. wieder starten.

### 3.4 Erstellung einer neuen Simulation

Nun soll eine Übersicht über die einzelnen Funktionen gegeben werden, mit denen man eine eigene Simulation erstellen kann. Dazu wird dieser Abschnitt in drei weitere Abschnitte gegliedert. Der erste behandelt dabei das Yenka-Produkt *Bewegung*, der zweite *Elektrizität und Magnetismus* und der dritte *Licht und Schall*, da mit den verschiedenen Yenka-Produkten auch verschiedene Objekte und Werkzeuge zur Verfügung stehen. Diese lassen sich sogar auf der gleichen Arbeitsoberfläche nutzen.

#### 3.4.1 Bewegung

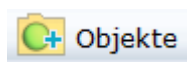
Um eine neue Simulation zu erstellen, wählt man das Yenka-Produkt *Bewegung* aus und klickt im Startbildschirm auf *Neu*. Es erscheinen ein weißer Hintergrund und ein kleines Fenster (Objektfenster). Unten links ist eine Symbolleiste zu erkennen (siehe Abbildung 3).



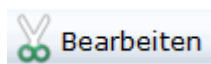
**Abb. 3:** Objektfenster (oben) und Symbolleiste (unten)

### Die Symbolleiste

Die untere Symbolleiste ist bei allen Yenka-Produkten sehr ähnlich gestaltet: Mit der Drag-and-drop-Methode kann die Symbolleiste am linken bzw. rechten Ende an einen beliebigen Ort verschoben werden. Die einzelnen Symbole dieser Leiste erfüllen dabei die folgenden Funktionen:



Ein Klick auf dieses Symbol zeigt bzw. versteckt das Objektfenster. Es enthält die zentralen Objekte und Werkzeuge



Hier wird eine Liste mit verschiedenen Optionen geöffnet. Wie man es auch von anderen Programmen gewohnt ist, können hier einzelne Schritte rückgängig gemacht bzw. wiederholt werden, Objekte kopiert und eingefügt werden oder Eigenschaften des zurzeit ausgewählten Objekts bearbeitet werden.



Mit dem Diskette-Symbol kann die aktuelle Simulation auf dem eigenen Computer gespeichert werden.



Ein Klick auf das Leinwand-Symbol schaltet den Vollbildmodus des Programms ein und aus.



Das Lupe-Symbol ermöglicht das Vergrößern oder Verkleinern der Arbeitsoberfläche.



Wie auch bei der herkömmlichen Nutzung von Simulationen, kann die Simulation mit dem Pause-Symbol angehalten und wieder gestartet werden.



Hiermit kann die Simulationsgeschwindigkeit reguliert werden. Standardmäßig ist diese auf 1 eingestellt. Sie kann bis auf den Faktor 0,1 verringert bzw. bis zum Faktor 10 erhöht werden.



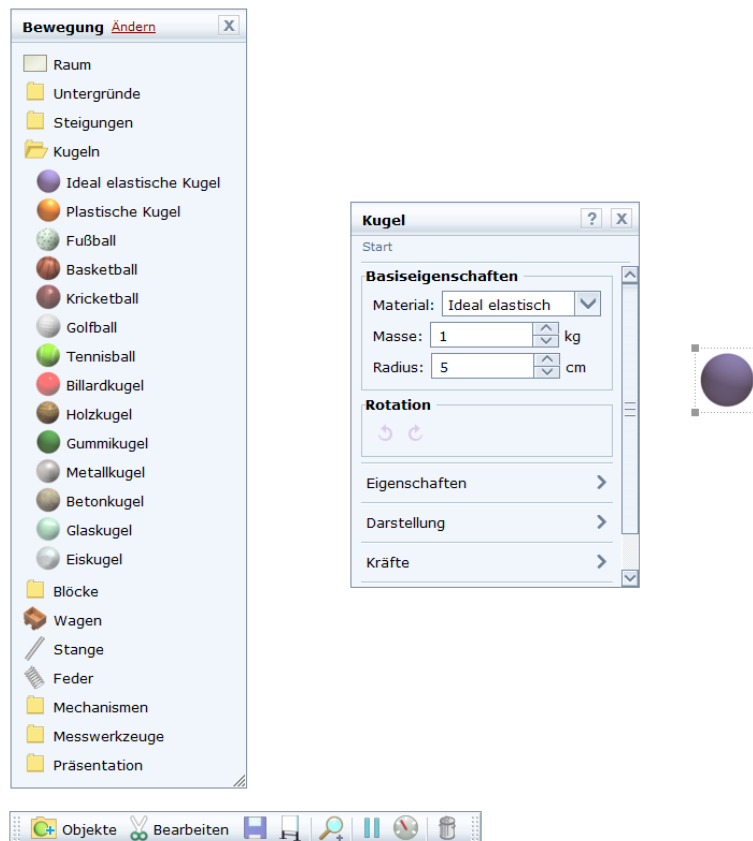
Mit diesem Symbol können alle ausgewählten Objekte auf der Arbeitsoberfläche gelöscht werden.

### **Objektfenster und Eigenschaften-Fenster**

Das Objektfenster enthält bei jedem Yenka-Produkt verschiedene Objekte und Werkzeuge. Ähnliche Objekte bzw. Werkzeuge werden dabei in einzelnen Ordnern zusammengefasst, wie zum Beispiel alle Kugel-Objekte. Die einzelnen Objekte lassen sich dabei immer mit der Drag-and-drop-Methode aus dem Objektfenster heraus auf die Arbeitsoberfläche ziehen. Nachdem diese auf der Arbeitsoberfläche platziert wurden, können sie in fast allen Fällen verschoben, gedreht sowie vergrößert und verkleinert werden. Ebenso kann man ein Eigenschaften-Fenster öffnen, in welchem man viele verschiedene Eigenschaften des Objekts festlegen kann, wie zum Beispiel das Material, die Masse, das Aussehen und vieles mehr. Um das Eigenschaften-Fenster eines Objekts zu öffnen, macht man entweder einen Doppelklick auf das Objekt oder man macht einen Rechtsklick und wählt *Eigenschaften* aus. In Abbildung 4 sind beispielhaft das Objektfenster und eine *ideal elastische Kugel* sowie das zugehörige Eigenschaften-Fenster zu erkennen.

Möchte man bestimmte Objekte aus *Elektrizität und Magnetismus* oder *Licht und Schall* in Yenka-Bewegung einfügen, so klickt man oben im Objektfenster auf *Ändern* und wählt

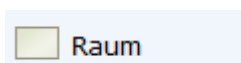
das gewünschte Yenka-Produkt aus. Damit wird ein anderes Objektfenster angezeigt, aus dem man die neuen Objekte herausziehen kann.



**Abb. 4:** Objektfenster (links) und Eigenschaften-Fenster (Mitte) einer Kugel

## Objekte und Werkzeuge in Yenka-Bewegung

Nachdem beschrieben wurde, wie man Objekte auf der Arbeitsoberfläche platzieren kann und wie deren Eigenschaften verändert werden können, folgt nun eine Übersicht über die wichtigsten Objekte und Werkzeuge. Da die Objekte sowie die Optionen in den jeweiligen Eigenschaften-Fenstern recht zahlreich sind, werden hier die wichtigsten davon erwähnt. Hierbei soll aufgezeigt werden, wie diese verändert und auch genutzt werden können, um eigene Simulationen zu erstellen.



**Raum**

Zieht man das *Raum*-Objekt auf die Arbeitsoberfläche, so erscheint ein großes, weißes Viereck. Die Größe und Position dieses Vierecks lässt sich beliebig verändern, indem man mit der Maus an den grauen Quadraten des Raums zieht. Über das Eigenschaften-Fenster bekommt man Zugriff auf verschiedene Eigenschaften dieses Raums: Über *Start* → *Bewegung* → *Material* kann aus einer Liste das Material der

Raumwände ausgewählt werden. Entscheidet man sich beispielsweise für *Holz*, dann werden sofort die zugehörigen Werte für die *Haftreibung*, *Gleitreibung* und *Elastizität* der Raumwand angezeigt. Die Werte lassen sich allerdings auch durch den Benutzer beliebig verändern. Unterhalb der *Wandeigenschaften* finden sich auch die *Mediumeigenschaften*, bei denen man ein bestimmtes Medium (zum Beispiel *Vakuum* oder *Luft*) auswählen kann. Zu jedem Medium wird auch seine *Dichte* angezeigt, für die man ebenfalls einen beliebigen Wert eintragen kann.

Innerhalb eines Raums lassen sich alle anderen Objekte platzieren. Platziert man zum Beispiel eine Kugel im Raum und beschleunigt diese, dann beeinflussen die vorher definierten Raumeigenschaften die Bewegung dieser Kugel.

Um das Aussehen des Raums zu ändern, kann man über *Start* → *Darstellung* eine bestimmte Hintergrundfarbe auswählen oder auch ein eigenes Bild in den Raum einfügen. Beim Einfügen eines eigenen Bilds muss allerdings darauf geachtet werden, dass man die Größe dieses Bildes nach dem Einfügen nicht mehr verändern kann. Auch wenn man die Größe des Raums verändert, behält das Bild stets seine Größe. Deshalb wird empfohlen, die Größe des Bildes zu verändern, bevor man es in den Raum einfügt.



#### Untergründe

In diesem Ordner findet man verschiedene *Untergründe*, die sich entweder auf die gesamte Arbeitsoberfläche oder in einen Raum ziehen lassen. Beim Platzieren eines Untergrunds kann nur seine Höhe variiert werden, aber nicht seine Länge. Seine Länge ist durch die Breite der Arbeitsoberfläche bzw. die Breite des Raums vorgegeben. Die auswählbaren Untergründe bzw. Materialien (Holz, Metall, Gummi etc.) unterscheiden sich hinsichtlich ihres Aussehens und ihrer Eigenschaften, welche über das Eigenschaften-Fenster verändert werden können. Unter *Basiseigenschaften* lässt sich das Material des Untergrunds verändern. Ebenso kann hier aus einer Liste ein *Planet* ausgewählt werden, der die *Schwerkraft* des Untergrunds festlegt. Andere Objekte (zum Beispiel eine Kugel), die sich über dem Untergrund befinden, erfahren je nach eingestelltem Planet bzw. je nach eingestellter Schwerkraft eine andere Beschleunigung. Wie auch beim *Raum*-Objekt, können über *Start* → *Eigenschaften* die Parameter für die Haftreibung, Gleitreibung und Elastizität des Untergrunds eingestellt werden. Über *Start* → *Darstellung* können auch die Beträge von Kraftvektoren an anderen Objekten (zum Beispiel an einer Kugel oder einem Wagen) angezeigt werden. Hier kann wahlweise der Kraftvektor für die Schwerkraft oder die Anpresskraft ein- oder ausgeschaltet werden.



### Steigungen

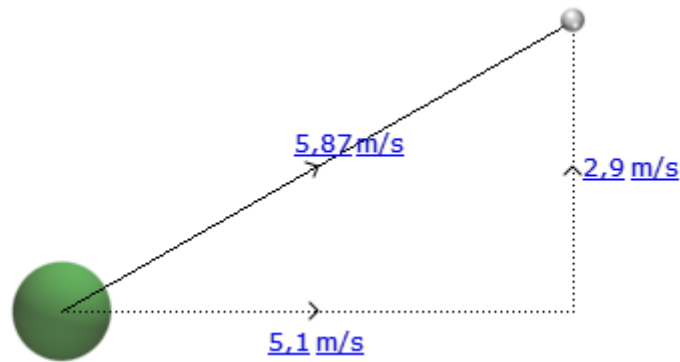
Hier findet man die gleichen Materialien, wie auch bei den *Untergründen*. Die Platzierung der *Steigungen* verläuft in ähnlicher Weise. Statt eines horizontalen Untergrunds kann nun eine schiefe Ebene platziert werden. Über die beiden grauen Quadrate, die sich am Anfang und Ende der schiefen Ebene befinden, kann die Steigung der Ebene variiert werden. Im *Eigenschaften-Fenster* kann die Steigung bzw. der *Steigungswinkel* auch mit einem konkreten Zahlenwert angegeben werden. Zusätzlich kann das *Material*, der *Planet* und die *Schwerkraft* definiert werden, was bereits durch die *Untergründe* bekannt ist. Auch bei Steigungen können die Zahlenwerte für die Haftreibung, Gleitreibung und Elastizität über *Start* → *Eigenschaften* verändert werden. Weiterhin kann über *Start* → *Darstellung* das Aussehen der Steigung verändert und der Steigungswinkel angezeigt oder versteckt werden. Ebenso lassen sich, wie bei den *Untergründen*, die Kraftvektoren für Schwerkraft und Anpresskraft ein- oder ausschalten. Steigungen eignen sich besonders, um die Hangabtriebskraft eines Körpers zu betrachten. Als Körper eignet sich wahlweise eine *Kugel*, ein *Block* oder ein *Wagen*, da hierbei die zugehörigen Kraftvektoren, wie die Gewichtskraft, Reibungskraft, Antriebskraft oder resultierende Kraft, angezeigt werden können.



### Kugeln

Durch den *Kugeln*-Ordner stehen viele Kugeln bzw. Bälle zur Auswahl, die in ihrer Größe verändert werden können. Die Besonderheit bei *Kugeln*, *Blöcken* und *Wagen* ist, dass sie immer einen *Griff* besitzen. Dieser Griff wird durch eine kleine, graue Kugel in der Mitte des Objekts angezeigt. Er ist allerdings nur sichtbar, wenn sich der Mauszeiger über dem Objekt befindet oder die Simulation angehalten wird. Zieht man mit der Maus am Griff, dann wird ein Dreieck angezeigt, dessen Hypotenuse den Geschwindigkeitsvektor des Objekts angibt. Die Katheten des Dreiecks bilden die x- und y-Komponenten dieses Vektors. Am Dreieck werden jeweils die Geschwindigkeiten angezeigt, die das Objekt zunächst haben würde, wenn man den Griff mit der Maus loslässt (siehe Abbildung 5). Nach Loslassen der Maustaste bewegt sich das Objekt mit eben dieser Anfangsgeschwindigkeit durch den Raum. Klickt man auf die blauen Beträge der Geschwindigkeiten, dann kann ein konkreter Zahlenwert eingegeben werden. Lässt man den Mauszeiger über dem Objekt, während es sich durch den Raum bewegt, so wird stets der momentane Geschwindigkeitsvektor angezeigt, wobei der Griff immer das Ende dieses Vektors markiert.





**Abb. 5:** Geschwindigkeitsvektor durch Ziehen am Griff einer Kugel

Über das Eigenschaften-Fenster kann unter *Start* → *Eigenschaften* eingestellt werden, dass das Ziehen am Griff nicht mehr die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel ändert, sondern die *Kraft*, die die Kugel erfährt. Zieht man nun am Griff, dann erfährt sie im Gegensatz zum vorherigen Fall stets diejenige Kraft, die durch das Ziehen am Griff eingestellt wurde. Der wichtige Unterschied zwischen diesen beiden Einstellungen liegt darin, dass der Kugel beim ersten Fall nur einmalig die Anfangsgeschwindigkeit gegeben wird, während die Kraft bei der anderen Einstellung zu jeder Zeit an der Kugel wirkt.

Im Eigenschaftenfenster können das *Material*, die *Masse* und der *Radius* der Kugel eingegeben werden. Über *Start* → *Eigenschaften* können, wie gewohnt, die *Haftreibung*, *Gleitreibung* und *Elastizität* der Kugel eingestellt werden und zusätzlich auch ein bestimmter *Luftwiderstandskoeffizient*. Schließlich können auch über *Start* → *Kräfte* viele verschiedene Kraftvektoren angezeigt werden, darunter die Gewichtskraft, Reibungskraft, Antriebskraft etc.



#### Blöcke

Im Ordner *Blöcke* können Blöcke aus unterschiedlichen Materialien ausgewählt werden. Diese besitzen ebenfalls einen *Griff* und bieten im Eigenschaften-Fenster fast dieselben Einstellungsmöglichkeiten, wie eine Kugel. Zusätzlich kann hier ein Block über die *Rotation*-Schaltflächen rotiert werden. Einfacher gelingt die Rotation, indem man mit der Maus am kleinen Kreis zieht, der sich direkt oberhalb des Blocks befindet. Über *Start* → *Eigenschaften* können seine Abmessungen für die Breite, Höhe und Tiefe eingegeben werden oder man verändert seine Größe durch Ziehen mit der Maus. Wie bei der Kugel, lassen sich bei einem Block die gleichen Kraftvektoren anzeigen, indem man diese über *Start* → *Kräfte* auswählt.



### Wagen

Der *Wagen* besteht aus einem Holzblock auf Rädern. Er besitzt auch einen *Griff* und bietet über das Eigenschaften-Fenster fast die gleichen Einstellungen, wie *Kugeln* und *Blöcke*. Da der *Wagen* auf Rädern fährt, fehlen hier die Einstellungsmöglichkeiten für die Haft- und Gleitreibung.



### Stange

Mit der *Stange* steht ein Objekt zur Verfügung, welches man mit anderen Objekten verbinden kann. Verbindet man es zum Beispiel mit einer *Kugel*, einem *Block* oder einem *Wagen*, indem man das gewünschte Objekt über ein Ende der Stange zieht, so entsteht ein Pendel. Ob dieses Pendel periodisch hin- und herschwingt oder aber in Kreisbewegungen um seinen Mittelpunkt rotiert, hängt von den gewählten Einstellungen des *Raums* und des *Untergrunds* ab. Die Länge der Stange kann entweder durch Ziehen mit der Maus oder über das Eigenschaften-Fenster verändert werden. Hierüber kann auch die *Spannung* als Kraftvektor angezeigt werden. Es ist beispielsweise auch möglich, zwei Kugeln mit einer Stange zu verbinden oder mehrere Stangen mit mehr als zwei Objekten zu verbinden.



### Feder

Eine *Feder* kann genutzt werden, um mit einer *Kugel*, einem *Block* oder einem *Wagen* ein Federpendel herzustellen. Ihre Länge kann durch Ziehen mit der Maus verändert werden. Über das Eigenschaften-Fenster können zusätzlich Zahlenwerte für ihre *Länge ohne Belastung*, die *Federkonstante* und die *Auslenkung* eingegeben werden. Wie bei der *Stange*, kann die *Spannung* der Feder als Kraftvektor angezeigt werden und es können mehrere Federn mit mehreren Objekten zu komplexeren Anordnungen verbunden werden.

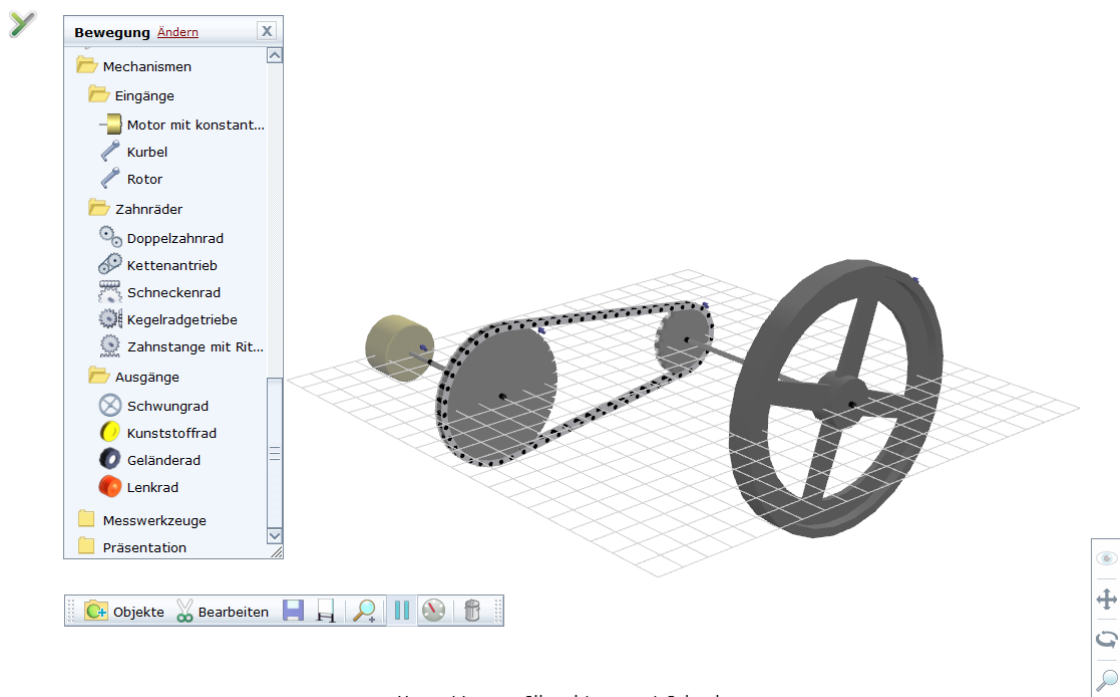


### Mechanismen

Der *Mechanismen*-Ordner enthält mehrere Unterordner, die *Eingänge*, *Zahnräder* und *Ausgänge* enthalten. Unter den Eingängen findet man einen *Motor mit konstanter Drehzahl*, eine *Kurbel* und einen *Rotor*, unter den Zahnrädern verschiedene Zahnradanordnungen und unter den Ausgängen ein *Schwungrad*, *Kunststoffrad*, *Geländerad* oder *Lenkrad*. Platziert man eines dieser Objekte auf der Arbeitsoberfläche, erscheint eine Ebene, die aus einem Gitternetz besteht. Das eben platzierte Objekt ist, im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Objekten, dreidimensional. Alle Objekte, die unter Mechanismen zu finden sind, bestehen nämlich aus dreidimensionalen Objekten. Neben anderen Einstellungen kann jedes dieser Objekte in

x-, y- und z-Richtung rotiert werden, indem man auf das entsprechende Symbol im Eigenschaften-Fenster klickt. Außerdem kann die gesamte Ebene verschoben oder gedreht sowie heran- oder herausgezoomt werden, indem man auf das entsprechende Symbol klickt, welches sich in der unteren rechten Ecke in einer Symbolleiste befindet.

In Abbildung 6 ist beispielhaft dargestellt, wie ein Motor das große Zahnrad einer Fahrradkette antreibt. Das kleinere Zahnrad wurde mit einem großen Schwungrad verbunden, das das Hinterrad eines Fahrrads symbolisieren soll. Bei den dreidimensionalen Objekten ist allerdings zu beachten, dass sie nicht in einem *Raum*-Objekt platziert werden können. Weiterhin können sie nicht mit den zweidimensionalen Objekten in irgendeiner Form interagieren, da die dreidimensionalen Objekte stets hinter den zweidimensionalen Objekten angezeigt werden.



Home Licence: Illegal to use at School

**Abb. 6:** Fahrradkette mit *Mechanismen*-Objekten

**Messwerkzeuge** Hier befinden sich ein *Lineal*, ein *Winkelmesser* und ein *Marker*. Ein Lineal besteht aus einer Strecke, die in ihrer Skalierung, Länge und Farbe verändert werden kann. Es eignet sich dazu, Längen von Objekten oder Kraftvektoren zu messen. Der Winkelmesser kann für Messungen von Winkeln genutzt werden, indem man einen bestimmten Winkel in sein Zahlenfeld eingibt. Schließlich dient ein Marker zur

Beschriftung von Objekten oder anderen Teilen der Simulation. Er besteht aus einem Doppelpfeil, dessen Länge, Farbe und Bezeichnung verändert werden kann.



#### Präsentation

Dieser Ordner enthält die wichtigsten Objekte, um einerseits eine selbst erstellte Simulation in sinnvoller Weise zu visualisieren und andererseits Benutzern Möglichkeiten zu geben, bestimmte Parameter innerhalb dieser Simulation zu verändern. Eines der wichtigsten Objekte ist das *Diagramm*. Standardmäßig zeigt seine x-Achse die Simulationszeit an. Dies lässt sich aber durch einen Klick auf den kleinen Pfeil ändern. An der y-Achse befindet sich ein Fadenkreuz, das durch Ziehen mit einem Objekt (zum Beispiel mit einer Kugel) verbunden werden kann. Nun klickt man auf *Eigenschaft*, um der y-Achse eine Größe zuzuordnen, wie zum Beispiel die Beschleunigung. Nun trägt das Diagramm die Beschleunigung der Kugel über die Zeit auf. Über das Eigenschaftsfenster lassen sich diverse Einstellungen vornehmen, darunter das Aufzeichnen von mehreren Graphen in einem einzigen Diagramm oder die Skalierung der x- bzw. y-Achse. Um Erklärungen, Anweisungen oder andere Texte hinzuzufügen, eignet sich das *Text-Feld* oder das *Anweisungen-Feld*. Während sich beim Text-Feld nur die Größe, der Inhalt und die farbliche Gestaltung verändern lassen, können beim Anweisungen-Feld mehrere Texte hintereinander angezeigt werden. Dazu klickt man beim Eigenschaftsfenster auf *Seite hinzufügen*. Wird die fertige Simulation gestartet, sind innerhalb des Anweisungsfelds Pfeile zu erkennen, mit denen ein Benutzer die Texte durchschalten kann.

Für den späteren Benutzer können auch *Fragen* eingefügt werden. Bei den *Multiple-Choice-Fragen* stehen verschiedene Antworttexte und Schaltflächen zum Anklicken zur Verfügung. Über das Eigenschaftsfenster kann eingestellt werden, dass mehrere Antwortmöglichkeiten zugelassen sind oder dass man ein bestimmtes Objekt als Antwort auswählen soll. Oder man entscheidet sich für *Zahlenantwort-Fragen*, bei denen eine Zahl als Antwort eingegeben werden soll.

Es können auch auf dem Computer gespeicherte Bilder oder Animationen eingefügt werden, indem man diese über das Eigenschaftsfenster des *Bild-Objekts* oder *Animation-Objekts* auswählt.

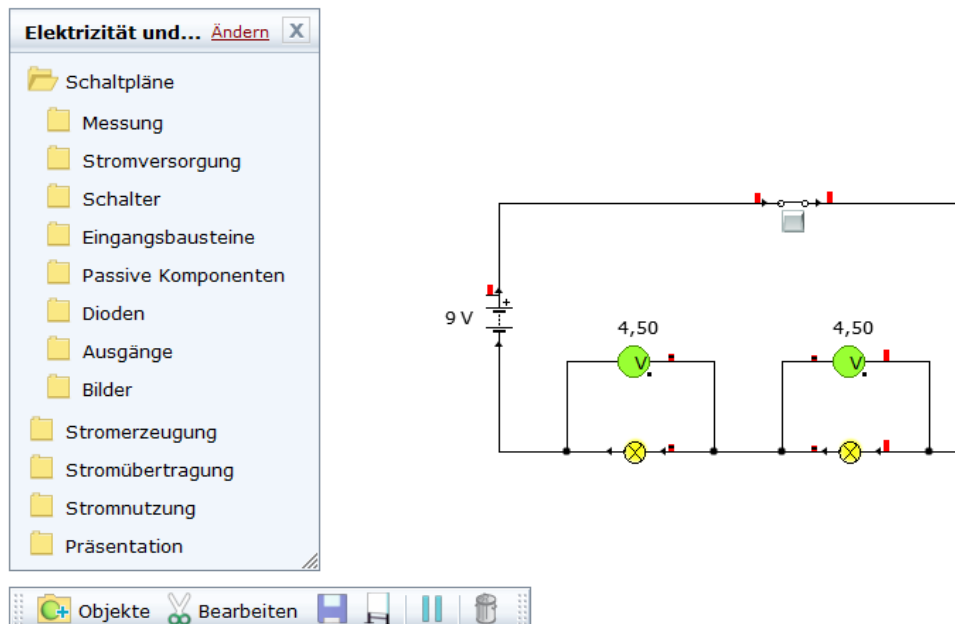
Durch zahlreiche Objekte, wie die *Zahl*, der *Schieber*, das *Auswahlfeld*, die *Dropdown-Liste* und das *Eingabefeld*, kann der Benutzer eine bestimmte Eigenschaft eines Objekts (beispielsweise wieder die Beschleunigung einer Kugel) auswählen und diese anschließend über das entsprechende Feld anzeigen lassen.

Schließlich kann der Benutzer auch über das *Pause*-Objekt und das *Neu laden*-Objekt Einfluss auf den Ablauf einer Simulation nehmen. Mit der *Ablage* können Objekte in kleine Platzhalter abgelegt werden.

Für jedes platzierbare Objekt stehen neben den bereits erwähnten Einstellungsmöglichkeiten noch weitere Optionen zur Verfügung, die man im Eigenschaften-Fenster unter *Erweitert* findet. Hier kann zum Beispiel mit *Fixieren* eingestellt werden, dass die Position oder Größe eines Objekts nicht mehr durch den Benutzer verändert werden kann. Dies ist für die Fälle wichtig, in denen Objekte nicht mehr durch einen anderen Nutzer verändert werden sollen.

### 3.4.2 Elektrizität und Magnetismus

In diesem Abschnitt sollen die zentralen Objekte vorgestellt werden, die im Yenka-Produkt *Elektrizität und Magnetismus* zur Verfügung stehen. Über das Objektfenster bekommt man Zugriff auf viele verschiedene Objekte, von denen der Großteil in Unterordnern zu finden ist (siehe Abbildung 7).



**Abb. 7:** Objektfenster und Beispiel-Schaltplan



### Schaltpläne

In diesem Ordner befinden sich die wichtigsten Objekte, um *Schaltpläne* zu erstellen.



### Messung

Im Unterordner *Messung* stehen das *Zahl*-Objekt und das *Diagramm*-Objekt zur Verfügung, die bereits durch Yenka-Bewegung bekannt sind. Das *Zahl*-Objekt kann genutzt werden, um zum Beispiel auf einfache Weise die Spannung einer angeschlossenen Spannungsquelle zu vergrößern oder zu verkleinern. Dagegen kann ein *Diagramm*-Objekt genutzt werden, um Graphen für die Veränderung von Spannungs- und Strombeträgen zeichnen zu lassen.

Mit dem *Amperemeter* bzw. *Voltmeter* kann die Stromstärke bzw. die Spannung gemessen werden, indem man das Amperemeter in Reihe und das Voltmeter parallel zu einem Widerstand schaltet. Platziert man eines dieser Messgeräte oder ein anderes Schaltelement auf der Arbeitsoberfläche, so sind kleine Kästchen an den Kabelenden (schwarze Linien) zu erkennen, wenn man den Mauszeiger über das Schaltelement platziert. Mit einem Klick auf eines dieser Kästchen kann ein Kabel zu einem anderen Schaltelement gezogen und mit diesem verbunden werden, indem man ein weiteres Mal auf das andere Kästchen klickt. Ein Schaltelement lässt sich wie gewohnt rotieren, indem man entweder auf das entsprechende Symbol im Eigenschaften-Fenster klickt oder mit dem Mauszeiger an dem kleinen Kreis über dem Schaltelement zieht.

Beim Anschließen eines Ampere- oder Voltmeters ist die Richtung der elektrischen Stromstärke zu beachten. In Yenka Physik geben kleine Pfeile (*Klemmen*), die sich vor und hinter Schaltelementen befinden, die Stromrichtung an (vgl. Abbildung 7). Diese zeigen vom positiven zum negativen Spannungspol und geben damit die technische Stromrichtung an. Zusätzlich sind dort häufig rote Balken zu erkennen, die bei kleineren Spannungswerten kürzer und bei größeren Spannungswerten länger sind. Blaue Balken bedeuten, dass die Spannung einen negativen Wert besitzt.

Das Ampere- bzw. Voltmeter besitzt einen kleinen schwarzen Punkt neben dem grünen Schaltsymbol, an dem man erkennen kann, ob es korrekt angeschlossen wurde. Zeigt dieser Punkt in die Richtung des positiven Spannungspols, dann wurde es korrekt angeschlossen. Alternativ erkennt man einen falschen Anschluss daran, dass negative Spannungs- bzw. Stromwerte angezeigt werden.



### Stromversorgung

Der Unterordner *Stromversorgung* enthält verschiedene Energiequellen. Die einfachste Spannungsquelle ist die *Batterie*. Über das Eigenschaften-Fenster kann ein bestimmter Batterietyp oder auch ein konkreter Spannungswert angegeben werden. Ebenso kann der Innenwiderstand der Batterie ein- und ausgeschaltet werden, welcher die Messwerte nur in geringem Maße beeinflusst. Viele Schaltelemente, wie auch die Batterie, besitzen unter *Start* → *Fehlersuche* die Möglichkeit, mit einer Crimpzange die Verbindung zwischen dem Schaltelement und dem Kabel zu kappen oder zu schließen. Klickt man im Fehlersuche-Fenster auf die entsprechenden Kästchen, so werden die kleinen Pfeile (*Klemmen*) vor und hinter dem Schaltelement durch *Pins* ersetzt, an denen man die Verbindung mit einem Mausklick trennen oder wieder herstellen kann. Diese Pins sind sehr nützlich, um Fehler in komplexeren Schaltungen zu finden.

Neben der Batterie kann auch eine *variable Spannungsversorgung* genutzt werden. Hier kann die Spannung über einen Schieber erhöht bzw. verringert werden. Über das Eigenschaften-Fenster kann der Maximalwert des Schiebers eingegeben werden, sodass kleinere und größere Spannungsbereiche möglich sind.

Daneben gibt es noch die *Spannungsschiene*, die *Null-Volt-Schiene*, die *Masse*, die *konstante Stromquelle* und den *Signalgenerator*. Beim Signalgenerator können unter anderem die Frequenz, die Spitzenspannung und die Wellenform (sinusförmig, Rechtecksignal, Dreiecksignal) eingestellt werden.



### Schalter

Hier sind verschiedenste Schalter zu finden. Der wichtigste und einfachste Schalter ist der *einpolige Einschalter*. Dieser kann, genau wie die anderen Schalter, über einen Mausklick auf das Kästchen geschlossen und wieder geöffnet werden. Neben dem Typ können im Eigenschaften-Fenster Höchstwerte für die Spannung bzw. Stromstärke eingegeben werden. Wird einer dieser Höchstwerte überschritten, dann geht der Schalter kaputt. Es erscheint eine Explosions-Animation und ein gelb-schwarzes Warnschild. Bewegt man den Mauszeiger über das Warnschild, erscheinen ein schwarzer Schraubenschlüssel sowie ein Text, der die Ursache des zerstörten Bauteils beschreibt. Klickt man auf den Schraubenschlüssel, dann wird es wieder repariert. Nicht nur Schalter, sondern auch Lampen oder andere Bauteile können infolge zu hoher Spannung bzw. Stromstärke zerstört werden. Für alle zerstörbaren Bauteile können zugelassene Höchstwerte eingegeben werden.

Während der *Schließer* bei einem Mausklick nur kurzzeitig die Verbindung schließt, öffnet der *Öffner* die Verbindung für kurze Zeit. Lässt man stattdessen die Maustaste gedrückt, wird die Verbindung für diese Zeit geschlossen bzw. geöffnet. Mit dem *einpoligen* und dem *zweipoligen Wechselschalter* können bis zu zwei bzw. vier verschiedene Stromkreise umgeschaltet werden. Mit dem *zweipoligen Einschalter* können mit einem Klick zwei verschiedene Schalter gleichzeitig geschlossen bzw. geöffnet werden. Außerdem stehen noch *Relais* mit *einpoligem* und *zweipoligem Wechselschalter* zur Verfügung.



### Eingangsbausteine

In diesem Unterordner finden sich eher speziellere Objekte, wie zum Beispiel der *Schwimmerschalter*. Mit dem Mauszeiger kann der Wasserstand in einem Gefäß verändert werden, sodass der Schalter geschlossen oder geöffnet wird. Ein einfacher, einpoliger Schalter ist allerdings sinnvoller, da dieser genau dieselbe Funktion erfüllt. Beim *Thermistor* kann an einem Thermometer die Temperatur verändert werden, wodurch sich der Widerstand verändert. Auf diese Weise lassen sich Versuche zur Temperaturabhängigkeit von Widerständen durchführen. Außerdem kann man *Fotowiderstände* mit und ohne Lampe auswählen. Ein *Fotowiderstand mit Lampe* besitzt eine verschiebbare Taschenlampe, durch die der Widerstand durch Beleuchten verringert werden kann. Daneben existieren noch der *Phototransistor*, das *Potentiometer* und der *Optoisolator*, die nur für sehr spezielle Schaltungen geeignet sind. Wichtiger sind der *variable Widerstand* und die *Sicherung*. Der variable Widerstand besitzt einen Schieber, mit dem der Widerstand verändert werden kann. Der Maximalwert kann dabei über das Eigenschaften-Fenster eingegeben werden. Bei der *Sicherung* kann der Nennwert für die maximale Stromstärke angegeben werden. Bei Überschreitung des Nennwerts wird diese zerstört.



### Passive Komponenten

Hier findet man die interessanteren Komponenten für den Unterricht. Man kann einen einzelnen *Widerstand* oder gleich 8 *Widerstände* platzieren. Die Werte für deren Widerstände lassen sich über das Eigenschaften-Fenster ändern. Bei der *Spule* lässt sich nur ihre Induktivität ändern, während man bei den *Kondensatoren* entscheiden kann, ob dieser ein Elektrolyt besitzt. Neben dem Typ kann auch die Kapazität verändert werden. Platziert man den *Kondensator* oder *Elektrolytkondensator* in einem Stromkreis, so werden mit roten Pluszeichen und blauen Minuszeichen die Ladungen an den Kondensatorplatten angezeigt. Schließlich findet sich in dieser Liste



auch ein *Transformator*, der vier Anschlüsse und zwei Spulen besitzt, deren Windungszahlen verändert werden können.



#### Dioden

Hier können zwei verschiedene Arten von Dioden gefunden werden, nämlich eine reguläre *Diode* und eine *Zener-Diode*.



#### Ausgänge

Zu den wichtigsten *Ausgängen* gehören zunächst die *Lampen*. Man kann sich zwischen der *Glühlampe*, der *Anzeigelampe* und der *Lichtemittierenden Lampe (LED)* entscheiden. Bei der Anzeigelampe lassen sich nur der Typ und der Höchstwert für die Spannung verändern. Die Glühlampe besitzt zusätzlich ein Feld für die Angabe der Leistung. Neben einem *Summer* und einem *Lautsprecher* findet man hier wieder *Relais* mit *einpoligem* und *zweipoligem Wechselschalter*. Auch der *Motor*, der *Generator* und die *Magnetspule* sind interessante Bauteile für Schaltungen.



#### Bilder

Im Bilder-Unterordner befinden sich dreidimensionale Bilder von ausgewählten Bauteilen, darunter die *Batterie*, der *einpolige Schalter* und die *Glühlampe*. Vorteilhaft ist, dass diese ohne Probleme mit den anderen Bauteilen bzw. Schaltsymbolen verbunden werden können. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass sich die Eigenschaften dieser dreidimensionalen Bauteile kaum verändern lassen. Beispielsweise kann beim Batterie-Schaltssymbol die Spannung variiert werden, während diese bei einer dreidimensionalen Batterie nicht veränderbar ist. Dies schränkt demnach die verschiedenen Experimentiermöglichkeiten ein.



#### Stromerzeugung

In den folgenden Ordnern (wie auch im Ordner *Stromerzeugung*) befinden sich dreidimensionale Objekte, die man, im Gegensatz zu den dreidimensionalen *Bildern*, aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten kann, indem man das entsprechende Symbol anklickt, das sich unten rechts in einer Symbolleiste befindet. Wie auch bei den dreidimensionalen Objekten aus Yenka-Bewegung, erscheint eine Ebene, auf der diese Objekte platziert werden können.



#### Messung

Im Unterordner *Messung* befinden sich die *Parameter-Anzeige* und das *Bezeichnung*-Objekt. Wenn die Parameter-Anzeige auf ein Objekt gezogen wird, kann über das Eigenschaften-Fenster eine bestimmte Eigenschaft dieses Objekts permanent innerhalb eines Textfelds angezeigt werden (zum Beispiel die momentane

Winkelgeschwindigkeit eines einfachen Generators). Hingegen kann eine Bezeichnung über ein Objekt gezogen werden, um es zu benennen.



#### **Felder**

Der Unterordner *Felder* enthält eine *konstante Stromquelle* sowie ein *Stabmagnetfeld* und ein *elektromagnetisches Spulenfeld*. Die konstante Stromquelle besitzt einen schwarzen und einen gelben Anschluss, die zum Beispiel mit einem *Stromnutzung*-Objekt verbunden werden können. Durch das Drehen am schwarzen Drehschalter kann die Stromstärke vergrößert oder verringert werden. Das Stabmagnetfeld ist ein Objekt, bei dem ein Stabmagnet mit seinen Magnetfeldlinien angezeigt wird. Allerdings ist der Südpol des Stabmagnets blau gefärbt und nicht grün, was bei Schülerinnen und Schülern zu Verwunderungen führen könnte. Das elektromagnetische Spulenfeld ist eine Spule, die an ihren beiden Enden zwei gelbe Anschlüsse besitzt. Ihre Windungszahl und ihr Radius lassen sich über das Eigenschaften-Fenster verändern.



#### **Induktion**

Im Unterordner *Induktion* sind Objekte, mit denen Experimente zur elektromagnetischen Induktion möglich sind. Dazu eignen sich insbesondere die *Induktion im bewegten Leiter*, *Induktion einer festen Schaltung* und der *einfache Generator*. Bei diesen drei Objekten kann ein Leiter oder ein Stabmagnet durch Ziehen mit dem Mauszeiger bewegt werden, um eine Spannung zu induzieren. Über das Eigenschaften-Fenster kann auch beispielsweise die Richtung des Magnetfelds umgekehrt werden. Weiterhin stehen noch *Flemings Hand*, ein *Rotor* und eine *Glühlampe* zur Verfügung. Ersteres und letzteres Objekt eignen sich insbesondere zur Visualisierung des Induktionsvorgangs.




#### **Elektrizitätswerke**


Hier bekommt man Zugang zu einer *Wechselstromversorgung*, einem *Windkrafttrad* sowie verschiedensten *Kraftwerken*. Diese Objekte haben gemeinsam, dass sie jeweils einen schwarzen und gelben Anschluss besitzen, um diese mit „Verbrauchern“ zu verbinden. Über das Eigenschaften-Fenster können unterschiedliche Einstellungen vorgenommen werden, darunter die Angabe der Effektivspannung oder der Leistungskapazität eines Kraftwerks.



#### **Stromübertragung**

Die Objekte in diesem Ordner können genutzt werden, um Objekte aus der *Stromerzeugung* mit denen aus der *Stromnutzung* zu verbinden.

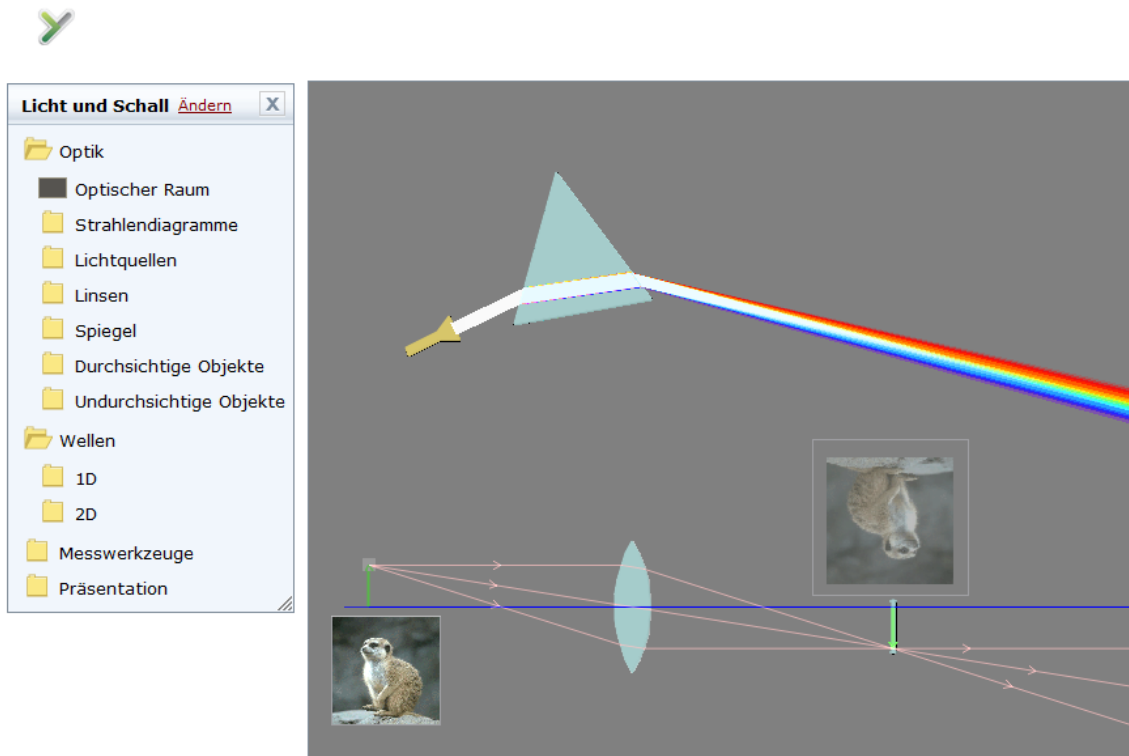
 **Stromnutzung** Hier finden sich typische Nutzer, die auf die Stromerzeugung angewiesen sind, wie zum Beispiel ein *Haus* oder ein *Leicht- bzw. Schwermetallwerk*. Über *Stromnutzung – Import* kann eine dreidimensionale Grafik aus einer eigenen Datei eingefügt werden.

 **Präsentation** Im *Präsentation*-Ordner stehen die gleichen Objekte zur Verfügung, wie in Yenka-Bewegung (siehe Abschnitt 3.4.1). Einzige Ausnahme bildet das *3D-Import*-Objekt, mit dem ebenfalls eine dreidimensionale Grafik aus einer eigenen Datei eingefügt werden kann.

### 3.4.3 Licht und Schall

Das Yenka-Produkt *Licht und Schall* ermöglicht Experimente in Bezug auf die Strahlenoptik und die Wellenoptik. Bei der Strahlenoptik stehen die Reflexion und die Brechung an Grenzflächen im Vordergrund. Diese Phänomene können durch strahlenoptische Konstruktionen mit Hilfe von Spiegeln, Linsen und Plexiglaskörpern visualisiert werden. Für die Wellenoptik können zum Beispiel mit Wasserwellen Versuche zur Beugung und Interferenz sowie zum Einfach- und Doppelspalt durchgeführt werden. Außerdem sind Versuche zu Schallwellen und auch zu eindimensionalen Schwingungen und Wellen möglich.

In Abbildung 8 sind das Objektfenster von *Licht und Schall* sowie beispielhaft die Dispersion an einem Prisma (oben) und die strahlenoptische Bildentstehung an einer Sammellinse (unten) zu erkennen.



**Abb. 8:** Objektfenster, Dispersion am Prisma und Bildentstehung an einer Sammellinse

**Optik** Im *Optik*-Ordner sind diverse Objekte enthalten, mit denen strahlenoptische Konstruktionen möglich sind.

**Optischer Raum** Ein *optischer Raum* kann in der gleichen Weise auf der Arbeitsoberfläche platziert werden, wie das *Raum*-Objekt aus *Yenka-Bewegung*. *Optik*-Objekte können entweder auf der Arbeitsoberfläche oder in einem optischen Raum platziert werden. Allerdings erfüllen sie ihre jeweiligen Funktionen nur innerhalb des optischen Raums, sodass eine Platzierung auf der Arbeitsoberfläche nicht sinnvoll ist. Über das Eigenschaften-Fenster (*Start* → *Darstellung*) kann ein optischer Raum in seiner Größe oder in seiner farblichen Gestaltung verändert werden. Standardmäßig ist der Hintergrund des Raums schwarz gefärbt. Neben der Hintergrundfarbe kann auch eine eigene Bild-Datei als Hintergrund gewählt werden. Hierbei ist wieder zu beachten, dass das Bild bereits die richtigen Abmessungen besitzen sollte, bevor es eingefügt wird.

## Strahlendiagramme

Hier befinden sich die wichtigsten Objekte, um Bildkonstruktionen mit Hilfe von Spiegeln und Linsen zu erstellen.

Für diese Bildkonstruktionen eignet sich der *Marker für nahes Objekt*. Dieser besteht aus einem grünen Pfeil, dessen Länge die Gegenstandsgröße eines Gegenstands angibt. Dieser steht senkrecht auf der blauen optischen Achse. Daneben wird eine Abbildung angezeigt (zum Beispiel ein Tier), die verschoben werden kann und den betrachteten Gegenstand repräsentiert. Über das Eigenschaften-Fenster lässt sich eine vorgegebene Abbildung aus einer Liste auswählen oder eine eigene Bild-Datei einfügen. Ebenso kann hier die optische Achse in eine beliebige Richtung rotiert werden. Über *Start → Darstellung* kann unter anderem eingestellt werden, ob die optische Achse nach links oder rechts zeigen und ob die Abbildung überhaupt angezeigt werden soll. Über *Start → Strahleinstellungen* können jeweils für das *Auge*, die *Spiegel*-Objekte und *Linsen*-Objekte diverse Einstellungen vorgenommen werden. Dazu zählt die Festlegung der Anzahl der angezeigten Hauptstrahlen oder die Bestimmung der Größe einer Blende, die die Lichtstrahlen näher aneinander führt.

Wird ein Spiegel, eine Linse oder das Auge auf der optischen Achse platziert, so erscheinen automatisch die eingestellten Hauptstrahlen sowie ein zweiter grüner Pfeil, der das entstandene Bild angibt. Um zu visualisieren, wie die Schärfe, Größe oder Orientierung des entstandenen Bilds aussieht, kann entweder ein *Schirm* oder ein *Auge* dort platziert werden, wo sich das Bild aus den sich schneidenden Hauptstrahlen ergibt. Neben dem Schirm oder dem Auge befindet sich wieder die gleiche Abbildung, die zum Beispiel die gleiche Größe besitzt, wie die originale Abbildung, aber auf dem Kopf steht (vgl. Abbildung 8).

Für die Betrachtung von optischen Geräten, wie zum Beispiel dem Mikroskop oder dem terrestrischen bzw. astronomischen Fernrohr, eignet sich der *Marker für fernes Objekt*. Dieser kann nur an den Wänden des optischen Raums platziert werden. Daneben erscheint wieder eine Abbildung, die den betrachteten Gegenstand repräsentiert (zum Beispiel den Mond). Platziert man eine Linse oder einen Spiegel auf der optischen Achse dieses Markers, werden nur zueinander parallele Lichtstrahlen angezeigt, die aus der Wand des optischen Raums kommen. Die Einfallsrichtung dieser parallelen Strahlen lässt sich durch Ziehen an einem kleinen Kästchen ändern, welches sich an der grünen Pfeilspitze befindet. Über das Eigenschaften-Fenster kann unter anderem die Anzahl der parallelen Strahlen eingestellt werden.



### Lichtquellen

Im Lichtquellen-Ordner findet man einen *divergierenden Strahl*, einen *parallelen Strahl* und eine *Strahlenquelle*. Bei allen drei Objekten kann die Farbe der Strahlen über das Eigenschaften-Fenster variiert werden. Ebenso können alle drei im Raum rotiert werden. Beim divergierenden Strahl kann zusätzlich der Streuwinkel, beim parallelen Strahl der Radius des Strahlenbündels und bei der Strahlenquelle die Anzahl sowie der Abstand der parallelen Strahlen eingestellt werden. Diese Lichtquellen können einfach in Kombination mit Linsen, Spiegeln, Glaskörpern oder undurchsichtigen Objekten genutzt werden.



### Linsen

Hier stehen *konvexe* und *konkave Linsen* zur Verfügung. Über das Eigenschaften-Fenster kann die Linse rotiert werden oder die Brennweite angegeben werden. Je höher die Brennweite gewählt wird, desto dünner fällt die Linse aus.



### Spiegel

Dieser Ordner enthält einen *ebenen Spiegel*, *konkaven Spiegel* (Hohlspiegel), *Wölbspiegel* und *Parabolspiegel*. Alle vier Spiegel können rotiert werden. Am ebenen Spiegel kann das Lot (*Senkrechte*) angezeigt werden, während sich die Brennweiten bei den drei anderen Spiegeln über das Eigenschaften-Fenster ändern lassen.



### Durchsichtige Objekte

Hier befinden sich ein *Prisma*, ein *durchsichtiger Block* und ein *halbkreisförmiger Block*. Alle drei Körper können in ihrer Größe verändert und rotiert werden. Im Eigenschaften-Fenster kann entweder das Material oder ein beliebiger Brechungsindex angegeben werden. Schickt man ein weißes Lichtbündel durch das Prisma aus Flintglas, so lässt sich auf einfache Weise die Dispersion beobachten. Der halbkreisförmige Block eignet sich insbesondere zur Untersuchung des Brechungsgesetzes.



### Undurchsichtige Objekte

Dieser Ordner enthält einen *verstellbaren Spalt*, eine *undurchsichtige Kugel*, einen *undurchsichtigen Block* und ein *undurchsichtiges Dreieck*. Sie können in ihrer Farbe und Größe verändert werden und eignen sich gut für Schatten-Experimente mit Hilfe unterschiedlicher Lichtquellen.



### Wellen

Der *Wellen*-Ordner gliedert sich in die Ordner *1D* und *2D*. Ersterer visualisiert den Verlauf von eindimensionalen und letzterer von zweidimensionalen Wellen.



### 1D

Hier findet man verschiedene *Wellenräume*, in denen, im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Räumen, keine anderen Objekte platziert werden können. Diese demonstrieren unter anderem, wie Wellen sich eindimensional ausbreiten, wie sie Körper durchdringen oder wie sie miteinander interferieren. Bei jedem Wellenraum können über das Eigenschaften-Fenster der Typ, die Frequenz, die Wellenlänge, die Amplitude und die Wellenform variiert werden.



### 2D

In diesem Ordner befinden sich ein *elektromagnetischer Wellenraum*, ein *Schallwellenraum* sowie ein *Wasserwellenraum*. In diesen Räumen können die Objekte aus den Unterordnern platziert werden. Dazu gehören die Unterordner *Quellen* (*Punktquelle*, *lineare Quelle*, *bewegte Punktquelle*), *Reflektoren* (*ebener Reflektor*), *Hindernisse* (*Block*, *abgeschrägter Block*, *Dreieck*, *Kreis*), *Spalte* (*Einfachspalt* und *Doppelspalt*) sowie der Unterordner *Messung* mit einem *Detektor*. Hiermit können vielfältige Experimente in Bezug auf die Beugung und Interferenz von Wellen durchgeführt werden, die eher in den Bereich der Oberstufenphysik gehören.



### Messwerkzeuge

Dieser Ordner enthält ein *Lineal*, einen *Winkelmesser* und einen *Marker*, die auch in *Yenka Bewegung* verfügbar sind. Das Lineal ist nützlich, um beispielsweise verschiedene Gegenstands- bzw. Bildweiten in der Strahlenoptik auszumessen. Dagegen eignet sich der Winkelmesser zur Messung von Einfalls-, Reflexions- oder Brechungswinkeln.



### Präsentation

Hier findet man dieselben Präsentationsobjekte, wie bei *Bewegung* und *Elektrizität und Magnetismus*. Eine Übersicht findet sich in Abschnitt 3.4.

## 4. Beispiel-Simulationen

In diesem Kapitel werden selbst erstellte Simulationen vorgestellt, die mit dem Simulationsbaukasten Yenka Physik erstellt wurden. Diese werden in den folgenden Abschnitten nach den Bereichen Mechanik, Elektrizitätslehre und Optik gegliedert. Diese Gliederung entspricht dabei auch zum Großteil der Sortierung der verschiedenen Yenka-Produkte *Bewegung*, *Elektrizität und Magnetismus* sowie *Licht und Schall*.

In Bezug auf die Erstellung der Beispiel-Simulationen richte ich mich nach den Unterrichtsinhalten, die im hessischen Lehrplan für die Haupt- bzw. Realschule zu finden sind.<sup>4</sup> Wenn es nicht anderweitig beschrieben wird, beginnt jedes Beispiel mit einer kurzen Einordnung in den entsprechenden Lehrplan.

Anschließend wird die Erstellung der Simulation erläutert. Dabei werden die entsprechenden Objekte und Schritte genannt, die für die Erstellung notwendig sind. Anschließend wird beschrieben, welches konkrete Ziel mit der Simulation verfolgt wird und inwiefern sie für die Anwendung durch Schülerinnen und Schüler geeignet ist.

Wenn Schülerinnen und Schüler die entsprechenden Simulationen nutzen oder sogar selbst erstellen sollen, ist eine Einführung in die Benutzung von Yenka Physik obligatorisch, damit sie auch die entsprechenden Objekte und Werkzeuge sinnvoll nutzen können. Es empfiehlt sich auch die Erstellung von zusätzlichem Arbeitsmaterial, wie etwa Arbeitsblätter, die die Lernenden nutzen können, um einerseits spezifische Arbeitsaufträge, Anleitungen und Erläuterungen zu den jeweiligen Simulationen zu erhalten und andererseits ihre Beobachtungen und Ergebnisse während der Nutzung zu dokumentieren.

Alle hier beschriebenen Beispiel-Simulationen sind im Anhang auf einem Datenträger verfügbar, welcher dieser Arbeit beigelegt wurde. Zur Nutzung wird das Programm Yenka Physik benötigt.

---

<sup>4</sup> Hessisches Kultusministerium: *Lehrplan Physik – Bildungsgang Realschule. Jahrgangsstufen 5 bis 10*.  
URL: <https://kultusministerium.hessen.de/schule/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/lehrplaene/realschule>

Hessisches Kultusministerium: *Lehrplan Physik – Bildungsgang Hauptschule. Jahrgangsstufen 5 bis 10*.  
URL: <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/HKM/lphauptphysik.pdf>



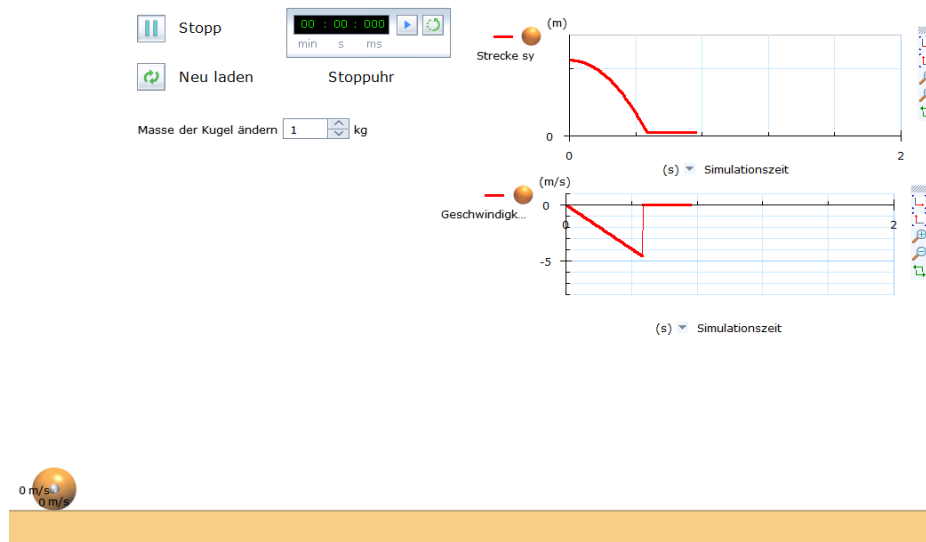
## 4.1 Mechanik

Gerade für die Mechanik bietet Yenka *Bewegung* viele Möglichkeiten zur Veranschaulichung der verschiedenen Unterrichtsinhalte, wie zum Beispiel mit Hilfe von Diagrammen, die ohne Computerunterstützung in dieser Form nicht möglich wären. In den folgenden Abschnitten werden Beispielsimulationen von zentralen Themen der Mechanik vorgestellt, die mit Hilfe von Yenka Physik erstellt wurden.

### 4.1.1 Freier Fall und waagerechter Wurf

Der freie Fall ist Bestandteil des Mechanikunterrichts in der 10. Klassenstufe der Realschule. Dabei werden insbesondere das Ort-Zeit-Gesetz  $s(t) = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$  sowie das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz  $v(t) = g \cdot t$  thematisiert. Besonders die Betrachtung von Weg-Zeit-Diagrammen und Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen helfen beim Verständnis dieser Gesetze.

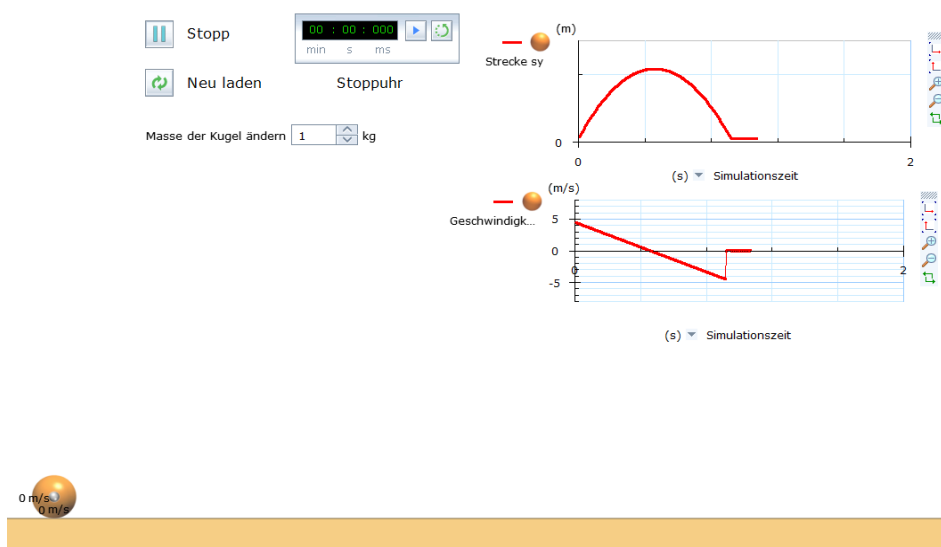
Mit Yenka Physik kann eine Simulation erstellt werden, in der die Fallbewegung eines Objekts grafisch erfasst wird. Dazu platziert man einen *Raum* (Medium: Vakuum) mit einem *plastischen Untergrund* und einer beliebigen *Kugel*, damit die Kugel nach dem Aufkommen auf den Boden nicht mehr hüpft. Danach platziert man zwei *Diagramme*, die den Weg über die Zeit und die Geschwindigkeit über die Zeit auftragen. Dazu verbindet man das Fadenkreuz des Diagramms mit der Kugel und wählt als Eigenschaft *Strecke sy* bzw. *Geschwindigkeit (y)*. Schließlich muss nur noch die Skalierung der Diagramme über das Eigenschaften-Fenster so angepasst werden, dass die sich ergebenden Graphen gut zu erkennen sind. Zum Anhalten und Wiedergeben werden die Objekte *Pause* und *neu laden* eingefügt sowie eine *Stoppuhr*, um die Zeit zu messen. Der Aufbau ist in Abbildung 9 zu sehen.



**Abb. 9:** Graphischer Verlauf nach dem freien Fall

Über einen solchen Aufbau können Schülerinnen und Schüler die Fallhöhe sowie die Masse der Kugel ändern. Zur Änderung der Masse wurde ein *Zahl*-Objekt eingefügt. Damit können sie erkennen, dass Körper im Vakuum unabhängig von ihrer Masse stets die gleiche Beschleunigung erfahren und der Verlauf des Weg-Zeit-Diagramms sowie des Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms gleich bleibt. Hierbei können sie den bogenförmigen bzw. geraden Verlauf der Graphen beobachten.

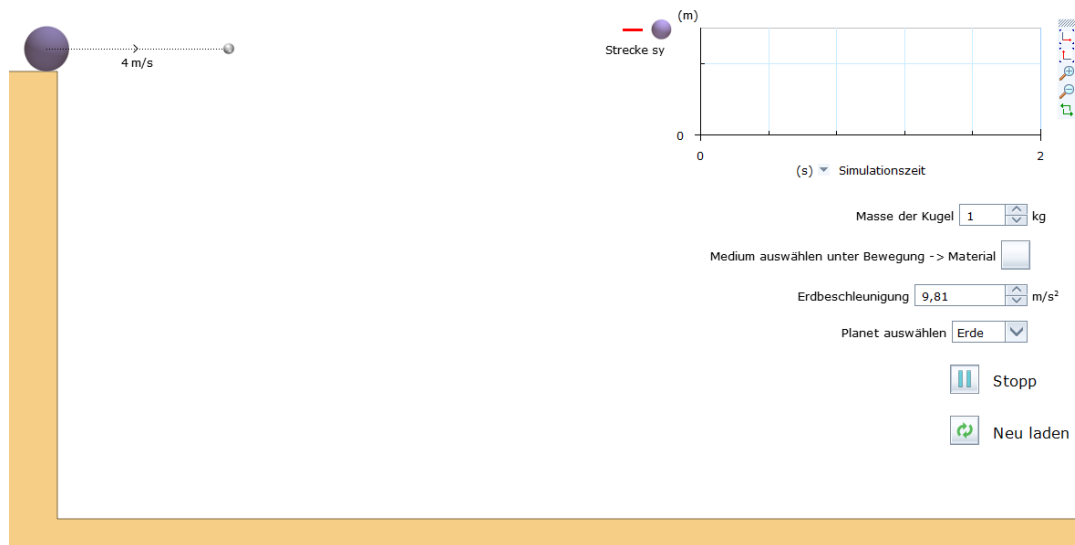
Durch kleine Änderungen kann diese Simulation zur Demonstration des senkrechten Wurfs nach oben genutzt werden. Mit dem Griff gibt man der Kugel eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit nach oben und passt noch den Wertebereich der Diagramme an. Nach dem Start der Simulation wird dann der typische Verlauf beim senkrechten Wurf erkennbar (siehe Abbildung 10).



**Abb. 10:** Graphischer Verlauf nach dem senkrechten Wurf nach oben

Die Bewegung beim waagerechten Wurf steht zwar nicht explizit im Lehrplan der Haupt- bzw. Realschule, jedoch bietet diese eine weitere Perspektive, um eine andere Art von Fallbewegung im Physikunterricht zu betrachten.

Damit Schülerinnen und Schüler mit dem waagerechten Wurf in Yenka Physik experimentieren können, platziert man in einem *Raum* (Medium: Vakuum) eine *plastische Steigung* und eine beliebige *Kugel*. Die Steigung ändert man so ab, dass die Kugel von einer Kante hinunter rollen kann (siehe Abbildung 11).



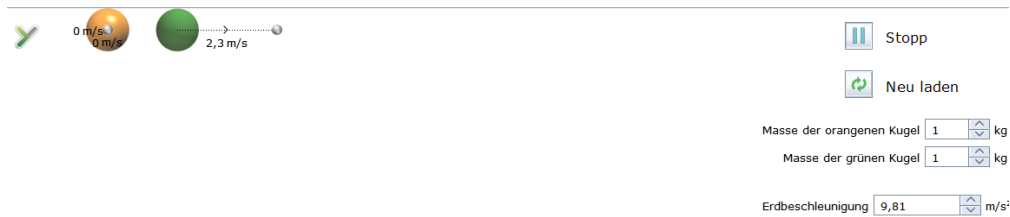
**Abb. 11:** Waagerechter Wurf einer Kugel

Danach erstellt man ein *Diagramm*, wählt als Eigenschaft *Strecke sy* und passt den Wertebereich des Diagramms an. Man gibt der Kugel bei pausierter Simulation mit dem *Griff* eine Anfangsgeschwindigkeit und verringert die Simulationsgeschwindigkeit.

Im Unterricht kann über ein *Zahl*-Objekt die Masse der Kugel variiert werden und durch einen Klick auf eine *Aktionsschaltfläche* kann ein anderes Medium des Raums ausgewählt werden. Außerdem können die Erdbeschleunigung verändert und ein bestimmter Planet ausgewählt werden. Auf diese Weise können Schülerinnen und Schüler die unterschiedlichsten Wurfparabeln durch das Diagramm aufzeichnen lassen.

Um dabei das Unabhängigkeitsprinzip zu verdeutlichen, können einfach zwei Kugeln platziert werden. Die eine befindet sich im freien Fall und die andere wird „waagrecht geworfen“ (siehe Abbildung 12). Hiermit kann visualisiert werden, dass beide Körper gleichzeitig am Boden ankommen – unabhängig davon, ob sie mehrere Bewegungen in

verschiedene Richtungen ausführen. Zusätzlich kann die Masse jeder Kugel sowie die Erdbeschleunigung über *Zahl*-Objekte variiert werden.



**Abb. 12:** Unabhängigkeitsprinzip

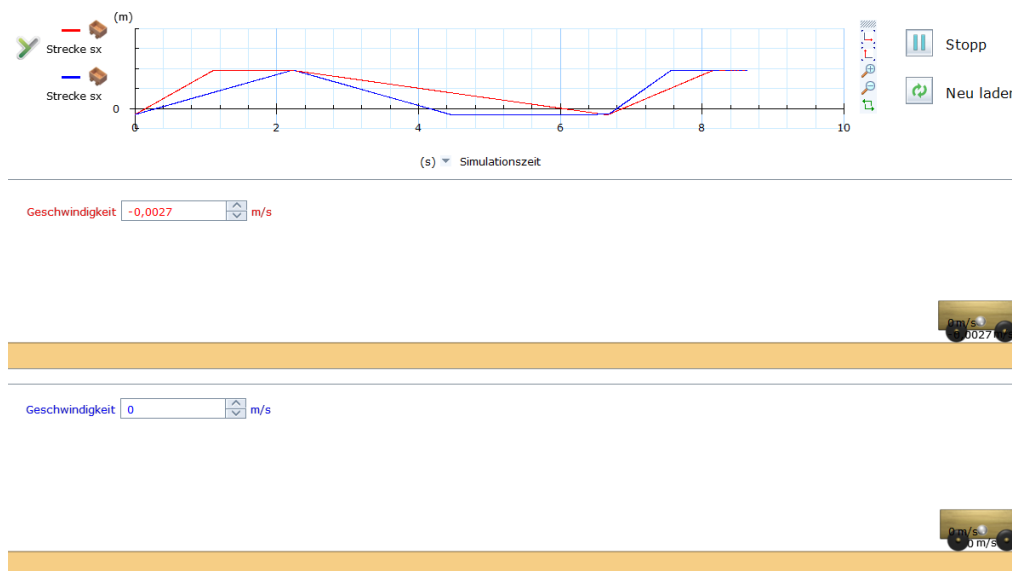
#### 4.1.2 Gleichförmige Bewegungen

Gleichförmige Bewegungen werden in der Hauptschule schon in der 8. Klassenstufe und in der Realschule in der 10. Klassenstufe thematisiert. Dabei stehen vor allem das Weg-Zeit-Gesetz mit  $s = v \cdot t + s_0$  sowie die Berechnung von Geschwindigkeiten mit  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  im Vordergrund.

Um in Yenka Physik Weg-Zeit-Diagramme zu betrachten, können zwei *Räume* mit jeweils einem *plastischen Untergrund* und einem *Wagen* platziert werden. Über das Eigenschaften-Fenster des Raums stellt man bei den Wandeigenschaften *plastisch* ein, damit die Wagen nach dem Aufprall an der Wand stehen bleiben. Oberhalb der beiden Räume wird ein *Diagramm* eingefügt, das mit Hilfe von zwei Graphen die Eigenschaft *Strecke sx* der beiden Wagen aufzeichnet. Der zweite Graph lässt sich über *Start* → *Graphen* anzeigen. Mit *Zahl*-Objekten können die Geschwindigkeiten der Wagen angepasst werden. Zur besseren Übersicht wird die Simulationsgeschwindigkeit auf den niedrigsten Wert gesetzt.

In Abbildung 13 ist zu sehen, welcher Verlauf sich ergibt, wenn die beiden Wagen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten mehrmals vor und wieder zurück fahren. Sind

beide Wagen am anderen Ende des Raums angekommen, wurde die Simulation pausiert und mit anderen (negativen) Geschwindigkeitswerten wieder gestartet.



**Abb. 13:** Graphischer Verlauf bei verschiedenen gleichförmigen Bewegungen

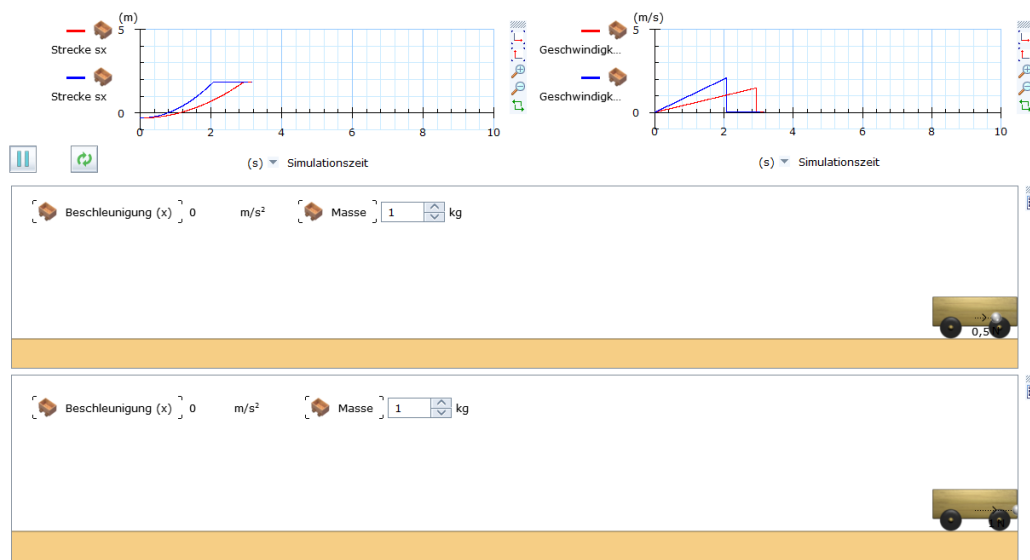
Auf diese Weise kann im Unterricht das Weg-Zeit-Gesetz thematisiert und als Experiment für die Schülerinnen und Schüler angeboten werden. Dabei ist es sinnvoll, die Wagen mehrere Male mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten hin und her fahren zu lassen, wie es in Abbildung 13 geschehen ist. Aus dem Verlauf der beiden Graphen können beispielsweise Weg-Zeit-Tabellen erstellt werden sowie Umrechnungen zwischen *Meter pro Sekunde* und *Kilometer pro Stunde* geübt werden.

#### 4.1.3 Gleichmäßig beschleunigte Bewegungen

Der Beschleunigungsbegriff mit  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  wird typischerweise im Anschluss an den Geschwindigkeitsbegriff eingeführt. Dabei werden einerseits Weg-Zeit-Diagramme und andererseits Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme thematisiert. Außerdem werden das Weg-Zeit-Gesetz für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit  $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$  sowie das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz mit  $v = a \cdot t + v_0$  eingeführt.

Wie auch bei den gleichförmigen Bewegungen, können zwei *Räume* mit *plastischen Untergründen* gewählt werden, auf denen zwei *Wagen* platziert werden. Bei den Wandeigenschaften des Raums wird wieder *plastisch* eingestellt. Oberhalb werden zwei

*Diagramme* eingefügt. Das linke Diagramm trägt den Weg über die Zeit und das rechte die Geschwindigkeit der beiden Wagen über die Zeit auf. Schließlich muss nur noch der Wertebereich der Diagramme so angepasst werden, dass die Graphen schön zu sehen sind und die Simulationsgeschwindigkeit wird zur besseren Übersicht verringert. Außerdem werden die Objekte *Pause* und *neu laden* eingefügt, um die Simulation zu pausieren bzw. neu zu laden. Lässt man die beiden Wagen mit unterschiedlichen Beschleunigungen fahren, ergeben sich zum Beispiel die folgenden Diagramme (siehe Abbildung 14):

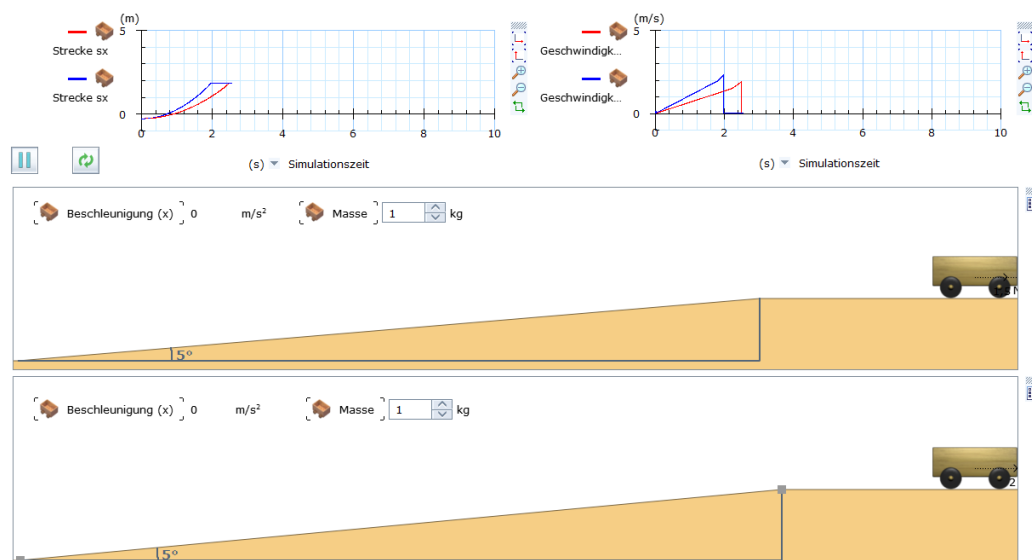


**Abb. 14:** Weg-Zeit- und Geschwindigkeit-Zeit-Graphen

Leider kann die Beschleunigung eines Wagens weder über ein *Zahl*-Objekt noch über ein anderes Objekt aus dem *Präsentation*-Ordner variiert werden. Fügt man dieses wie in Abbildung 14 ein, dann zeigt dieses lediglich den momentanen Wert der Beschleunigung an. Um die Beschleunigung zu verändern, muss man über das Eigenschaften-Fenster des Wagens unter *Start* → *Eigenschaften* den Punkt *ändert die Kraft* auswählen, damit über den *Griff* des Wagens eine Kraft eingestellt werden kann. Erst mit Betätigung des Griffs fährt ein Wagen mit einer konstanten Beschleunigung. In der Simulation wurde zusätzlich ein anderes Zahl-Objekt eingefügt, mit dem die Masse der beiden Wagen geändert werden kann.

Für die Nutzung dieser Simulation sollte im Unterricht bereits Newtons zweites Gesetz mit  $F = m \cdot a$  behandelt worden sein, da sich bei konstanter Kraft durch die Änderung der Masse des Wagens eine andere Beschleunigung ergibt. Erst durch die Kenntnis dieses Sachverhalts können Schülerinnen und Schüler auch verstehen, warum eine Änderung

der Masse zu einer Änderung der Beschleunigung führt. Falls sie mit Yenka Physik mehr Erfahrungen gemacht haben, können sie auch mit wenigen Schritten eine schiefe Ebene mit einer *Steigung* einfügen, um zu sehen, wie sich das Hinauffahren oder Herunterfahren des Wagens auf die Beschleunigung bzw. auf die Diagramme auswirkt (siehe Abbildung 15). Auf diese Weise können sie vielfältige Kurven erstellen und mit großem Freiraum experimentieren.



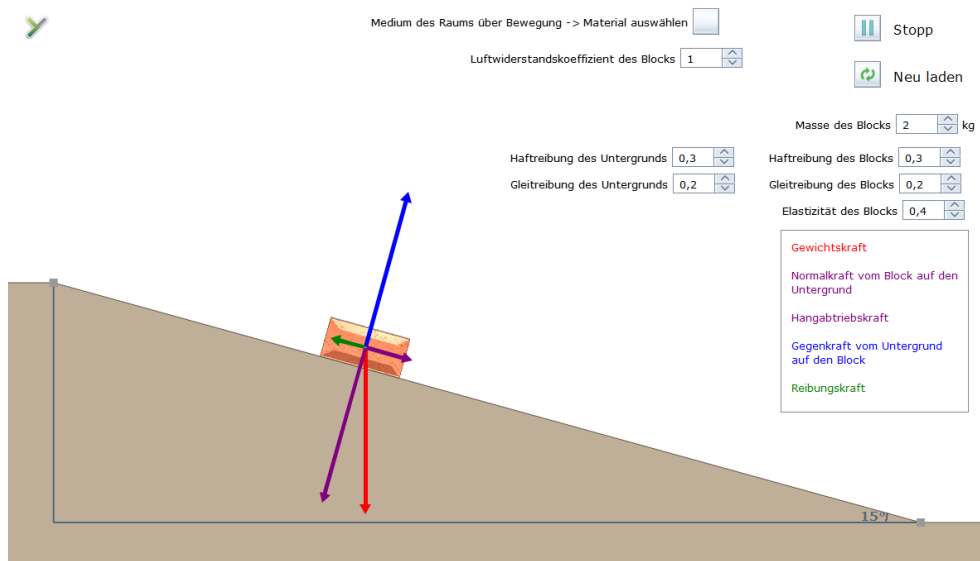
**Abb. 15:** Wagen mit schiefer Ebene

#### 4.1.4 Schiefe Ebene

Anhand der schiefen Ebene lässt sich auf anschauliche Weise die Darstellung von Kraftvektoren behandeln. In der 8. Klassenstufe der Realschule behandelt man das Thema „Kräfte und ihre Wirkungen“. Dabei geht es konkret um den Kraftbegriff und seine Darstellung über Kraftvektoren sowie um den Einfluss der Reibung bei Bewegungen. Im Lehrplan für die Hauptschule ist die Thematisierung der schiefen Ebene für die 9. Klassenstufe vorgesehen.

In Yenka Physik kann die schiefe Ebene über eine *Steigung* erstellt werden. Als Material der Steigung wurde Holz ausgewählt und für den Körper ein *Backstein-Block*. Über das Eigenschaften-Fenster des Blocks kann man mit *Start* → *Kräfte* die Kraftvektoren für die Gewichtskraft, Normalkraft, Hangabtriebskraft, Gegenkraft und Reibungskraft anzeigen lassen. Die Hangabtriebskraft und die Normalkraft werden in Yenka Physik über den Punkt *Gewichtskraft (zerlegt)* angeschaltet. Diese beiden Vektoren können daher nicht in

unterschiedlichen Farben angezeigt werden. In Abbildung 16 ist die fertige Simulation zu erkennen.



**Abb. 16:** Kraftvektoren eines Körpers bei der schiefen Ebene

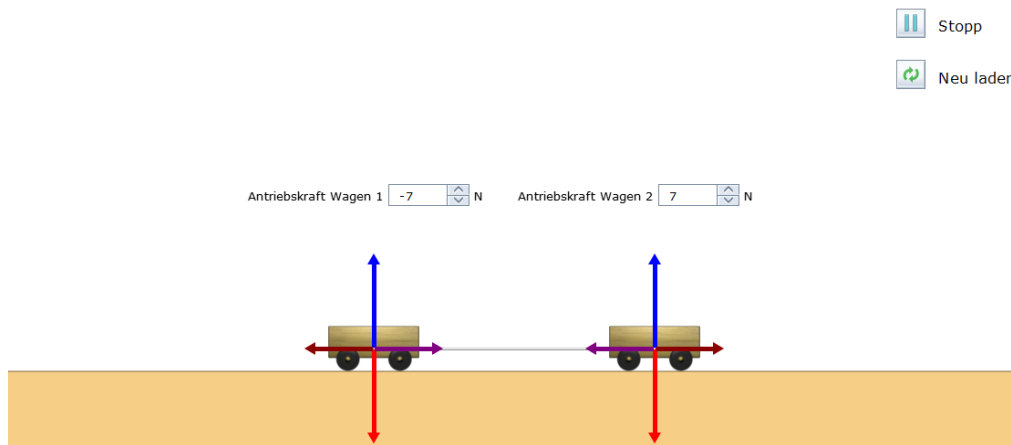
Durch das Einfügen von Diversen *Zahl*-Objekten können Schülerinnen und Schüler die Masse des Blocks, seine Werte für die Haft- und Gleitreibung sowie die Haft- und Gleitreibungswerte des Untergrunds verändern. Ebenso können sie über eine Aktionsschaltfläche ein anderes Raum-Medium einstellen, wie zum Beispiel Luft. Mit dieser Einstellung tritt Luftreibung auf, die durch die Änderung des Luftwiderstandskoeffizienten beeinflusst wird. Aufgrund der vielen Einstellmöglichkeiten werden den Lernenden große Freiheiten beim Experimentieren gelassen. Nebenbei können sie die Steigung der schiefen Ebene ändern und falls sie bereits mehr Erfahrungen mit Yenka Physik gesammelt haben, können sie auch über das Objektfenster andere Objekte wie Kugeln oder Wagen einfügen.

#### 4.1.5 Wechselwirkungsprinzip (Newtons drittes Gesetz)

Wie auch anhand der schiefen Ebene, können Kraftvektoren auch in Bezug auf das Wechselwirkungsprinzip betrachtet werden. Wenn ein Körper A eine Kraft  $F_A$  auf einen Körper B ausübt, dann übt auch Körper B eine Kraft  $F_B$  auf den Körper A aus, die ihr allerdings entgegengerichtet ist. Dieses Prinzip kann schnell und einfach durch ein Tauziehen zweier Wagen veranschaulicht werden:



Man erstellt einen *Raum* mit einem *plastischen Untergrund* und zwei *Wagen*, die man mit einer *Stange* verbindet. Für jeden Wagen fügt man ein *Zahl*-Objekt ein, mit dem die *Antriebskraft* des Wagens variiert werden kann. Zusätzlich schaltet man über das *Eigenschaften-Fenster* die *Gewichtskraft*, *Anpresskraft* sowie die *Antriebskraft*, *Spannung* und *resultierende Kraft* ein (siehe Abbildung 17).



**Abb. 17:** Wechselwirkungsprinzip an zwei Wagen

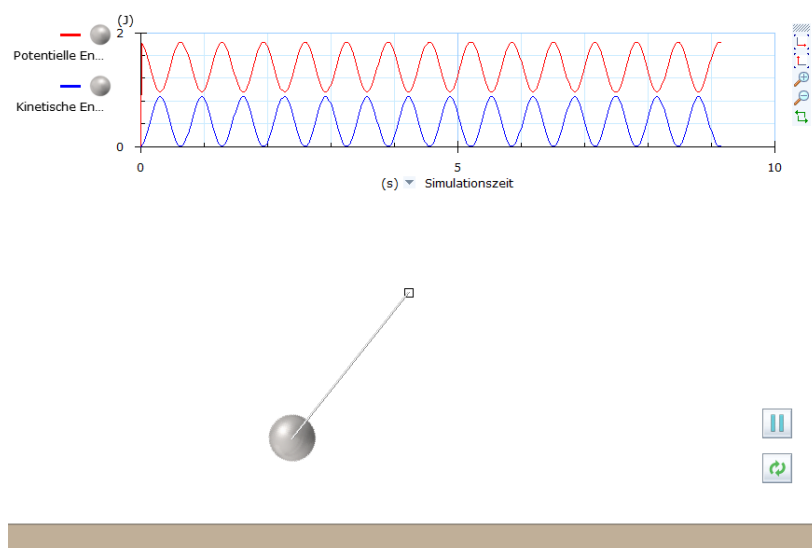
Über die Änderung der Antriebskräfte können die Lernenden beobachten, wie diese sich auf die entgegen gerichteten Kräfte auswirkt. Dabei kann man das Wechselwirkungsprinzip im Unterricht auch auf andere Beispiele übertragen, wie die Anziehung zwischen zwei Magneten. Wenn die Schülerinnen und Schüler bereits Erfahrung mit der Erstellung einer Simulation in Yenka Physik gemacht haben, dann können sie dieses Beispiel auch selbst erstellen.

#### 4.1.6 Faden- und Federpendel

Das Fadenpendel bietet eine anschauliche Möglichkeit, um den Energieerhaltungssatz in einem abgeschlossenen und reibungsfreien System zu demonstrieren. Die Bestimmung des Energieerhaltungsbegriffs ist in der Haupt- und Realschule für die 10. Klassenstufe vorgesehen. Für die Realschule werden dabei explizit noch die potentielle und kinetische Energie erwähnt. Dagegen kann beim Federpendel das Hooke'sche Gesetz in Bezug auf elastische Körper betrachtet werden, das in beiden Lehrplänen für die 8. Klassenstufe vorgesehen ist.

Um ein Fadenpendel zu erstellen, muss lediglich eine *Kugel* mit einer *Stange* verbunden werden, welche in einem *Raum* mit einem *Untergrund* platziert werden. Für die Kugel

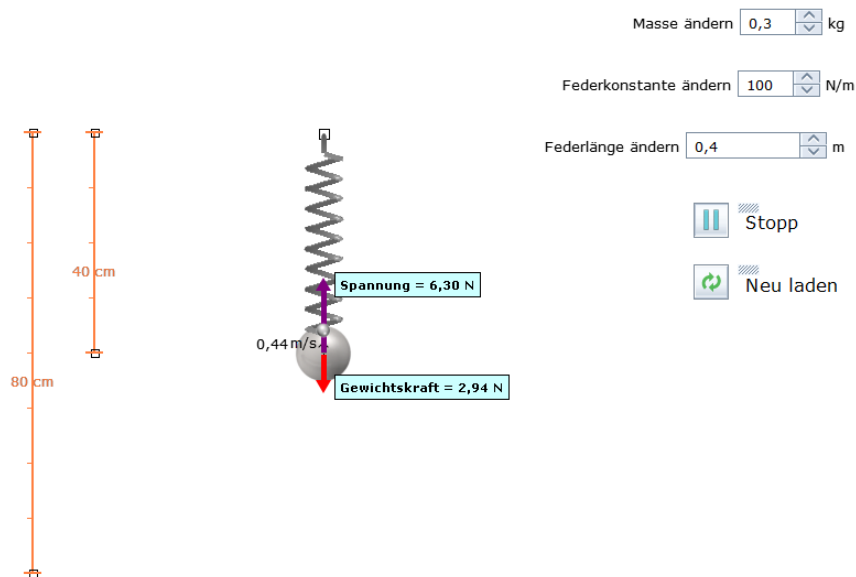
und den Untergrund kann ein beliebiges Material ausgewählt werden. Für dieses Beispiel wurden eine *Metallkugel* und ein *Holzuntergrund* gewählt. Damit sich das Pendel reibungsfrei bewegen kann, wird für den Raum das Medium *Vakuum* eingestellt, das im Eigenschaften-Fenster über *Start* → *Bewegung* → *Materialien* zu finden ist. Die Simulationsgeschwindigkeit kann über die Symbolleiste verringert werden. Als nächstes wird ein Diagramm eingefügt. Über das Eigenschaften-Fenster kann mit *Start* → *Graphen* → *Graph 2 anzeigen* ein zweiter Graph angezeigt werden. Beide Graphen werden der Kugel zugewiesen, indem man das Fadenkreuzsymbol des Diagramms auf die Kugel zieht. Als Eigenschaften werden *potentielle Energie (Gravitation)* und *kinetische Energie (gesamt)* ausgewählt. Danach sollte die Skalierung der x- bzw. y-Achse über das Eigenschaften-Fenster angepasst werden, damit die angezeigten Graphen nicht zu klein sind. Um die Simulation zu pausieren oder neu zu laden, wurden die Objekte *Pause* und *neu laden* eingefügt (siehe Abbildung 18).



**Abb. 18:** Energieerhaltung beim Fadenpendel

Im Unterricht können Schülerinnen und Schüler die Auslenkung des Pendels ändern, indem sie entweder den *Griff* der Kugel nutzen oder die Kugel mit der Maus verschieben. Ebenso können sie die Pendellänge variieren. Dabei kann der Verlauf der beiden Energien betrachtet werden. Leider war es mir nicht möglich, einen Graphen für die Gesamtenergie anzeigen zu lassen oder das Diagramm so zu erstellen, dass sich die Graphen im gleichen y-Wertebereich bewegen, sodass sie sich stets miteinander schneiden. Allerdings ist die Energieerhaltung in diesem Beispiel immer noch schön erkennbar.

Das Hooke'sche Gesetz mit  $F_s = D \Delta s$  bzw.  $D = \frac{F_s}{\Delta s}$  beschreibt, dass die einwirkende Kraft und die Längenänderung eines elastischen Körpers proportional zueinander sind, solange man im elastischen Bereich des Körpers bleibt. Um das Gesetz in Yenka Physik zu visualisieren, wird eine *Metallkugel* an eine *Feder* gehängt. Diese werden in einem *Raum* mit einem beliebigen *Untergrund* platziert. Für den Raum sollte wieder als Medium Vakuum eingestellt werden. Über das Eigenschaftsfenster der Kugel können die Kraftvektoren für die *Spannung* und die *Gewichtskraft* angezeigt werden. Ebenso werden *Zahl*-Objekte eingefügt, mit denen die Masse der Kugel, die Federkonstante und die Federlänge im unbelasteten Zustand variiert werden können. Mit den Objekten *Pause* und *neu laden* kann die Simulation angehalten und zurückgesetzt werden. Der Aufbau ist in Abbildung 19 dargestellt.



**Abb. 19:** Federpendel mit Einstellungsmöglichkeiten

Während des Unterrichts bekommen Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, konkrete Werte für Masse, Federkonstante und Federlänge zu ändern. Dadurch können sie innerhalb des virtuellen Raums die Beziehung, die beim Hooke'schen Gesetz gilt, durch spielerisches Ausprobieren kennenlernen. Für das Ausmessen der Längenänderung des Federpendels stehen zwei Lineale zur Verfügung.

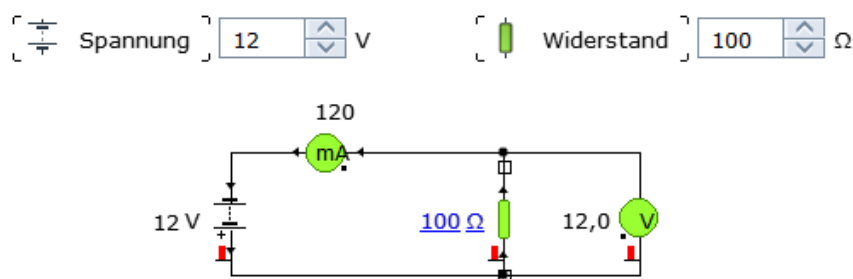
## 4.2 Elektrizitätslehre

Mit Yenka *Elektrizität und Magnetismus* können auf einfache Weise Stromkreise mit Hilfe der gängigen Schaltsymbole erstellt werden. Betrachtungen von einfachen Stromkreisen sowie von Reihen- und Parallelschaltungen bieten sich dabei besonders an. Ebenso kann die elektromagnetische Induktion durch mehrere verschiedene Objekte veranschaulicht werden. Zu Anfang des Elektrizitätslehre-Unterrichts kann man den Schülerinnen und Schülern auch die Freiheit lassen, mit den verschiedenen Objekten in Yenka Physik ohne Einschränkung zu experimentieren. Dabei können sie alle möglichen Einstellungen ausprobieren und auf diese Weise neue Zusammenhänge entdecken.

### 4.2.1 Ohmsches Gesetz

Das ohmsche Gesetz mit  $R := \frac{U}{I} = \text{const.}$  beschreibt, dass die Stromstärke  $I$  in einem Leiter, dessen Temperatur konstant ist, proportional zur angelegten Spannung  $U$  ist. Dieses Gesetz definiert damit den elektrischen Widerstand. In den Lehrplänen für die Haupt- und Realschule sind die Definitionen der Stromstärke und Spannung sowie der Zusammenhang zwischen diesen Größen ein zentraler Unterrichtsinhalt.

Hierbei kann Yenka Physik entweder dazu genutzt werden, um sich das ohmsche Gesetz zu erarbeiten oder um es innerhalb der virtuellen Umgebung anzuwenden. Dafür kann ein einfacher Stromkreis aus einer Spannungsquelle (*Batterie*) und einem *Widerstand* erstellt werden. Um die Spannung und Stromstärke zu messen, werden ein *Voltmeter* und ein *Amperemeter* eingefügt (siehe Abbildung 20).



**Abb. 20:** Einfacher Stromkreis

Wenn die Lernenden bereits über ausreichende Kenntnisse verfügen, um einen einfachen Stromkreis selbst zu erstellen, dann können sie dies unter der Anleitung der Lehrperson auch selbstständig erledigen. Sinnvoll ist das Vorgeben von *Zahl*-Objekten, die dann mit der Batterie bzw. dem Widerstand verbunden werden können, um die Spannung und den

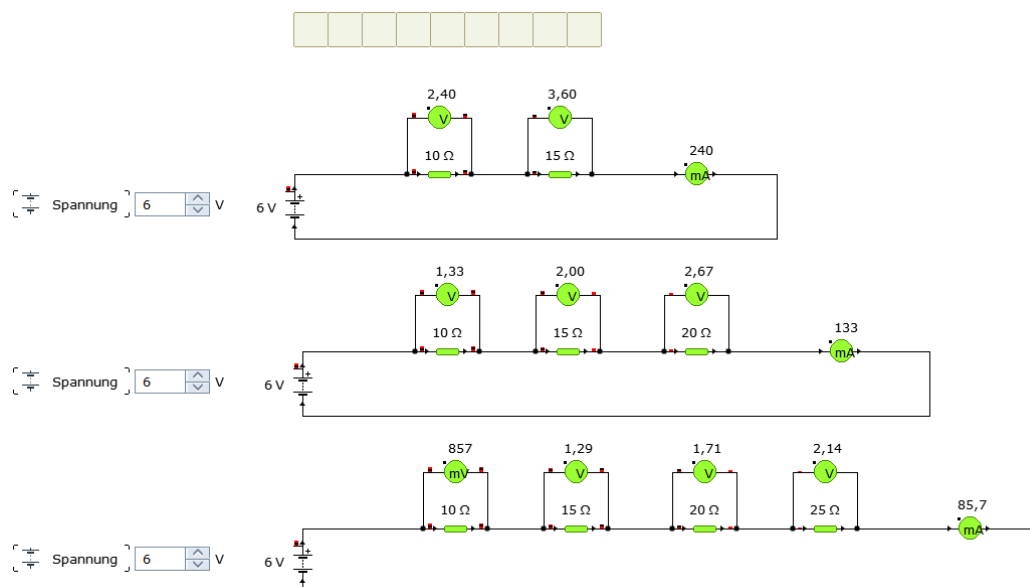
Widerstand ändern zu können. Bei der Änderung dieser beiden Werte können sie erkennen, dass die Proportionalität von Stromstärke und Spannung bei Änderung des Widerstands stets gegeben ist und der Quotient aus Spannung und Stromstärke stets den Wert des Widerstands ergibt. Durch Variation der *zugelassenen Höchstwerte* beim Widerstand können auch höhere Spannungswerte ausgetestet werden.

#### 4.2.2 Reihenschaltungen

Für die Haupt- und Realschule ist die Betrachtung von einfachen Reihen- bzw. Parallelschaltungen vorgesehen, die auch qualitativ durch Berechnungen behandelt werden sollen.

In einer Reihenschaltung fließt an allen Stellen der gleiche Strom, während über jedem Widerstand eine Teilspannung abfällt, die zusammen die Gesamtspannung ergeben. Dies lässt sich durch  $I_{ges} = I_1 = I_2 = I_n$  und  $U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$  ausdrücken. Für den Gesamtwiderstand gilt  $R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ .

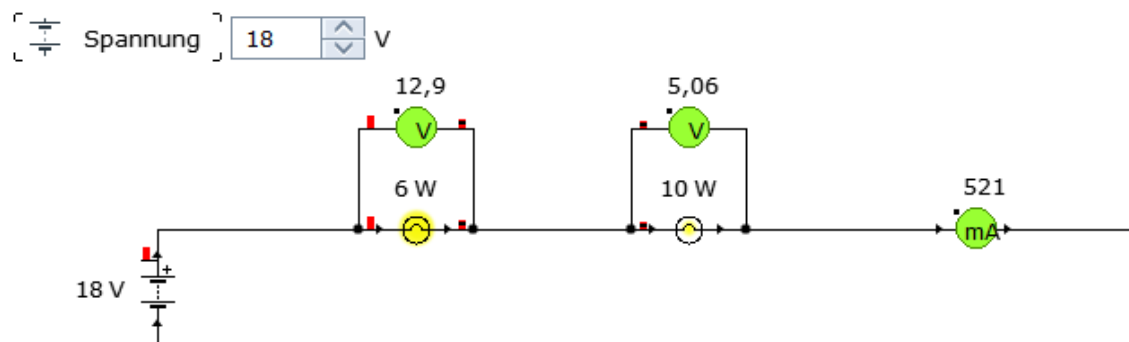
Mit Yenka Physik können die Schülerinnen und Schüler entweder mit einer geeigneten Anleitung selbst Reihenschaltungen zusammenstellen, um damit die Gesetzmäßigkeiten in Bezug auf Stromstärke, Spannung und Widerstand zu entdecken, oder man stellt ihnen fertig erstellte Schaltungen zur Verfügung, mit denen sie die im Unterricht bereits erarbeiteten Gesetzmäßigkeiten rechnerisch überprüfen und üben können. Solche Schaltungen können relativ schnell mit mehreren *Batterien*, *Widerständen*, *Voltmetern* und *Amperemetern* erstellt werden (siehe Abbildung 21).



**Abb. 21:** Verschiedene Reihenschaltungen

Über eingefügte *Zahl*-Objekte können die Lernenden die Spannungswerte variieren und über einen Klick auf einen Widerstandswert kann ein anderer Zahlenwert eingegeben werden. Für die einzelnen Voltmeter kann auch eine *Ablage* eingefügt werden, aus der sie die Messgeräte zunächst herausziehen müssen, um diese dann an den entsprechenden Stellen mit dem Stromkreis zu verbinden. Bevor diese angeschlossen werden, kann man ihnen die Aufgabe stellen, zunächst die Teilspannungen zu berechnen. Danach können sie ihre Ergebnisse durch das Anschließen der Voltmeter überprüfen.

Alternativ können auch *Anzeigelampen* oder *Glühlampen* anstelle der Widerstände verwendet werden. Dabei können die Schülerinnen und Schüler zum Beispiel bei zwei in Reihe geschalteten Anzeigelampen (Höchstwert jeweils 9 V) beobachten, dass diese nicht kaputt gehen, obwohl eine Spannung von über 9 V anliegt. Oder es werden zwei Anzeigelampen, die leicht unterschiedliche Leistungen besitzen, in Reihe geschaltet, sodass die eine Lampe heller leuchtet als die andere. (siehe Abbildung 22). Auch bei den Glühlampen können die Leistungswerte variiert werden, indem man auf diese klickt.



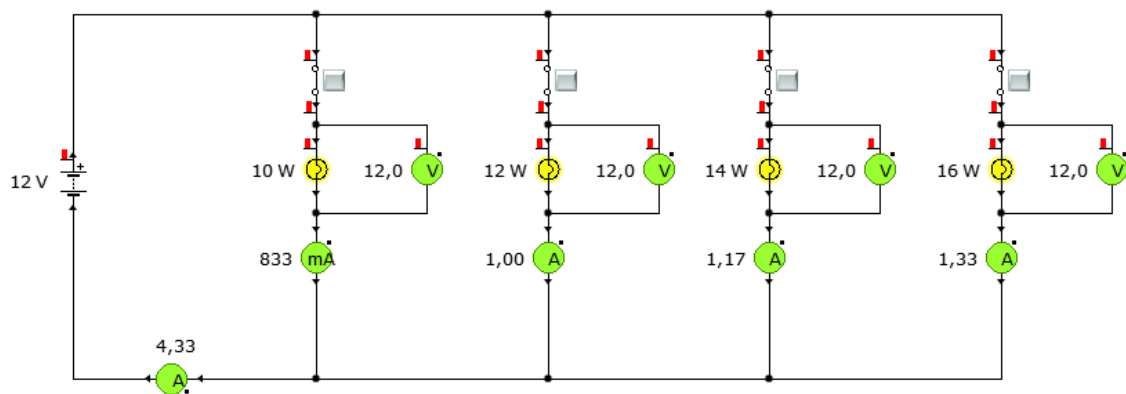
**Abb. 22:** Unterschiedlich hell leuchtende Glühlampen

#### 4.2.3 Parallelschaltungen

In der Haupt- und Realschule werden auch Parallelschaltungen betrachtet. Hier liegt an allen Widerständen dieselbe Spannung an, während sich der Strom an den Verzweigungspunkten der Schaltung aufteilt. Damit gilt  $U_{ges} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$  und  $I_{ges} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ . Für den Widerstand gilt hingegen  $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ .

Für Parallelschaltungen kann das gleiche Vorgehen genutzt werden, wie bei den Reihenschaltungen. Die Lernenden erstellen entweder nach einer vorgegeben Anleitung, die beispielsweise auch die angelegte Spannung der Spannungsquelle sowie die Anzahl und Werte der Widerstände angibt, eine eigene Schaltung oder man erstellt selbst einfache

Schaltungen, die sie dann bearbeiten können. Die erste Möglichkeit fördert eher das entdeckende Vorgehen, da sie die oben beschriebenen Gesetzmäßigkeiten einer Parallelschaltung, wie zum Beispiel die immer gleiche Spannung an allen Widerständen, selbst herausfinden können. Dagegen eignet sich die zweite Möglichkeit eher dazu, die gelernten Gesetzmäßigkeiten quantitativ anhand von Berechnungen anzuwenden. Hierzu werden wieder verschiedene *Batterien*, *Widerstände*, *Voltmeter* und *Amperemeter* benötigt. Mit *einpoligen Einschaltern* können auch beispielsweise einzelne Zweige der Parallelschaltung aus- und eingeschaltet werden (siehe Abbildung 23).

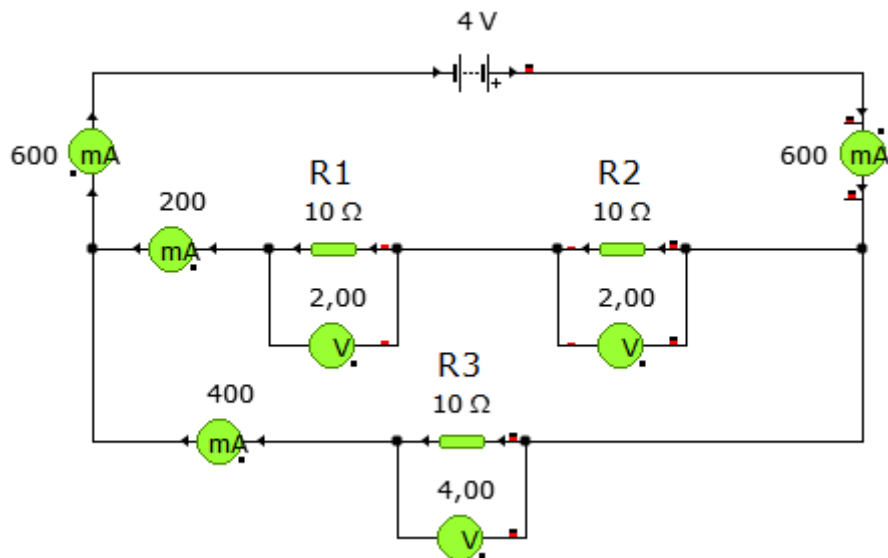


**Abb. 23:** Reihenschaltung mit Einschaltern

#### 4.2.4 Komplexere Schaltungen

Der Lehrplan für die Realschule sieht auch vor, dass im Physikunterricht die Kirchhoffschen Gesetze behandelt werden. Das erste Kirchhoffsche Gesetz (Knotenregel) beschreibt, dass die zu einem Verzweigungspunkt (Knoten) hinein fließenden Ströme gleich der Summe der hinausfließenden Ströme sind. Das zweite Kirchhoffsche Gesetz (Maschenregel) beschreibt, dass die Summe aller Teilspannungen beim Durchlaufen einer geschlossenen Schleife (Masche) gleich der Spannung der Quelle ist.

Besonders die leistungstärkeren Schülerinnen und Schüler können mit Hilfe von Yenka Physik komplexere Schaltungen erstellen, die aus einer Kombination aus Reihen- und Parallelschaltungen zusammengesetzt sind. Anhand dieser Schaltungen können sie die Anwendung der Knoten- und Maschenregel üben (siehe Abbildung 24).



**Abb. 24:** Komplexere Schaltung

In Abbildung 24 ist beispielhaft zu erkennen, dass die Knoten- und Maschenregeln erfüllt sind: Der Betrag des zum Knoten hereinfließenden Stroms (600 mA) ist gleich der Summe der hinausfließenden Ströme (200 mA + 400 mA = 600 mA). Ebenso ist die Summe der Teilspannungen bei jeder Masche gleich der Spannung der Quelle, da die Teilspannungen an R1 und R2 gleich der Teilspannung an R3 sind, welche wiederum gleich der Spannung der Quelle sind. Durch Variation der Widerstandsbeträge und der Spannung können Schülerinnen und Schüler auf diese Weise sehr anschaulich die Kirchhoffschen Gesetze anwenden.

#### 4.2.5 Elektromagnetische Induktion

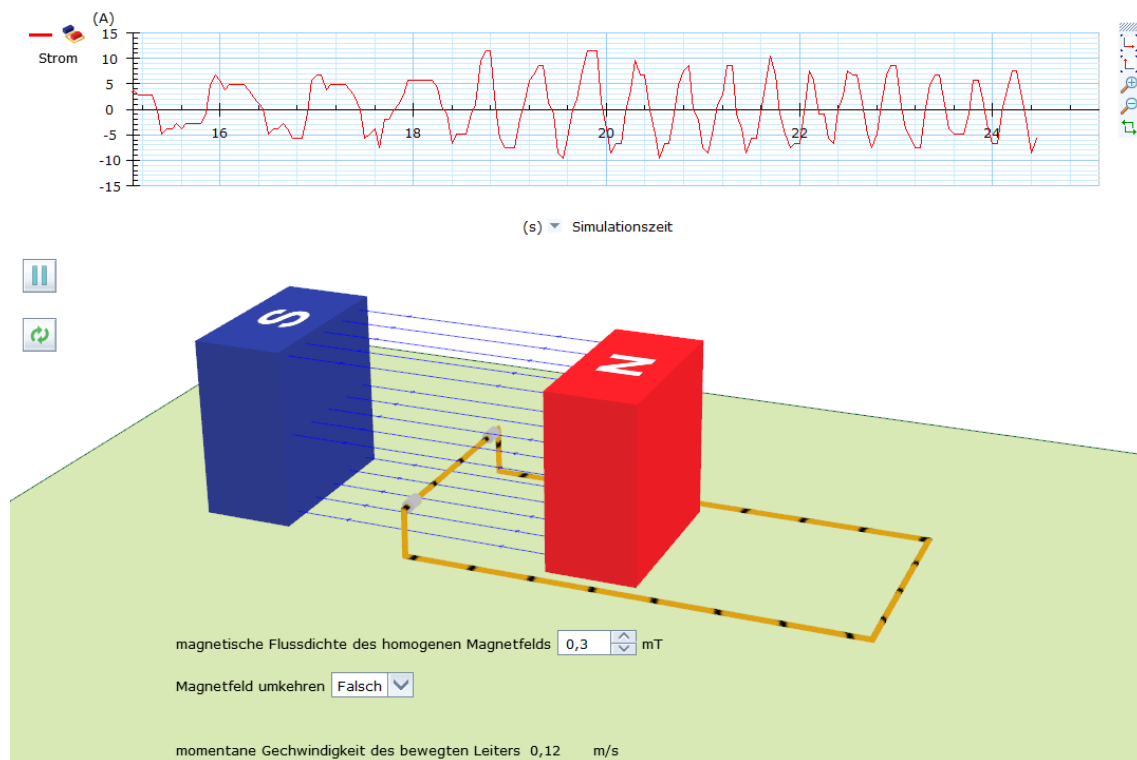
Die Erzeugung elektrischer Energie mit Hilfe eines Generators ist nach den Lehrplänen für die Haupt- und Realschule Inhalt des Physikunterrichts der 10. Klassenstufe. Das Generatorprinzip beruht dabei auf der elektromagnetischen Induktion, die nach dem Lehrplan der Realschule auch in Verbindung mit der Entstehung von Wechselspannung thematisiert werden soll.

Yenka Physik bietet für die Veranschaulichung der Induktion mehrere Möglichkeiten: Die erste Möglichkeit besteht darin, einen Leiter innerhalb eines homogenen Magnetfelds zu bewegen. Durch die Lorentzkraft  $F_L$  werden die Elektronen des Leiters, die sich innerhalb des homogenen Magnetfelds befinden, getrennt, sodass für die Dauer der Bewegung ein Plus- bzw. Minuspol im Leiterstück entsteht. Dies führt zu einer



Induktionsspannung mit  $U_{ind} = d \cdot v \cdot B$  (für  $v \perp B$ ). Der Betrag der Induktionsspannung hängt also von der Länge  $d$  des Leiters, der Geschwindigkeit  $v$  des bewegten Leiters und dem Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  ab. Alternativ lässt sich die Induktionsspannung auch über das Induktionsgesetz mit  $U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} = -\dot{\phi}$  ausdrücken, welches aber für die Sekundarstufe I noch zu schwierig ist.

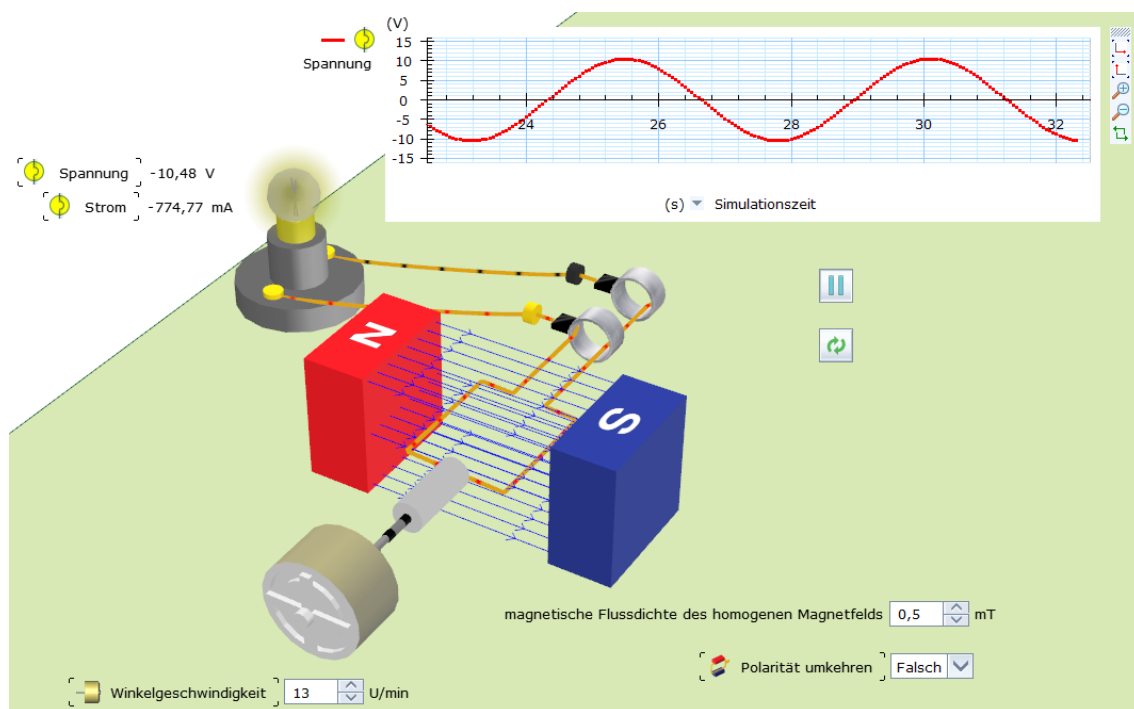
Die Erstellung einer anschaulichen Simulation mit Yenka Physik geht unkompliziert und schnell, sodass Schülerinnen und Schüler, die bereits Erfahrungen mit der Erstellung von Simulationen gemacht haben, diese auch mit Hilfe einer Anleitung selbst erstellen können. Das Objekt *Induktion im bewegten Leiter* wird zusammen mit einem *Diagramm* auf der Arbeitsoberfläche platziert. Als Diagramm-Eigenschaft der y-Achse wird *Strom* ausgewählt, nachdem man das Fadenkreuz des Diagramms mit dem bewegten Leiter verbunden hat. Leider kann hier nicht die induzierte Spannung, sondern nur die Stromstärke, die sich aufgrund der induzierten Spannung ergibt, als Diagramm-Eigenschaft ausgewählt werden. Danach fügt man noch *Zahl*-Objekte ein, mit denen man die magnetische Flussdichte ändern und die Geschwindigkeit des bewegten Leiters anzeigen lassen kann. Schließlich kann noch das Magnetfeld mit einer *Dropdown-Liste* umgekehrt werden (siehe Abbildung 25).



**Abb. 25:** Betrag der Stromstärken beim Bewegen eines Leiters im Magnetfeld

Wird der Leiter mit dem Mauszeiger hin und her bewegt, so sind positive und negative Werte für die Stromstärke erkennbar. Im Unterricht können die Lernenden diese Simulation nutzen, um die Abhängigkeiten der induzierten Spannung qualitativ zu ergründen. Dabei muss die Lehrperson aber explizit darauf eingehen, dass die im Diagramm angezeigten Werte nicht die Induktionsspannung, sondern nur die daraus folgende Stromstärke wiedergeben. Durch Veränderung der magnetischen Flussdichte sowie durch die Geschwindigkeit der Leiterbewegung können sie die gemessenen Ausschläge im Diagramm beobachten. Anschließend können sie aufgrund dieser Beobachtungen Hypothesen über die Entstehung einer Induktionsspannung aufstellen, die man dann als Grundlage für die weitere Erarbeitung des Induktionsvorgangs heranzieht.

Eine andere Möglichkeit zur Thematisierung der elektromagnetischen Induktion bietet der *einfache Generator*, der nach der Erarbeitung des Induktionsvorgangs betrachtet werden kann. Dieses Objekt besteht aus einer Anordnung, in der sich eine Leiterschleife innerhalb eines homogenen Magnetfelds dreht. Verbindet man diese Anordnung mit einem *Motor mit konstanter Drehzahl* aus *Yenka Bewegung*, so kann über ein *Zahl-*Objekt die Winkelgeschwindigkeit bzw. Drehzahl dieses Motors und damit auch der Leiterschleife eingestellt werden. Mit zwei Anschlüssen, die über zwei Schleifringe mit der drehbaren Achse gekoppelt sind, kann eine Glühlampe mit der Anordnung verbunden werden, bei der die momentane Spannung bzw. Stromstärke mit Hilfe von weiteren *Zahl-*Objekten angezeigt werden kann. Die magnetische Flussdichte des homogenen Magnetfelds kann dabei ebenfalls variiert werden. Um die induzierte Spannung noch besser zu visualisieren, kann ein *Diagramm* eingefügt werden, welches die sinusförmige Wechselspannung anzeigt (siehe Abbildung 25). Alternativ kann man noch einen zusätzlichen Graphen einfügen, der die Stromstärke über die Zeit aufträgt.



**Abb. 25:** Einfacher Generator

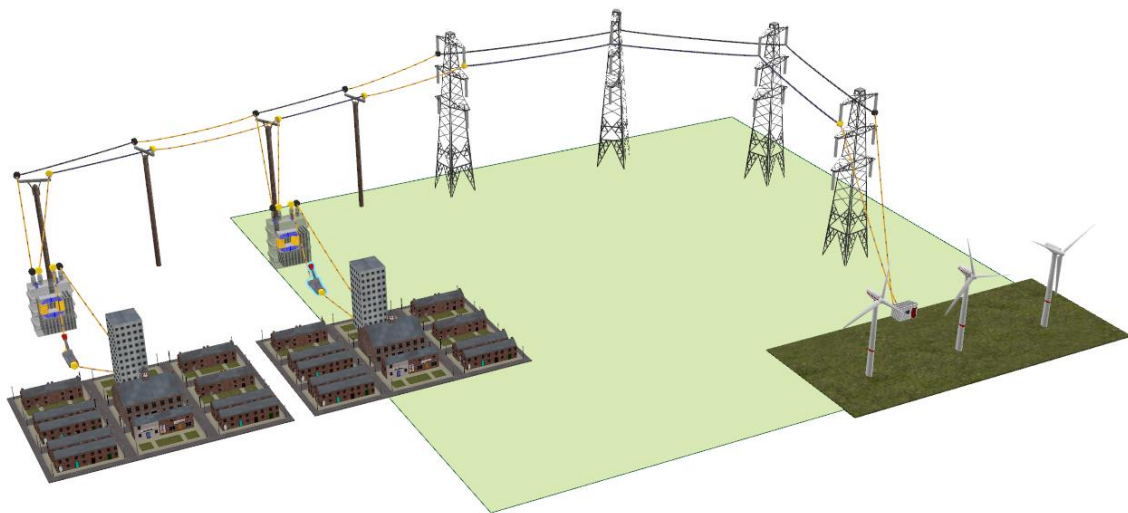
Mit einer solchen Simulation stehen den Schülerinnen und Schülern viele Möglichkeiten zur Verfügung, um die relevanten physikalischen Größen zu ändern. Durch Variation der Winkelgeschwindigkeit bzw. Drehzahl des Motors, der magnetischen Flussdichte und der Polarität des homogenen Magnetfelds können sie stets die Auswirkungen auf die induzierte Spannung beobachten. Besonders schön ist das Aufleuchten der Glühlampe, sobald sich die Leiterschleife quer zum Magnetfeld bewegt. Dadurch kann erarbeitet werden, dass dabei die Lorentzkraft auf die Ladungen innerhalb der Leiterschleife wirkt, sodass eine Verschiebung der Ladungen und damit eine Potentialdifferenz an den beiden Enden entsteht. Mit einem Klick auf das *Pause*-Objekt kann die Simulation auch angehalten werden, sodass man die Position der Leiterschleife gut mit dem momentanen Betrag der Induktionsspannung, der sich anhand des Graphen ergibt, vergleichen kann.

#### 4.2.6 Windkraft zur Energiegewinnung

Für die 10. Klassenstufe der Haupt- und Realschule ist es in den beiden Lehrplänen vorgesehen, die Rolle der zukünftigen Energiegewinnung für die Gesellschaft zu diskutieren. Dabei soll insbesondere die erneuerbare Energiegewinnung thematisiert

werden, die eine mögliche Alternative zu den konventionellen Energieträgern darstellt. Dazu gehört neben der Solarenergie auch die Windkraft. Mit Windkraftträdern wird die mechanische Energie des Windes über einen Generator in elektrische Energie umgewandelt.

Mit Yenka Physik können die Energieerzeugung, Energieübertragung und Energienutzung mit den verfügbaren Objekten vereinfacht und modellhaft nachgestellt werden. Zur Energiegewinnung kann ein *Windkraftwerk* platziert werden, das die elektrische Energie für die Energienutzer bereitstellt. Über *Hoch-* und *Niederspannungsmasten* wird diese über *Umspannwerke* zum Beispiel zu zwei kleinen Häusersiedlungen (*Umgebung-Objekt*) übertragen (siehe Abbildung 26).



**Abb. 26:** Energieübertragung mit diversen Objekten

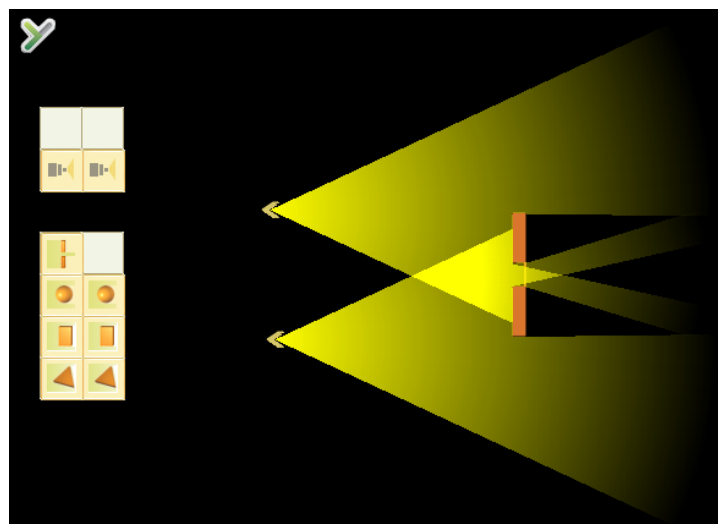
Ein solches Modell können die Schülerinnen und Schüler auch selbst erstellen, falls sie bereits Erfahrungen mit Yenka Physik gemacht haben. Sie haben für die einzelnen Objekte diverse Einstellungsmöglichkeiten. Im Unterricht kann man dabei thematisieren, warum man die elektrische Energie eines Kraftwerks nicht einfach direkt in die Haushalte speisen kann und welche Maßnahmen getroffen werden müssen, um die für Haushalte typische Spannung von 230V zu bekommen. Ebenso kann eine Diskussion über die Rolle der erneuerbaren Energien geführt werden, indem zum Beispiel über die Vor- und Nachteile von Windenergie gesprochen wird.

## 4.3 Optik

Yenka *Licht und Schall* bietet vor allem für die geometrische Optik, die in den hessischen Lehrplänen der Haupt- bzw. Realschule der 7. Klassenstufe zuzuordnen ist, eine große Auswahl an Objekten, mit denen die relevanten Unterrichtsthemen der Optik in einer virtuellen Umgebung veranschaulicht werden können. Gemeinsame Themen bilden dabei das Lichtstrahlmodell, Schattenräume, die Reflexion und Brechung an Grenzflächen, die Bildentstehung bei der Lochkamera sowie bei Spiegeln und Linsen, die Totalreflexion und schließlich die Farbigkeit und Zerlegung des Lichts in seine Bestandteile. Da alle der soeben aufgezählten Themen Unterrichtsinhalte der 7. Klassenstufe darstellen, folgt in den nächsten Abschnitten keine explizite Einordnung in die beiden jeweiligen Lehrpläne.

### 4.3.1 Schattenräume

Um mit der Entstehung von Schattenräumen zu experimentieren, eignen sich insbesondere die Objekte aus dem Ordner *undurchsichtige Objekte*. Dieser enthält einen *verstellbaren Spalt* sowie eine *Kugel*, einen *Block* und ein *Dreieck*. Als Lichtquelle kann ein *divergierender Strahl* genommen werden, der einen schönen Lichtkegel auf andere Objekte wirft. Zur besseren Übersicht wurden alle Objekte in einer *Ablage* platziert (siehe Abbildung 27).



**Abb. 27:** Schattenräume bei einem Spalt

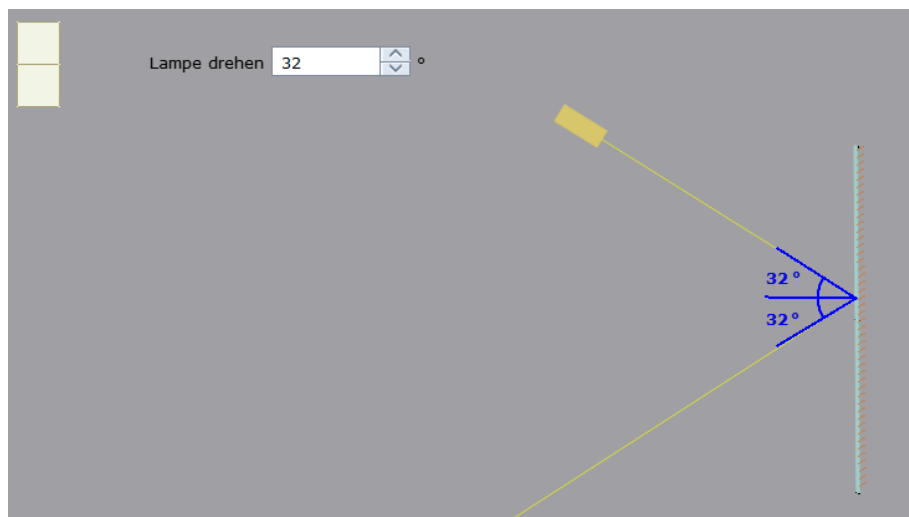
Ein solcher Aufbau fördert das spielerische Entdecken von Schattenräumen und insbesondere von Halb- und Kernschattengebieten, indem zunächst eine und

anschließend zwei oder mehr Lampen hinzugezogen werden können. Die verschiedenen Objekte können von den Schülerinnen und Schülern in ihrer Form und Größe verändert werden, sodass ihnen beim Experimentieren und Ausprobieren freie Hand gelassen werden kann.

#### 4.3.2 Reflexionsgesetz

Das Reflexionsgesetz stellt eines der wichtigsten Lernziele im Optikunterricht dar. Es bildet die Grundlage für die Erklärung der Bildentstehung an ebenen und gekrümmten Spiegeln sowie bei der Totalreflexion.

Um in Yenka Physik eine Simulation in Bezug auf das Reflexionsgesetz zu erstellen, sind nur wenige Schritte nötig. Man platziert eine *Strahlenquelle*, einen *ebenen Spiegel*, ein *Zahl-Objekt* sowie zwei *Winkelmesser* im *optischen Raum*. Für den ebenen Spiegel wählt man im Eigenschaften-Fenster die Option *Senkrechte anzeigen* aus, damit stets das Lot am Spiegel angezeigt wird. Für die Strahlenquelle wählt man nur einen einzigen Lichtstrahl aus. Um die Leuchte zu drehen, eignet sich das Zahl-Objekt besser als ein Schieber, da man den Winkel des Lichtstrahls exakter einstellen kann als beim Schieber. Für die beiden Winkelmesser kann noch zusätzlich eine *Ablage* eingefügt werden, die in Abbildung 28 oben links platziert wurde.



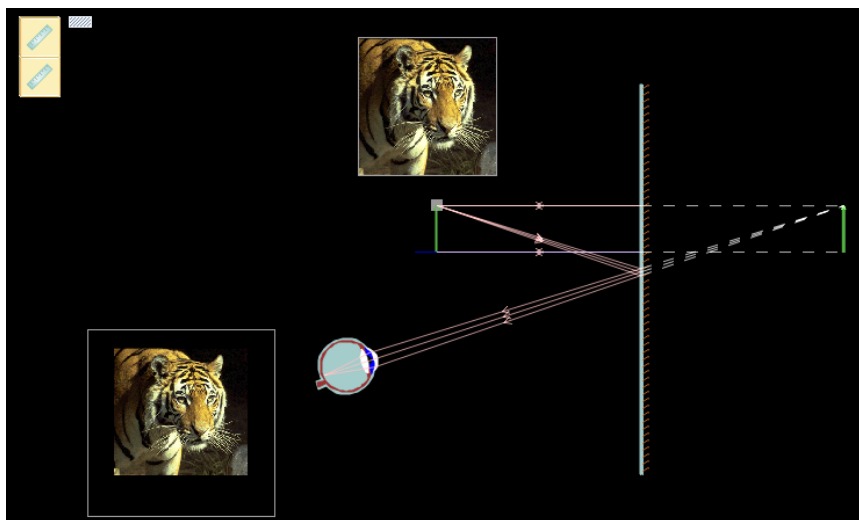
**Abb. 28:** Reflexionsgesetz am ebenen Spiegel

Im Unterricht können Lernende Messungen des Reflexionswinkels durch Änderung des Einfallswinkels durchführen, indem sie die beiden Winkelmesser nutzen. Hierbei bietet

es sich an, dass sie ihre Messwerte in eine dafür angelegte Tabelle eintragen, die zum Beispiel auf einem Arbeitsblatt enthalten ist.

#### 4.3.3 Bildentstehung am ebenen Spiegel

Für die Bildentstehung am ebenen Spiegel bietet Yenka Physik geeignete Möglichkeiten an. Für die Konstruktion des Strahlengangs sind nur ein *Marker für nahes Objekt*, ein *ebener Spiegel* und das *Auge* nötig. Diese werden wie in Abbildung 29 platziert.



**Abb. 29:** Bildentstehung am ebenen Spiegel

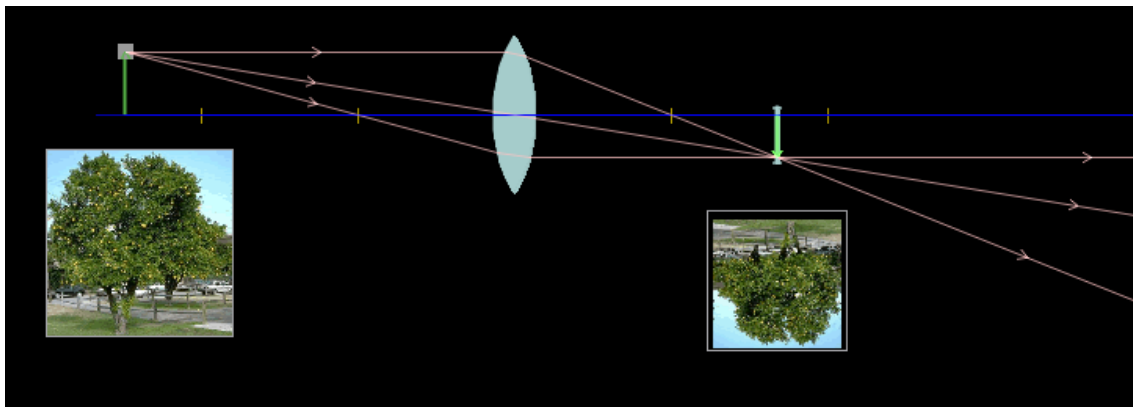
Beim Marker sollte beachtet werden, dass auch der senkrechte Strahl vom betrachteten Objekt zum Spiegel angezeigt wird. Dieser lässt sich im Eigenschaften-Fenster über *Start* → *Strahleinstellungen* → *Strahlen zu Spiegeln* einschalten.

Für den Unterricht eignet sich ebenfalls das *Lineal*-Objekt, das hier in einer Ablage abgelegt wurde. Hiermit können Schülerinnen und Schüler die Gegenstandsweite (Abstand vom Gegenstand zum Spiegel) und die Bildweite (Abstand des Bilds zum Spiegel) messen und dabei erkennen, dass diese Abstände stets gleich sind. Ebenso können sie die Gegenstandsgröße mit der Bildgröße vergleichen und feststellen, dass diese ebenfalls gleich sind.

#### 4.3.4 Bildentstehung an der Sammellinse

Wenn Schülerinnen und Schüler bereits Erfahrungen mit Yenka Physik gemacht haben, können diese die Simulation auch selbst erstellen, da sie relativ schnell und einfach neu erstellt werden kann. Die Bildentstehung sowie die Unterscheidung von virtuellen und reellen Bildern bei Linsen sind im Unterricht wichtige Voraussetzungen, um beispielsweise die Funktionsweise bei optischen Geräten (Mikroskop, Fernrohr etc.) zu betrachten.

Zur Erstellung werden lediglich der *Marker für nahes Objekt*, eine *konvexe Linse* sowie eine *Leinwand* benötigt, welche im *optischen Raum* platziert werden. Bei der Linse ist es nützlich, die einfache und doppelte Brennweite über das Eigenschaften-Fenster anzeigen zu lassen. Die Leinwand kann dabei immer wieder an dem Ort platziert werden, an dem das Bild entsteht, um die Schärfe, Größe und Orientierung des Bilds zu erkennen. In Abbildung 30 ist dieser Aufbau dargestellt.



**Abb. 30:** Bildentstehung an der Sammellinse

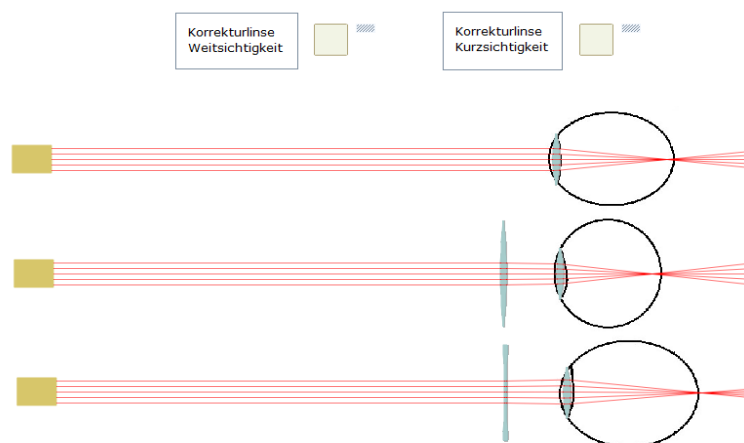
In Bezug auf den Unterricht kann mit diesem Aufbau untersucht werden, wie sich die Eigenschaften des Bilds bei unterschiedlichen Gegenstandsweiten und Gegenstandsgrößen ändert. Die Leinwand bietet hierfür ein hervorragendes Werkzeug. Ebenso kann über die strahlenoptische Konstruktion erläutert werden, welcher Unterschied zwischen virtuellen und reellen Bildern besteht und wie diese entstehen. Optional bietet sich auch die Betrachtung der Bilder von Zerstreuungslinsen an, indem man anstelle der konvexen Linse eine *konkave Linse* nutzt.



#### 4.3.5 Fehlsichtigkeit beim Auge

Aufgrund der unterschiedlichen Augenformen kann es zur Fehlsichtigkeit kommen. Bei kurzsichtigen Menschen ist das Auge in der Regel zu lang, sodass sich die Lichtstrahlen, die vom betrachteten Objekt ins Auge gelangen, vor der Netzhaut schneiden. Umgekehrt würden sie sich bei weitsichtigen Menschen hinter der Netzhaut schneiden, da das Auge zu kurz ist. Um dies zu korrigieren können bei Kurzsichtigkeit Zerstreuungslinsen und bei Weitsichtigkeit Sammellinsen als Brillengläser verwendet werden.

Wie in Abbildung 31 zu erkennen ist, wurde hierfür eine Abbildung von drei unterschiedlich geformten Augen eingefügt, indem das *Bild*-Objekt genutzt wurde. Anschließend werden drei *Strahlenquellen* eingefügt, die jeweils fünf parallele Lichtstrahlen erzeugen. Danach fügt man eine konvexe Linse ein, schiebt diese über das „gesunde Auge“ und verändert ihre Größe und Brennweite so, dass sich die Lichtstrahlen auf der Netzhaut schneiden. Damit alle drei Augenlinsen die gleichen Eigenschaften besitzen, wird die erste Sammellinse über einen Rechtsklick mit der Maus kopiert und zweimal eingefügt. Diese werden dann über die beiden anderen Augen platziert. Nun fügt man eine *konvexe* und eine *konkave Linse* als Korrekturlinsen ein. Diese müssen durch Variation der Brennweite so angepasst werden, dass sich die Lichtstrahlen jeweils auf der Netzhaut des zu kurzen bzw. zu langen Auges schneiden. Für die Korrekturlinse wurden zusätzlich noch entsprechende *Ablagen* eingefügt.



**Abb. 31:** Korrektur von Weit- und Kurzsichtigkeit

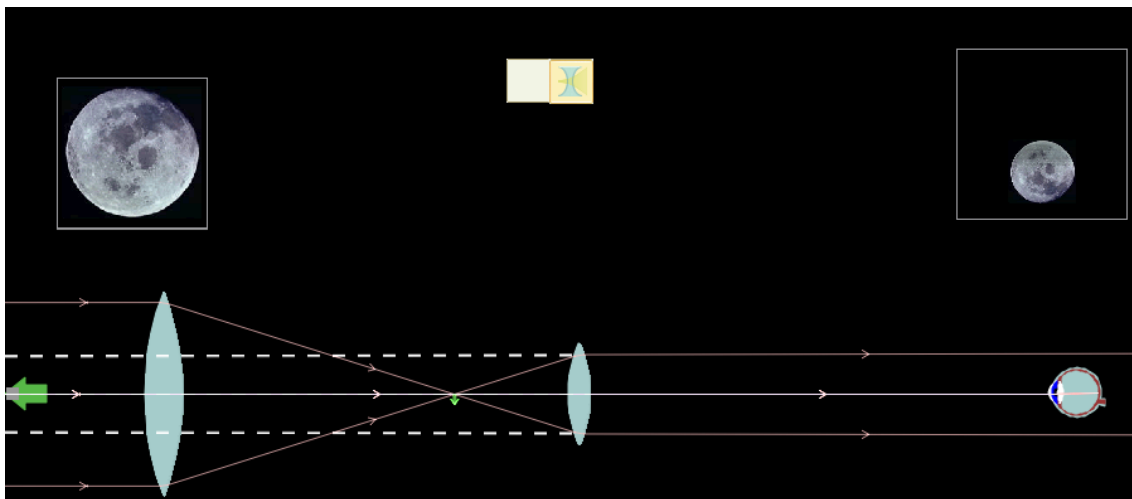
Mit Hilfe dieser Simulation können die Schülerinnen und Schüler mit den vorgegebenen Linsen schauen, wie sich die Position des Schnittpunkts der Lichtstrahlen ändert. Es ist allerdings auch eine sinnvolle Idee, ihnen keine vorgefertigten Linsen zur Verfügung zu

stellen, sondern sie relativ frei mit den standardmäßigen Linsen experimentieren zu lassen.

#### 4.3.6 Fernrohr

Ein astronomisches (Kepler-)Fernrohr besteht aus zwei hintereinander angeordneten Linsen. Die erste ist das Objektiv, das eine große Brennweite  $f$  besitzt. Die zweite ist das Okular, das eine kleinere Brennweite besitzt und wie eine Lupe funktioniert, durch die das entstandene Zwischenbild des fernen Objekts vergrößert wird. Dieses vergrößerte Bild entsteht dann letzten Endes auf der Netzhaut vom Auge des Betrachters.

Um ein solches Teleskop in Yenka Physik zu erstellen, nutzt man am besten den *Marker für fernes Objekt* in Kombination mit dem *Auge* und zwei *konvexen Linsen*. Diese werden in einem optischen Raum platziert. Für die eine Linse (Objektiv) wählt man eine große Brennweite, wodurch die Linse etwas größer ausfällt. Für die andere (Okular) wählt man entsprechend eine kleinere Brennweite. Diese werden zusammen mit dem Auge auf der optischen Achse platziert und so lange variiert, bis sich beim Auge ein vergrößertes Bild ergibt. (siehe Abbildung 32).



**Abb. 32:** Vergrößerung des Mondes durch Fernrohr

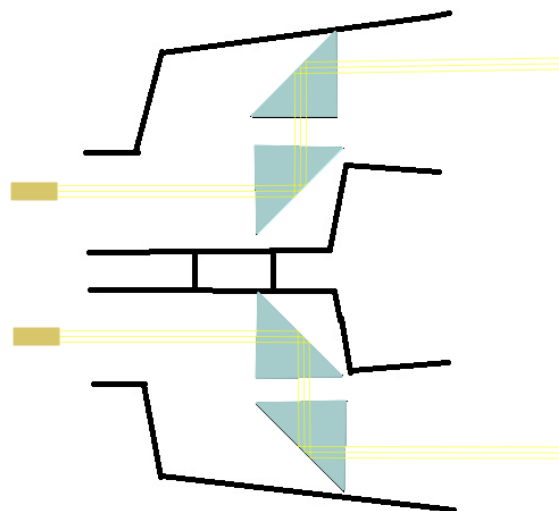
Hier ist es ratsam, das Objektiv vorzugeben, damit die Lernenden das Okular so lange verändern, bis sie die größtmögliche Vergrößerung des betrachteten Objekts bewirkt, sobald sie an der richtigen Stelle der Anordnung platziert wurde. In den vorgegebenen Aufbau kann aber auch sehr einfach eine *konkave Linse* als Okular eingefügt werden, sodass aus dem astronomischen Fernrohr ein terrestrisches (Galilei-) Fernrohr wird. Der

Vorteil dieses Fernrohrs liegt darin, dass es kürzer gebaut werden kann, da der Abstand vom Objektiv zum Okular geringer ist. Auch hiermit können die Schülerinnen und Schüler ausprobieren, bei welcher Brennweite sich die maximale Vergrößerung ergibt. Da man die Größe von Linsen nur verändern kann, während eine Simulation bearbeitet wird, ist es nötig, sie im „Bearbeiten-Modus“ experimentieren zu lassen. Hier fällt auch die Änderung der Brennweiten leichter.

#### 4.3.7 Totalreflexion

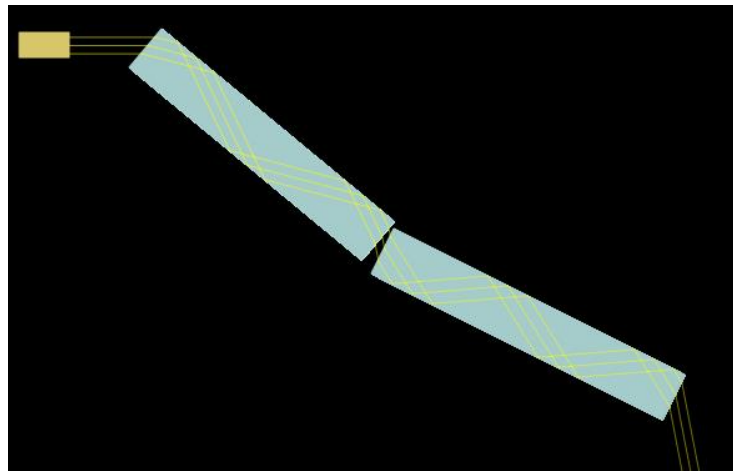
Die Totalreflexion ist ein interessantes Phänomen in der Optik. An der Grenzfläche von einem optisch dichteren zu einem optisch dünneren Medium kommt es bei Überschreitung eines bestimmten Grenzwinkels  $\alpha_G$  zur Totalreflexion. Ab diesem Winkel werden alle Lichtstrahlen an der Mediengrenze nahezu vollständig reflektiert, während die Strahlen bei kleineren Winkeln teilweise reflektiert und teilweise gebrochen werden. Der Grenzwinkel hängt dabei vom Verhältnis der Brechungsindizes der beiden Medien ab.

Mit Yenka Physik können einige Anwendungen der Totalreflexion erstellt werden. Eine etwas ältere Anwendung sind Ferngläser, bei denen Lichtstrahlen durch eine Anordnung aus rechtwinklig geformten Prismen aufgrund der Totalreflexion umgeleitet werden. Dabei richten die Prismen das zunächst spiegelverkehrte und auf dem Kopf stehende Bild richtig herum aus. Zur Vergrößerung des Bildes wird für beide Lichtwege jeweils ein Okular verwendet. Am Ende des Fernglases befindet sich jeweils ein Objektiv. Zur Vereinfachung werden in der Simulation nur die totalreflektierten Strahlen betrachtet (siehe Abbildung 33).



**Abb. 33:** Fernglas mit rechtwinklig geformten Prismen

Aber auch für die moderne Informationsübertragung wird die Totalreflexion genutzt. Über Glasfaserkabel können Informationen in Form von Lichtsignalen über lange Entfernungen nahezu verlustfrei übertragen werden. Leider gibt es in Yenka Physik nicht die Möglichkeit, gebogene Glasblöcke zu erstellen, deshalb können höchstens mehrere *durchsichtige Blöcke* hintereinander platziert werden, in denen Lichtstrahlen durch Totalreflexion von einem Ort zum anderen gelangen (siehe Abbildung 34).



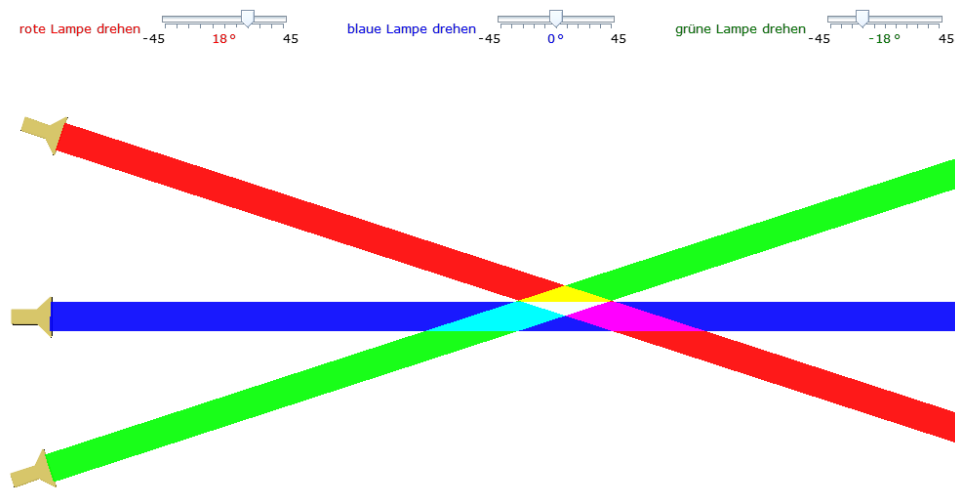
**Abb. 34:** Nachstellung eines Glasfaserkabels

Über verschiedene Phänomene und technische Anwendungen kann die Totalreflexion im Unterricht thematisiert werden. Dabei bieten insbesondere die durchsichtigen Objekte mit ihren unterschiedlichen Einstellungen hinsichtlich Material, Größe und Form eine große Spielwiese für Schülerinnen und Schüler, um selbstständig zu arbeiten.

#### **4.3.8 Additive Farbmischung**

Lichtbündel verschiedener Farben, die auf einen Hintergrund gerichtet sind, können so überlagert werden, dass sich additiv neue Mischfarben ergeben. Bei der additiven Farbmischung bestehen die Grundfarben aus rot, blau und grün. Bei der Überlagerung von rot und blau entsteht die Farbe Gelb, bei blau und grün entsteht Cyan und bei rot und blau wird die Farbe Magenta sichtbar. Überlagert man alle drei Grundfarben, so erscheint die Farbe Weiß. Eine wichtige technische Anwendung, bei der die additive Farbmischung genutzt wird, ist das Farbfernsehen bzw. allgemein die Farbentstehung bei Bildschirmen. Viele winzig kleine, dicht nebeneinander liegende Leuchtpunkte, die aus den Farben Rot, Blau und Grün bestehen, lassen auf Bildschirmen die verschiedenen Farbeindrücke beim

menschlichen Auge entstehen. In Abbildung 35 ist erkennbar, wie die additive Farbmischung in Yenka Physik realisiert werden kann.



**Abb. 35:** Additive Farbmischung mit drei verschiedenfarbigen Lampen

Die Erstellung dieser Simulation geht unkompliziert und schnell. Drei *parallele Strahlen* aus dem *Lichtquellen*-Ordner wurden in einem *optischen Raum* platziert. Über das *Eigenschaften-Fenster* wurden jeweils die Farben Rot, Blau und Grün eingestellt und die Breite der Lichtbündel wurde etwas erhöht. Mit drei Schiebern, die über den Lichtquellen platziert wurden, können die Leuchten insgesamt um einen Winkel von 90° gedreht werden, sodass sich deren Lichtbündel überlagern. Zusätzlich können die Leuchten aber auch an eine beliebige Position verschoben werden.

Über die Überlagerung der entsprechenden Farben können Schülerinnen und Schüler spielerisch und entdeckend ergründen, welche Mischfarben sich aus den entsprechenden Grundfarben ergeben. Jedoch sollte hierbei der Hinweis durch die Lehrperson erfolgen, dass die Farbe eines Lichtbündels in der Regel nur zu sehen ist, wenn es auf eine Oberfläche trifft. Die farbige Darstellung der Lichtbündel in Yenka Physik kann demnach die Fehlvorstellung verstärken, dass die Farbe eines Lichtbündels durchgängig von der Lichtquelle bis zum Auftreffen auf eine Oberfläche sichtbar ist.

## 5. Abschließendes Fazit

Es konnte durch diverse Beispiele gezeigt werden, dass Yenka Physik durchaus viele Möglichkeiten anbietet, um innerhalb einer simulierten Umgebung virtuell zu experimentieren.

Das Programm eignet sich besonders dazu, Schülerinnen und Schüler entweder mit einer Simulation arbeiten zu lassen, die von der Lehrperson selbst erstellt wurde, oder sie selbst eigene Simulationen erstellen zu lassen. Neben diesen Möglichkeiten sind bereits durch die Installation vorgefertigte Simulationen verfügbar, deren Anwendung dem Nutzer sehr kleinschrittig erläutert wird. Sicherlich ist es für Schülerinnen und Schüler sehr motivierend, am PC mit Simulationen zu arbeiten, allerdings sollte man dabei stets beachten, dass sie geeignete Instruktionen durch die Lehrperson bekommen, damit sie die Übersicht über die vielen Funktionen behalten und zielgerichtet arbeiten.

Die Erfahrungen mit Yenka Physik waren für mich sehr positiv, da ich mich schnell an die gut strukturierte Benutzeroberfläche gewöhnen konnte. Falls mir einzelne Funktionen unklar waren, half mir oft ein kurzes Ausprobieren dieser Funktionen, um diese zu verstehen. Generell eignet sich Yenka Physik sehr gut dazu, physikalische Zusammenhänge über visualisierte Abläufe für Schülerinnen und Schüler einfach und verständlich darzustellen. Gerade experimentierfreudige Personen, die gerne mit den verschiedensten Objekten herumspielen und Neues entdecken möchten, werden schnell einen Gefallen an diesem Programm finden. Durch die übersichtlich strukturierte Hilfe, die über den Startbildschirm erreichbar ist, finden sich aber auch unerfahrene Nutzer mit Yenka Physik schnell zurecht.

Allerdings ist eine Anschaffung von Yenka Physik mit hohen Kosten verbunden (vgl. Abschnitt 3.1), die meiner Meinung nach gerechtfertigt sind, wenn man die Kosten mit dem Nutzen des Programms vergleicht. Eine mögliche Alternative, die etwas kostengünstiger ist, besteht durch Algodoo.<sup>5</sup> Algodoo ist ebenso, wie Yenka Physik, ein Simulationsbaukasten. Der zentrale Unterschied besteht allerdings darin, dass man mit Hilfe von Zeichenwerkzeugen beliebig geformte Objekte zeichnen kann, deren Eigenschaften man anschließend verändern kann. Zu diesen Eigenschaften zählen beispielsweise die Dichte, Masse oder Elastizität. Zusätzlich werden auch Objekte wie Zahnräder, Seile oder Federn bereitgestellt, die man mit den gezeichneten Objekten

---

<sup>5</sup> Mehr Informationen unter: <http://www.algodoo.com/>

verbinden kann. Daher lässt Algodoo dem Nutzer einen sehr hohen kreativen Freiraum für seine eigenen Ideen.

Obwohl man mit Yenka Physik zu vielen Bereichen der Schulphysik geeignete Simulationen erstellen kann, bleiben andere Bereiche unberücksichtigt. Es finden sich zum Beispiel keine Objekte oder Werkzeuge, die für den Wärmelehre-Unterricht geeignet sind.

Insgesamt kann ich Yenka Physik allen Lehrerinnen und Lehrern und auch allen Lehramtsstudentinnen und –studenten empfehlen, die bereit sind, einen Simulationsbaukasten als sinnvolle Erweiterung für den Physikunterricht zu nutzen. Die große Vielfalt an Möglichkeiten, um geeignete Simulationen für den Mechanik-, Elektrizitätslehre- und Optik-Unterricht zu erstellen, bietet besonders in Kombination mit Realexperimenten die Chance, physikalische Zusammenhänge anschaulich und motivierend zu gestalten.

## 6. Literaturverzeichnis

- Algoryx: Algodoo by algoryx. URL: <http://www.algodoo.com/> [Stand: 25.10.16]
- Berger, V. (2006): *Mit dem Computer im Unterricht modellieren*. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.): Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II (S. 139 - 148). Berlin: Cornelsen Scriptor
- Crocodile Clips Ltd.: Lizenzen. URL: <http://www.yenka.com/de/Lizenzen/> [Stand: 08.10.16]
- Crocodile Clips Ltd.: Preise. URL: <http://www.yenka.com/de/Preise/> [Stand: 08.10.16]
- Crocodile Clips Ltd.: Yenka Physik mit Elektronik. URL: [http://www.yenka.com/de/Yenka\\_Physik\\_mit\\_Elektronik/](http://www.yenka.com/de/Yenka_Physik_mit_Elektronik/) [Stand: 08.10.16]
- Hessisches Kultusministerium: *Lehrplan Physik – Bildungsgang Hauptschule. Jahrgangsstufen 5 bis 10*. URL: <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/HKM/lphauptphysik.pdf> [Stand: 18.10.16]
- Hessisches Kultusministerium: *Lehrplan Physik – Bildungsgang Realschule. Jahrgangsstufen 5 bis 10*. URL: <https://kultusministerium.hessen.de/schule/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/lehrplaene/realschule> [Stand: 18.10.16]
- Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (2009): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin: Springer-Verlag. 2. Auflage
- Ludwig, J., Wilhelm, T. (2013): *Mathematisches Modellieren mit Modellus 4*. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 62, Nr. 2 (S. 30 - 36) URL: <http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/MathematischesModellieren.pdf> [Stand: 09.10.16]
- Mikelskis-Seifert, S. (2006): *Modellmethode als epistemologisches und didaktisches Konzept*. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.): Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II (S. 120 - 138). Berlin: Cornelsen Scriptor
- Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., Hein, A., Hupfer, M., Zobel, A. (2008): *Kompendium multimediales Lernen*. Berlin: Springer-Verlag



- Walter Fendt: *Physik*. URL: <http://www.walter-fendt.de/phys.htm> [Stand: 10.10.16]
- Wilhelm, T., Trefzger, T. (2010): *Erhebung zum Computereinsatz bei Physik-Gymnasiallehrern*. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Hannover. URL: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/109/119> [Stand: 09.10.16]
- Wilhelm, T., Zang, M. (2011): *Das Glitzern der Brillanten*. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 60, Nr. 8 (S. 12 – 17). URL: <http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Brillant.pdf> [Stand: 08.10.16]

## 7. Anhang

Die CD, die dieser Arbeit beigelegt wurde, beinhaltet alle in Kapitel 4 beschriebenen Simulationen, die mit dem Simulationsbaukasten Yenka Physik erstellt wurden. Auf der CD befindet sich ein Ordner mit der Bezeichnung *Yenka Physik Beispielsimulationen*, welcher wiederum die Unterordner *Elektrizitätslehre*, *Mechanik* und *Optik* enthält. In diesen Unterordnern finden sich die entsprechenden Simulations-Dateien zum Programm Yenka Physik.

Alle Dateinamen beginnen mit einer dreistelligen Zahl. Diese Zahl steht für den Abschnitt, indem diese Simulations-Datei beschrieben wird. So bedeutet zum Beispiel der Dateiname „411 Freier Fall“, dass es bei dieser Simulation um den freien Fall geht, der in Abschnitt 4.1.1 erläutert wurde.

Alle Dateinamen, die mit der Bezeichnung „\_fertig“ enden, sind Simulationen, die exemplarisch ein mögliches Ergebnis der Simulation zeigen. Alle anderen Dateien sind Simulationen, mit denen auch Schülerinnen und Schüler arbeiten können.

An dieser Stelle folgt nun eine Übersicht über die Inhalte der beigelegten CD:

### **Yenka Physik Beispielsimulationen (Ordner)**

#### **Elektrizitätslehre (Ordner)**

- 421 Ohmsches Gesetz
- 422 Reihenschaltungen mit Glühlampen
- 422 Reihenschaltungen
- 422 Reihenschaltungen\_fertig
- 423 Parallelschaltungen
- 424 Komplexere Schaltungen (Kirchhoffsche Gesetze)
- 425 Bewegter Leiter im Magnetfeld
- 425 Einfacher Generator
- 426 Windkraft zur Energiegewinnung

## **Mechanik (Ordner)**

- 411 Freier Fall
- 411 Senkrechter Wurf nach oben
- 411 Unabhängigkeitsprinzip
- 411 Waagerechter Wurf
- 412 Gleichförmige Bewegungen
- 413 Gleichmäßig beschleunigte Bewegungen mit schiefer Ebene
- 413 Gleichmäßig beschleunigte Bewegungen
- 414 Schiefe Ebene
- 415 Wechselwirkungsprinzip (Newtons drittes Gesetz)
- 416 Energieerhaltung Fadenpendel
- 416 Hookesches Gesetz

## **Optik (Ordner)**

- 431 Schattenräume
- 431 Schattenräume\_fertig
- 432 Reflexionsgesetz
- 432 Reflexionsgesetz\_fertig
- 433 Bildentstehung ebener Spiegel
- 434 Bildentstehung Sammellinse
- 435 Fehlsichtigkeit Auge
- 436 Fernrohr
- 436 Fernrohr\_fertig
- 437 Fernglas
- 437 Glasfaserkabel
- 438 Additive Farbmischung
- 439 Additive Farbmischung\_fertig

## **Danksagung**

Ich möchte allen dafür danken, die mich während meines Studiums tatkräftig unterstützt haben. Das gilt insbesondere für meine Familie, die mich auch in schwierigeren Zeiten vor allem mental auf meinem Weg unterstützt haben. An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meiner Schwester und meinem Vater bedanken, die diese Arbeit noch einmal zur Korrektur gelesen haben.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Wilhelm bedanken, der sich stets für meine Fragen Zeit nahm und mir wertvolle Ratschläge und Literaturempfehlungen für die Erstellung dieser Arbeit gab. Ohne seine Hilfe wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

## Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst,  
keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwendet und die Stellen,  
die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn  
nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

*(In die Versicherung sind gegebenenfalls auch Zeichnungen, Skizzen sowie bildliche  
und sonstige Darstellungen sowie Ton- und Datenträger einzuschließen.)*

---

Ort, Datum

---

Unterschrift