



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Lernprozesse zu Bewegungsdiagrammen mit einem
digitalen Lernobjekt fördern“

verfasst von / submitted by

Markus Rametsteiner

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 412

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde UF Physik

Betreut von / Supervisor:

Priv.-Doz. Dr. Hildegard Urban-Woldron

Kurzzusammenfassung

Das Konstruieren und Interpretieren von Graphen zählt zu den wichtigsten Fähigkeiten, die Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht lernen. Dennoch treten bei dem Zeichnen und Analysieren von Kinematik-Graphen oft Fehlvorstellungen auf. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde auf der Grundlage von fachdidaktischen und lerntheoretischen Überlegungen ein digitales, webbasiertes Lernspiel mit dem Titel Graph Sketching (aufrufbar unter www.graphsketching.at) zum Anfertigen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen entwickelt. Eine in einer NMS durchgeführte Studie mit einem Prä-, Post- und Follow Up-Test Design zeigt, dass das Lernspiel selbst auf sonst eher schwer zu begeisternde Schülerinnen und Schüler motivierend wirkt, Kinder mit einer guten Einstellung zum Physikunterricht aber mehr Spaß beim Spielen haben. Bezogen auf die Schulstufe wird das Serious Game vor allem in den zweiten Klassen positiv bewertet. Nach der Intervention mit Graph Sketching erreichen die an der Studie teilnehmenden Schülerinnen und Schüler vergleichbar viele Punkte auf vier ausgewählte Beispiele zu Bewegungsdiagrammen, wie laut Literaturwerten nach einem einführenden Kinematikunterricht erwartet werden können. Die häufig auftretende Schülervorstellung Slope / Height Confusion wird dabei nach dem Spielen weniger oft festgestellt als davor. Bezogen auf die Fehlvorstellung Graph as Picture Error kann dagegen keine Verringerung beobachtet werden.

Abstract

The construction and interpretation of graphs is one of the most important skills that students learn in physics lessons. Yet there are a lot of misconceptions concerning the creation and analysis of kinematics graphs. In the course of this diploma thesis, the digital, web-based learning game Graph Sketching (available at www.graphsketching.at) was developed. During gameplay, students need to draw motion diagrams in order to move a character through different levels. A study in an NMS shows that the learning game has a motivating effect on students who are otherwise rather difficult to inspire. Especially younger pupils in the second grade enjoy playing the game. After the intervention with Graph Sketching, the students participating in the study achieve the same number of points on four selected test items, as other studies report for pupils attending an introductory kinematics lesson. Also, the frequently occurring misconception Slope / Height Confusion is detected less often after playing the game. On the other hand, there is no apparent reduction of the misconception Graph as Picture Error.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Frau Dr. Hildegard Urban-Woldron, die mich mit viel Begeisterung und konstruktiver Kritik beim Verfassen dieser Diplomarbeit unterstützt hat! Ihr Engagement und ihre fachliche Kompetenz waren eine große Hilfe. Ebenso möchte ich mich auch bei den Schülerinnen und Schülern und ihren Lehrerinnen und Lehrern bedanken, die an der Studie teilgenommen haben.

Ein großer Dank gilt auch meinen Eltern und meiner Schwester, die mir das Studium ermöglicht und mich immer moralisch unterstützt haben!

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Bewegungsdiagramme in der Fachdidaktik.....	3
2.1.1	Generelles zu Schülervorstellungen	4
2.1.2	Schülervorstellungen zu Bewegungsdiagrammen	6
2.1.3	Testinstrumente	8
2.2	Digitale Lernspiele im Unterricht.....	9
2.2.1	Lerntheoretische Aspekte	11
2.2.2	Motivation	13
2.2.3	Effektives Lernspieldesign	18
3	Lernspiel: Graph Sketching	20
3.1	Beschreibung von Graph Sketching	20
3.2	Entwicklung des Lernspiels	23
3.2.1	Intentionen hinter dem Design	23
3.2.2	Testphase.....	26
4	Empirische Untersuchung.....	28
4.1	Design und Setting der Studie	28
4.2	Verwendete Testinstrumente.....	29
5	Darstellung der Ergebnisse	36
5.1	Ergebnisse des Prätests	36
5.2	Ergebnisse des Posttests.....	39
5.3	Ergebnisse des Follow Up-Tests.....	42
5.4	Spieldaten	44
6	Interpretation der Ergebnisse.....	46
6.1	Design des Lernspiels.....	46
6.2	Motivierende Wirkung des Lernspiels	49
6.3	Lernwirksamkeit des Lernspiels.....	50
7	Fazit und Ausblick	54
8	Literatur	56
9	Abbildungsverzeichnis	60
10	Tabellenverzeichnis	61
11	Diagrammverzeichnis.....	61
12	Anhang	I

1 Einleitung

Das Konstruieren und Interpretieren von Graphen zählt zu den wichtigsten Fähigkeiten, die Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht lernen (McDermott, Rosenquist & van Zee 1987). In der Sekundarstufe I wird dieses Thema vorwiegend im Kapitel Kinematik behandelt. Allerdings treten bei der Analyse und dem Anfertigen von Bewegungsdiagrammen vermehrt Verständnisschwierigkeiten und Fehlvorstellungen auf – vor allem wenn es darum geht, abstrakte mathematische Graphen in Beziehung zu realen Bewegungen zu setzen und umgekehrt (Beichner 1994; Leinhardt, Zaslavsky & Stein 1990). Die diesbezüglich am häufigsten festgestellten Schülervorstellungen sind nach Beichner (1994) das Interpretieren eines Graphen als eine direkte Abbildung des Bewegungsvorganges (Graph as Picture Error) und das Verwechseln der Konzepte von Höhe und Steigung (Slope / Height Confusion). Viele Autoren sehen in diesem Zusammenhang ein hohes Potenzial in dem Einsatz von computergestützten Messwerterfassungen, bei denen mithilfe von Bewegungssensoren Graphen in Echtzeit aufgenommen und schon während des Bewegungsvorganges angezeigt werden können (Urban-Woldron 2015). Nach einer Untersuchung von Beichner (1990) kommt der gleichzeitigen Darstellung von den Bewegungsabläufen eines Objekts und den entsprechenden Graphen dabei für sich betrachtet allerdings nur eine unwesentliche Bedeutung zu. Viel wichtiger scheint der Umstand zu sein, dass die Schülerinnen und Schüler das physikalische Geschehen zusätzlich auch selbst aktiv beeinflussen können.

Neben computergestützten Messwerterfassungen realer Bewegungen bieten auch digitale Medien die Möglichkeit, Bewegungsdiagramme und -vorgänge ohne großen Aufwand simultan anzuzeigen (Beichner 1990). Die Lernenden aktiv in das Geschehen miteinzubeziehen und den Bewegungsvorgang von ihnen kontrollieren zu lassen, gestaltet sich dagegen als schwieriger. Eine Möglichkeit dieser Anforderung nachzukommen, stellt die Entwicklung eines digitalen Serious Games dar. Dabei handelt es sich im weitesten Sinne um Spiele, „[...] die nicht allein auf Unterhaltung abzielen, sondern darüber hinaus andere Inhalte vermitteln sollen“ (Tolks 2009, S. 4). Befürworter sprechen dem Einsatz solcher Lernspiele im naturwissenschaftlichen Unterricht generell ein hohes Potenzial zu (Mayer 2014a). In diesem Zusammenhang wird zumeist auf die große motivationale Wirkung von kommerziellen Computerspielen verwiesen und die Hoffnung geäußert, dass sich dadurch auch Schülerinnen und Schüler mit einer negativen Einstellung zum Unterrichtsfach für die Thematik begeistern lassen (Petko 2008). Auch Kiili (2005) argumentiert, dass Spiele durchaus die Voraussetzungen für eine aktivierende Lernumgebung erfüllen können. Nach einer Zusammenfassung aktueller Metastudien zu diesem Thema von Hoblitz (2015) sind die Forschungsbefunde bezüglich der Effektivität von Serious Games bisher allerdings nicht eindeutig. Mayo (2009) schließt daraus, dass es sowohl schlecht als auch gut gestaltete Lernspiele gibt. Letztlich entscheidet also das Design digitaler Spiele und nicht das Medium an sich über ihre Lernwirksamkeit (Martinez-Garza, Clark & Nelson 2013).

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist es, ein auf didaktischen und lerntheoretischen Aspekten basierendes digitales Lernobjekt für die Sekundarstufe I zum Thema Bewegungsdiagramme in der Kinematik zu erstellen und dessen Effektivität im Unterricht zu überprüfen. Aus den obigen Ausführungen lassen sich die folgenden 4 Hypothesen zur Bewertung des so entwickelten Serious Games ableiten. Die Hypothesen 1 bis 3 befassen sich dabei mit dem Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler nach der Intervention mit dem Lernspiel, während sich die Hypothese 4 auf die motivationale Wirkung des Lernspiels bezieht:

1. Hypothese: Nach der Intervention mit dem Lernspiel werden bei einem aus ausgewählten Aufgaben zur Kinematik bestehenden Test mindestens gleich viele Punkte erreicht, wie aufgrund von Vergleichswerten aus der Literatur nach einem einführenden Kinematikunterricht erwartet werden können.
2. Hypothese: Die Häufigkeit der Schülervorstellung Graph as Picture Error ist nach der Intervention mit dem Lernspiel geringer als vorher.
3. Hypothese: Die Häufigkeit der Schülervorstellung Slope / Height Confusion ist nach der Intervention mit dem Lernspiel geringer als vorher.
4. Hypothese: Das Lernspiel wirkt auf die Schülerinnen und Schüler motivierend.

Der Aufbau der Diplomarbeit gliedert sich in drei Abschnitte: einen theoretischen Teil, die Beschreibung des entwickelten Lernspiels und einen empirischen Teil. Im theoretischen Teil wird auf Schülervorstellungen und auf entsprechende Testinstrumente eingegangen. Daneben wird auch kurz auf bisherige fachdidaktische Erkenntnisse zum Umgang mit Bewegungsdiagrammen verwiesen. Ein weiteres Kapitel befasst sich mit den lerntheoretischen Aspekten von digitalen Spielen und ihrem Einsatz im Unterricht. Dabei wird auch der für Lernspiele wichtige Aspekt der Motivation besprochen. Im darauffolgenden Abschnitt wird die Gestaltung des Lernspiels Graph Sketching mit Verweis auf die hinter den Entscheidungen stehenden Intentionen beschrieben. Der empirische Teil hat die Studie zur Wirksamkeit des entwickelten Lernspiels in den zweiten, dritten und vierten Klassen einer NMS zum Thema und gliedert sich in drei Kapitel. Im vierten Kapitel wird das Design der empirischen Untersuchung besprochen, wobei auch auf die verwendeten Testitems und die geplante Intervention mit dem Lernspiel eingegangen wird. Das fünfte Kapitel befasst sich mit der Auswertung der eingesetzten Prätests, Posttests und Follow Up-Tests und der Darstellung der erhobenen Daten. Diese werden im sechsten Kapitel hinsichtlich des Lernerfolgs der Schülerinnen und Schüler und der motivierenden Wirkung des Lernspiels mithilfe von statistischen Tests interpretiert und zur Überprüfung der zuvor aufgestellten Hypothesen herangezogen. Im abschließenden, siebten Kapitel werden die erhaltenen Ergebnisse nochmals zusammengefasst und Verbesserungsvorschläge für das Lernspiel sowie mögliche weiterführende Untersuchungen besprochen.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen, auf denen das entwickelte Lernspiel und die empirische Studie basieren, dargelegt. Dazu werden die beiden Themenblöcke Bewegungsdiagramme in der Fachdidaktik und der Einsatz von digitalen Spielen im Unterricht besprochen. Zuerst wird dabei auf Schülervorstellungen im Allgemeinen und beim Anfertigen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen eingegangen. Anschließend werden entsprechende Testinstrumente, mit denen diese erhoben werden können, vorgestellt. Der zweite Themenbereich widmet sich neben den lerntheoretischen Aspekten von digitalen Lernspielen und ihrer motivationalen Wirkung auch den bisherigen Forschungsbefunden und den sich daraus ergebenden Anforderungen an ein effektives Design von Serious Games.

2.1 Bewegungsdiagramme in der Fachdidaktik

Bewegungsdiagramme gehören zu der Gruppe der logischen Abbildungen (Schnotz 2011): Diese eignen sich unter anderem zur Visualisierung von großen Datenmengen und deren Beziehungen untereinander. Im Unterschied zu realistischen Bildern weisen Diagramme dabei aber keine optische Ähnlichkeit mit dem Gegenstand der Darstellung auf. Die wirklichen Verhältnisse werden also nicht direkt, sondern in einer hochgradig abstrakten und schematischen Form mit der Hilfe von Analogierelationen wiedergegeben. So entspricht in einem Balkendiagramm eine Entfernung auf dem Papier beispielsweise der Anzahl der an einer Studie teilnehmenden Testpersonen (Schnotz & Horz 2011). Eine Folge dieses hohen Abstraktionsgrades ist, dass der Umgang mit Diagrammen vor ihrem Einsatz erst erlernt werden muss (Schnotz 2011). Im Physikunterricht kommt logischen Abbildungen daher eine Doppelrolle zu: Sie dienen einerseits als Informationsquelle beim Lernen über physikalische Sachverhalte, andererseits sind sie aber auch selbst ein Lerngegenstand. Das Anfertigen und Interpretieren von Diagrammen wird im Kompetenzmodell der Naturwissenschaften (BIFIE 2011) folglich auch als eine der zentralen Handlungskompetenzen angeführt.

In der Physik werden die Relationen zwischen verschiedenen Größen meistens durch Liniengrafiken dargestellt, weswegen diese auch in der Schule häufig verwendet werden (Wiesner, Schecker & Hopf 2011). McDermott, Rosenquist & van Zee (1987) sehen in dem richtigen Umgang mit Graphen sogar eine der wichtigsten Fähigkeiten, die Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht lernen können. In der Kinematik treten Liniengrafiken in der Form von Bewegungsdiagrammen in Erscheinung. Diese werden zur Beschreibung von Bewegungsabläufen verwendet, wobei je nach aufgetragener kinematischer Eigenschaft zwischen Position-Zeit-Diagrammen, Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen und Beschleunigung-Zeit-Diagrammen unterschieden wird. In Übereinstimmung mit dem thematischen Umfang des entwickelten Lernspiels wird der Fokus der vorliegenden Arbeit auf die beiden ersteren gelegt. Durch die grafische Repräsentation der relevanten Größen und ihrer Veränderung mit der Zeit können zentrale Zusammenhänge und Konzepte aus der Kinematik besser visualisiert werden, als es mit einer Wertetabelle möglich wäre (Beichner 1994). Bisher durchgeführte Untersuchungen zeigen allerdings, dass Schülerinnen und Schüler selbst bei ausreichenden mathematischen Kenntnissen große Schwierigkeiten beim Interpretieren und Anfertigen von Bewegungsdiagrammen haben und wiederholt Fehlvorstellungen auftreten (McDermott, Rosenquist & van Zee 1987; Beichner 1994). Im Folgenden werden daher die für ein konzeptionelles Verständnis

von Kinematik-Graphen relevanten und damit auch für die Entwicklung des Lernspiels wichtigen Schülervorstellungen, Möglichkeiten zu deren Berücksichtigung im Unterricht und Testinstrumente zu ihrer Feststellung besprochen.

2.1.1 Generelles zu Schülervorstellungen

Schülerinnen und Schüler kommen nicht als unbeschriebene Blätter in den Unterricht, sondern bringen bereits Vorstellungen und Ideen über physikalische Phänomene, Begriffe und Prinzipien mit sich (Duit 2015; Wiesner, Schecker & Hopf 2011; Jung 1986). Obwohl diese vorunterrichtlichen Konzepte mit der wissenschaftlich richtigen Sicht oftmals nicht übereinstimmen, erweisen sie sich in vielen alltäglichen Situationen als hilfreich und sind daher tief in den Lernenden verankert (Jung 1986). Die im Alltag verwendete Sprache, aber auch der vorangegangene Unterricht kann zu einer Verstärkung von solchen Vorstellungen führen (Duit 2015; Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Dieses Vorwissen der Schülerinnen und Schüler ist für das Lernen von zentraler Bedeutung und muss von den Lehrpersonen berücksichtigt werden (Duit 2015): Denn neue Informationen lassen sich nur auf der Grundlage von bereits vorhandenem Wissen interpretieren. Nach dieser konstruktivistischen Sicht des Lernens verleihen Schülerinnen und Schüler dem Gehörten und dem Gesehenen erst durch einen Vergleich mit ihren bisherigen Vorstellungen eine Bedeutung. Diese weicht unter Umständen allerdings deutlich von der Intention der Lehrerinnen und Lehrer ab. Folglich kann ein passiver Transfer von Fakten von der Lehrperson in die Köpfe der Lernenden nicht funktionieren (Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Die Schülerinnen und Schüler müssen sich ihr Wissen vielmehr selbst konstruieren (siehe auch 2.2.1).

Einteilung von Schülervorstellungen

Für die schon vor dem Unterricht vorhandenen Vorstellungen von Lernenden finden sich in der Literatur verschiedene Bezeichnungen, die jeweils andere Aspekte betonen (Wilhelm 2005; Jung 1986): Der Begriff Alltagsvorstellungen verweist auf ihre Ursache, das Wort Schülervorstellungen stellt die Schule als Ort ihres Auftretens in den Vordergrund und der Terminus Fehlvorstellungen hebt den Unterschied zu der physikalisch richtigen Sicht hervor. Eine bessere Charakterisierung gelingt durch die Einteilung in spezifische und allgemeine Vorstellungen (Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Während sich erstere nur auf ein Themengebiet beziehen, haben letztere die Form von allgemeingültigen Prinzipien, die in vielen unterschiedlichen Bereichen angewandt werden. Brown (1993) betrachtet die Präkonzepte von Schülerinnen und Schülern auf verschiedenen Ebenen und nimmt dabei eine ähnliche, hierarchisch organisierte Kategorisierung in die vier Typen verbal-symbolisches Vorwissen, bewusste Modelle, implizite Modelle und intuitive Regeln vor:

- Verbal-symbolisches Vorwissen ist kontextspezifisch und tritt meistens in der Form von verallgemeinerten, häufig aus dem Alltag stammenden Phrasen auf. Zusammenhänge werden allerdings nur unpräzise formuliert und eine tiefergehende Begründung ist oft nicht möglich.
- Bewusste Modelle bezeichnen schematische Denkstrukturen mit einer inneren Logik, die wissentlich verwendet werden und sich auf ein bestimmtes Thema beziehen.
- Implizite Modelle sind dagegen unbewusste Annahmen, die den Erklärungen zugrunde liegen. Ebenso wie die vorhergehenden Typen von Vorstellungen sind sie kontextspezifisch.
- Intuitive Regeln bestehen aus verallgemeinerten Kausalitätszusammenhängen, die unbewusst und daher automatisch bei einer Vielzahl von unterschiedlichen Themenbereichen angewandt werden. Ein Beispiel ist die oft getroffene Annahme, dass eine Verdoppelung der Ursache auch immer zu einer doppelten Wirkung führt (Wodzinski 1996).

Intuitive Rules Theory

Tirosh & Stavy (1999) argumentieren, dass viele der in den naturwissenschaftlichen Fächern beschriebenen Schülervorstellungen auf einige wenige intuitive Regeln zurückgeführt werden können. Im Zusammenhang mit der Interpretation von Bewegungsdiagrammen sind die beiden intuitiven Regeln „*more amount of A – more amount of B*“ und „*same amount of A – same amount of B*“ relevant (Eshach 2014, S. 3). Bei diesen wird von einer meistens leicht festzustellenden Eigenschaft A auf eine andere, nicht so offensichtliche Eigenschaft B geschlossen, ohne dass es tatsächlich einen Zusammenhang zwischen den beiden geben muss (Tirosh & Stavy 1999): Werden zwei Objekte hinsichtlich B verglichen und es liegt ein deutlicher Unterschied in A vor, so wird auch von einem entsprechenden Unterschied in B ausgegangen. Stimmen die beiden Objekte dagegen in A überein, so wird auch auf eine gleichbleibende Ausprägung von B geschlossen. Anschauliche Beispiele für die fehlerhafte Anwendung dieser intuitiven Regeln finden sich in der Geometrie: Wird mit einem Stück Faden zuerst ein Kreis und danach ein Rechteck geformt, so gehen einige Kinder aufgrund des offensichtlich gleich großen Umfangs der Figuren auch von einem gleichbleibenden Flächeninhalt aus (Stavy & Tirosh 2000). Wird dagegen ein kleines Quadrat aus der Ecke eines Rechtecks herausgeschnitten, so geht nach der Ansicht mancher Schülerinnen und Schüler mit der Verringerung des Flächeninhalts auch eine Verringerung des Umfangs der Figur einher (Tirosh & Stavy 1999).

Umgang mit Schülervorstellungen

Das Vorwissen der Lernenden ist bekanntlich sehr robust gegen Veränderungen. Schülerinnen und Schüler halten vor allem an den zuvor beschriebenen allgemeinen Vorstellungen hartnäckig fest, da sich diese außerhalb des Unterrichts schon oft und in vielen verschiedenen Situationen bewährt haben (Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Gerade intuitive Regeln können aber für ein konzeptionelles Verständnis vieler physikalischer Themen ein Hindernis darstellen (Brown 1993). Damit es dennoch zu einem Konzeptwechsel kommen kann, müssen nach Posner, Strike, Hewson & Gertzog (1982; siehe auch Duit 2015) die folgenden vier Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Schülerinnen und Schüler müssen mit ihren bisherigen Vorstellungen unzufrieden sein. Kann mit den vorhandenen Konzepten ein Phänomen nicht erklärt oder ein Problem nicht gelöst werden, entstehen kognitive Anomalien. Wenn diese gehäuft auftreten und daher weniger radikale Lösungsansätze wie das Ignorieren der beobachteten Inkonsistenzen keine Option mehr darstellen, versuchen Lernende ihre Vorstellungen entsprechend zu verändern.
- Die neue Vorstellung muss logisch verständlich sein. Dafür müssen die Lernenden nicht nur die verwendeten Symbolsysteme kennen, sondern sie müssen auch in der Lage sein, schlüssige mentale Repräsentationen der Konzepte zu bilden.
- Die neue Vorstellung muss aus der Sicht der Schülerinnen und Schüler plausibel sein. Dazu sollte sie möglichst einfach in die bisherigen Theorien eingeordnet werden können. Außerdem müssen die Lernenden davon überzeugt werden, dass sich mit dem neuen Konzept bisher unlösbare Probleme bewältigen lassen und es dem alten daher überlegen ist.
- Für eine langanhaltende Veränderung muss das neue Konzept auch in zukünftigen Situationen erfolgreich anwendbar sein und zu neuen Entdeckungen und Erkenntnissen führen.

Jung (1986) beschreibt drei Möglichkeiten, wie erfolgreich mit Schülervorstellungen umgegangen werden kann: Anknüpfen, Umdeuten und Konfrontieren. Beim Anknüpfen baut der Unterricht auf möglichst unproblematischen Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler auf. Stark von der wissenschaftlichen Sicht abweichende Vorstellungen werden dabei so gut es geht vermieden. Beim

Umdeuten wird eine Fehlvorstellung der Lernenden dagegen in ein wissenschaftlich richtiges Konzept umgewandelt. Beispielsweise kann die bei vielen Kindern auftretende Annahme eines Stromverbrauchs im Sinne der Energieentwertung physikalisch richtig abgeändert werden (Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Da die Schülerinnen und Schüler bei den beiden bisher beschriebenen Taktiken ihre Vorstellungen nicht plötzlich radikal verändern müssen, spricht Duit (2015) auch von kontinuierlichen oder bruchlosen Übergängen. Die Konfrontationsstrategie basiert dagegen auf der Herbeiführung von einem kognitiven Konflikt (Duit 2015): Dabei wird den Lernenden die Unzulänglichkeit der eigenen Vorstellungen durch entsprechende Experimente oder Problemstellungen möglichst eindrucksvoll vor Augen geführt und anschließend für die überlegene, wissenschaftliche Sichtweise geworben.

2.1.2 Schülervorstellungen zu Bewegungsdiagrammen

In den letzten Jahrzehnten wurden mehrere Studien zu Schwierigkeiten und Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern bei dem Umgang mit Bewegungsdiagrammen durchgeführt. McDermott, Rosenquist & van Zee (1987) nehmen auf Grundlage ihrer Ergebnisse eine Einteilung in Probleme beim Herstellen von Zusammenhängen zwischen Graphen und physikalischen Konzepten und Probleme beim Verbinden von Bewegungsdiagrammen mit realen Abläufen vor (siehe Tabelle 2.1). Bei den ersteren geht es darum, die Eigenschaften von Bewegungsdiagrammen mit den entsprechenden kinematischen Größen in Beziehung zu setzen. So können beispielsweise Informationen über die eindimensionale Geschwindigkeit je nach vorliegendem Typ von Graph entweder aus der Höhe der eingezeichneten Linie (Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm), ihrer Steigung (Position-Zeit-Diagramm) oder der Fläche unter der Kurve (Beschleunigung-Zeit-Diagramm) gewonnen werden. Die Schwierigkeiten aus der zweiten Kategorie ergeben sich dagegen, wenn Aufgaben das Umdenken zwischen einer realen Bewegung und den entsprechenden Bewegungsdiagrammen erfordern.

Physikalische Konzepte	Reale Vorgänge
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterscheiden von Steigung und Höhe ▪ Interpretieren von Änderungen in Steigung und Höhe ▪ Umwandeln von verschiedenen Typen von Graphen ineinander ▪ Zuordnen wichtiger Elemente von Graphen zu Textpassagen ▪ Interpretieren von der Fläche unter der Linie eines Graphen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Darstellen einer Bewegung durch eine kontinuierliche Linie statt durch unverbundene Punkte ▪ Unterscheiden von der Trajektorie einer Bewegung und der Darstellung in Form von Bewegungsdiagrammen ▪ Einzeichnen von negativen Geschwindigkeiten in Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen ▪ Einzeichnen von konstanten Beschleunigungen in Beschleunigung-Zeit-Diagrammen ▪ Unterscheiden von verschiedenen Typen von Graphen

Tabelle 2.1. Schwierigkeiten beim Umgang mit Bewegungsdiagrammen, die mit physikalischen Konzepten (links) und realen Vorgängen (rechts) zusammenhängen. Daten von McDermott, Rosenquist & van Zee (1987).

Beichner (1994, S. 755) führt die zuvor beschriebenen Probleme auf sechs Fehlerquellen zurück: das Interpretieren von Graphen als eine direkte Abbildung des Bewegungsvorganges („Graph as Picture Errors“), das Gleichsetzen von Höhe und Steigung („Slope / Height Confusion“), die Verwechslung von kinematischen Größen („Variable Confusion“), das fehlerhafte Berechnen von Steigungen, wenn die entsprechenden Linien nicht durch den Ursprung des Koordinatensystems gehen („Nonorigin Slope Errors“), ein unzureichendes Wissen über die Bedeutung von der Fläche unter den Linien der Graphen („Area Ignorance“) und die Verwechslung von der Bedeutung von Höhe, Steigung und Fläche bei den

verschiedenen Typen von Bewegungsdiagrammen („Area / Slope / Height Confusion“). Nachfolgend werden die beiden erstgenannten Schülervorstellungen genauer beschrieben, da sie erstens am häufigsten auftreten (Beichner 1994) und zweitens auch für das entwickelte Lernspiel relevant sind.

Graph as Picture Error

Einige Schülerinnen und Schüler interpretieren Bewegungsdiagramme als eine bildliche Darstellung des tatsächlichen Bewegungsvorganges (Beichner 1994; McDermott, Rosenquist & van Zee 1987; Leinhardt, Zaslavsky & Stein 1990). Das in Abbildung 2.1 links zu sehende Position-Zeit-Diagramm wird in einem solchen Fall beispielsweise mit einer Reise über zwei Hügel in Verbindung gebracht – der Graph stellt in den Augen der Kinder also keine abstrakte Zuordnung von Positionswerten zu Zeitwerten dar, sondern wird als ein zweidimensionales Bild der zurückgelegten Wegstrecke gesehen (Beichner 1996). Diese Schülervorstellung tritt sowohl bei der Interpretation als auch bei der Anfertigung von Bewegungsdiagrammen auf und ist dabei nicht nur auf Position-Zeit-Diagramme beschränkt (Leinhardt, Zaslavsky & Stein 1990). Nach Eshach (2014) kann der Graph as Picture Error auf eine intuitive Regel zurückgeführt werden: Durch die optische Ähnlichkeit zwischen dem Graphen und dem Ablauf der Bewegung wird unbewusst das same A – same B Prinzip angewandt.

Clement (1989) unterscheidet zwischen einem globalen und einem lokalen Graph as Picture Error: Während bei ersterem, wie zuvor dargelegt, der gesamte Graph als ein direktes Abbild des Bewegungsvorganges interpretiert wird, werden bei letzterem nur einzelne Aspekte der Bewegung auf entsprechende Elemente des Bewegungsdiagramms übertragen. Überschneiden sich zum Beispiel in einem Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm die Kurven von zwei Autos, so gehen manche Schülerinnen und Schüler davon aus, dass sich zu dem entsprechenden Zeitpunkt auch die Bahnen der beiden Fahrzeuge kreuzen. Allerdings kann ein solcher Fehler ebenso aus einem unzureichenden konzeptionellen Verständnis von Position und Geschwindigkeit resultieren.

Slope / Height Confusion

Bei dieser Schülervorstellung wird die Steigung mit der Höhe der Linie gleichgesetzt (Beichner 1994). Ist bei einem vorliegenden Position-Zeit-Diagramm nach der höchsten Geschwindigkeit gefragt, so suchen viele Schülerinnen und Schüler folglich fälschlicherweise nach dem am höchsten liegenden Punkt (Beichner 1996; McDermott, Rosenquist & van Zee 1987). Ein Beispiel ist rechts in Abbildung 2.1 zu sehen: Nach der Interpretation einiger Kinder ist anfangs B schneller und nach der Kreuzung der beiden Linien A. Eshach (2014) führt diese Schülervorstellung auf die intuitive more A – more B Regel zurück: Der leicht zu erkennende Unterschied der beiden Linien in ihrer Höhe wird unbewusst und automatisch auf ihre Steigung übertragen.

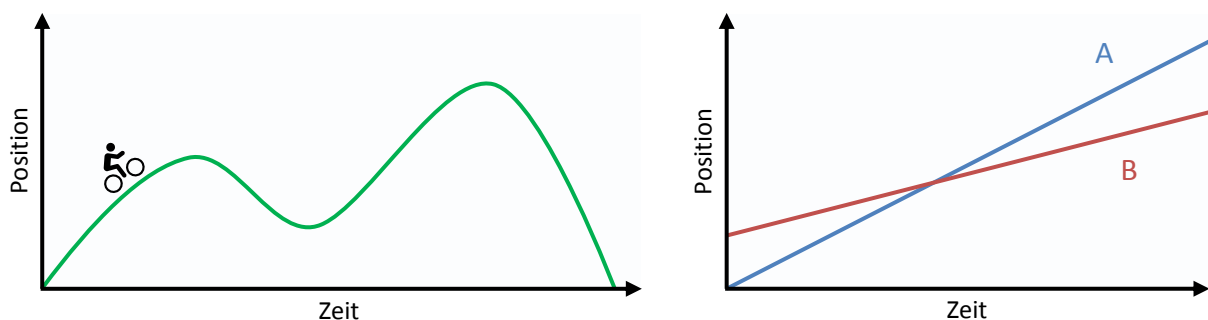


Abbildung 2.1. Beispiele zu den Schülervorstellungen "Graph as Picture Error" (links) und "Slope / Height Confusion" (rechts). Verändert nach und Wiesner, Schecker & Hopf (2011) und Beichner (1994).

Implikationen für den Unterricht

Die zuvor besprochenen Schülervorstellungen sind für ein konzeptionelles Verständnis der Kinematik hinderlich. Um ihnen entgegenzuwirken, werden mehrere Strategien vorgeschlagen. Beispielsweise sollen Schülerinnen und Schüler im Unterricht sowohl von realen Bewegungen auf entsprechende Graphen, als auch von vorgegebenen Diagrammen auf die dahinterstehenden Bewegungen schließen (Beichner 1994; McDermott, Rosenquist & van Zee 1987). Ebenso wichtig ist das Ineinander Umwandeln von verschiedenen Typen von Bewegungsdiagrammen (Beichner 1994).

Als erfolgreich haben sich in diesem Zusammenhang auch computergestützte Messwerterfassungen von realen Bewegungsabläufen erwiesen (Urban-Woldron 2015): Bei diesen werden mithilfe von Sensoren Graphen von Bewegungen aufgenommen und in Echtzeit dargestellt, wodurch die kinematischen Größen direkt mit den entsprechenden Eigenschaften der Bewegungsdiagramme in Verbindung gebracht werden können. Beichner (1996) argumentiert, dass durch die visuelle Überlagerung von Bewegungsabläufen und Graphen die zeitlich limitierten kognitiven Kapazitäten der Schülerinnen und Schüler zum Speichern von Informationen optimal ausgenutzt werden. Tatsächlich genügen nach einer Studie von Brasell (1987; zitiert von Beichner 1990) schon einige wenige Sekunden Verzögerung bei der Anzeige der Bewegungsdiagramme, um den erzielten Lerneffekt drastisch zu verringern. Allerdings ist die gleichzeitige Darstellung von realen Abläufen und entsprechenden Graphen nicht ausreichend (Beichner 1990): Die Lernenden müssen die Bewegungen auch selbst beeinflussen können und ein sofortiges visuelles und kinästhetisches Feedback auf die von ihnen vorgenommenen Änderungen erhalten.

2.1.3 Testinstrumente

In der fachdidaktischen Forschung werden zum Feststellen von Schülervorstellungen neben Interviews und schriftlichen Fragebögen mit offenen Antworten auch Multiple Choice Tests verwendet (Gurel, Eryilmaz & McDermott 2015). Letztere nehmen nur wenig Zeit in Anspruch und erlauben eine relativ einfache Auswertung. Allerdings ergeben sich durch das Testformat auch einige Nachteile: Die vorgegebenen Auswahlmöglichkeiten schränken die Schülerinnen und Schüler in ihren Antworten ein und bedingen gleichzeitig eine entsprechend hohe Ratewahrscheinlichkeit. Im Folgenden werden zwei für die durchgeführte Studie relevante Multiple Choice Tests zum Feststellen von Fehlvorstellungen in der Kinematik vorgestellt.

Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K)

Der von Beichner (1994) entwickelte Test of Understanding Graphs in Kinematics, kurz TUG-K, ist das am häufigsten eingesetzte Testinstrument zur Überprüfung von dem konzeptionellen Verständnis von Bewegungsdiagrammen (Zavala, Tejada, Barniol & Beichner 2017). In seiner Originalversion ist er für den Einsatz in der Sekundarstufe II konzipiert und besteht aus 21 einstufigen Multiple Choice Fragen, die sich mit der Interpretation von Kinematik-Graphen von eindimensionalen Bewegungen befassen. Dabei müssen je nach Aufgabe die Position, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die Änderung der Geschwindigkeit bestimmt, verschiedene Typen von Diagrammen ineinander umgewandelt oder beschriebene Bewegungsvorgänge mit den sie repräsentierenden Graphen verbunden werden. Pro Frage sind immer fünf Antwortmöglichkeiten vorgegeben, wobei sich die meisten Distraktoren an bekannten Fehlvorstellungen wie dem Graph as Picture Error oder der Slope

/ Height Confusion orientieren (Beichner 1994). Die finale Version des Tests wurde in Highschools und Colleges nach einem einführenden Kinematikunterricht von insgesamt 524 Personen bearbeitet. Diese konnten durchschnittlich 8,5 Punkte, sprich rund 40 %, von den 21 möglichen Punkten erreichen.

Seit 1994 wurde der Test of Understanding Graphs in Kinematics mehrmals leicht verändert und weiterentwickelt. In der aktuellen Version 4.0 von Zavala, Tejeda, Barniol & Beichner (2017) wurden vier alte Testitems entfernt, neun neue Fragen hinzugefügt und einige der bisherigen Distraktoren überarbeitet. Mehrere andere Testinstrumente basieren zu großen Teilen auf den Fragen von Beichner (1994). Ein Beispiel ist der von Aydin (2007) entwickelte Kinematics Graphs Three Tier Test, kurz KGTTT. Durch das dreistufige Testdesign, bei dem die Schülerinnen und Schüler ihre angekreuzten Antworten auch begründen müssen, wird die Ratewahrscheinlichkeit deutlich reduziert. Außerdem können falsch positive (richtige Antwort bei falscher Begründung) und falsch negative (falsche Antwort trotz richtiger Begründung) Antworten erkannt werden (Gurel, Eryilmaz & Mcdermott 2015). Allerdings liegt der Kinematics Graphs Three Tier Test nur in türkischer Sprache vor, weswegen er in der empirischen Untersuchung dieser Arbeit nicht verwendet werden kann.

Kinematics Concept Test (KCT)

Der Kinematics Concept Test, kurz KCT, von Lichtenberger et al. (2017) ist ebenfalls für den Einsatz in der Sekundarstufe II bestimmt und besteht aus 49 einstufigen Multiple Choice Fragen mit jeweils vier bis sechs Antwortmöglichkeiten. Die Distraktoren basieren wieder auf bekannten Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern. Im Unterschied zu dem zuvor besprochenen Test of Understanding Graphs in Kinematics werden neben Bewegungsdiagrammen aber auch andere Repräsentationsformen wie Tabellen und bildliche Darstellungen verwendet. Der Kinematics Concept Test überprüft sieben wichtige Konzepte aus der Kinematik: die Geschwindigkeit als Änderungsrate der Position und als eindimensionaler Vektor, das Addieren von Geschwindigkeiten in zwei Dimensionen, die Wegstrecke als Fläche unter der Geschwindigkeit-Zeit-Kurve, die Beschleunigung als Änderungsrate der Geschwindigkeit und als eindimensionaler Vektor und die Änderung der Geschwindigkeit als Fläche unter der Beschleunigung-Zeit-Kurve. Die finale Version 5.0 des Testinstruments wurde nach einem einführenden Kinematikunterricht von 338 Schweizer Gymnasiastinnen und Gymnasiasten mit einem durchschnittlichen Alter von 15,4 Jahren getestet. Im Mittel konnten diese 27,8 von den 49 möglichen Punkten erreichen.

2.2 Digitale Lernspiele im Unterricht

Digitale Lernspiele stellen ein Medium dar und fallen somit in den Bereich der Mediendidaktik. Im weitesten Sinne werden Medien im Unterricht verwendet, um Inhalte zu vermitteln und damit das Lehren und Lernen zu unterstützen (Girwidz 2015a; Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Sie dienen dabei allerdings nicht nur als sachliche Informationsquelle, sondern werden unter anderem auch zur Motivierung, zur Veranschaulichung, zur Kontrolle und als eine Hilfe beim Geben von Feedback eingesetzt (Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Eine Möglichkeit Medien einzuteilen, stellt die Art des Symbolsystems dar, in welchem die Inhalte dargeboten werden. Typische Beispiele dafür sind bildliche Darstellungen und Texte. Basierend auf dem Informationskanal, mit dem die Verarbeitung erfolgt, kann auch zwischen visuellen, auditiven und haptischen Medien unterschieden werden. Die Einteilung in klassische Medien, wie beispielsweise die Wandtafel, Arbeitsblätter oder Schulbücher, und digitale

Medien, zu denen Computerspiele zu zählen sind, stützt sich dagegen auf technische Aspekte (Wiesner, Schecker & Hopf 2011).

Computerspiele heben sich in einigen Punkten von anderen digitalen Medien hervor. Laut Vogel et al. (2006) sind die kennzeichnenden Merkmale eines Spiels, dass es Ziele hat, interaktiv ist und den Spielenden ein Feedback gibt. Ähnliche Charakteristika finden sich auch in der Definition von Mayer (2014a). Nach dieser handelt es sich bei Computerspielen um interaktive, simulierte Systeme, welche die folgenden fünf charakterisierenden Eigenschaften aufweisen (Mayer 2014a):

- Spiele basieren auf Regeln: Die Grundlage eines jeden Spiels ist ein System aus kausalen Regeln, die von der Spielerin oder dem Spieler erlernt werden können.
- Spiele sind responsiv: Auf die Handlungen der Spielenden folgt eine zeitnahe und klare Reaktion, beispielsweise in Form von einem Feedback oder der Möglichkeit zur Wiederholung eines Spielteils.
- Spiele sind herausfordernd: Spiele sind weder zu schwer noch zu leicht und bieten den Spielenden damit die Möglichkeit, eine für sie anspruchsvolle Aufgabe erfolgreich zu meistern. Mit diesem Aspekt in Verbindung stehende Spielelemente sind unter anderem vorgegebene Ziele und Level.
- Spiele sind kumulativ: Die vorhergehenden Handlungen der Spielenden fließen in die Spielwelt ein, sodass der Spielfortschritt ersichtlich ist. So werden zum Beispiel das momentane Level oder die bisher erreichten Punkte klar ersichtlich angezeigt.
- Spiele sind einladend: Die Spielumgebung ist interessant gestaltet, ansprechend und macht Spaß. Entsprechende Spielelemente sind ein visuell ästhetisches Design oder die während des Spielens erzählte Geschichte (Story).

Die ersten Punkte der beiden Definitionen machen bereits deutlich, dass bei Spielen Lernprozesse stattfinden: Denn um das Ziel des Spiels zu erreichen, müssen die entsprechenden Spielregeln gelernt werden (Hoblitz 2015). Lernspiele unterscheiden sich von unterhaltungsbasierten Computerspielen allerdings durch die Intention, in erster Linie das Lernen in einem schulischen oder akademischen Kontext zu fördern. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang oft der Begriff Serious Games verwendet (Hoblitz 2015; Tolks 2009). Im Unterschied zu Edutainment-Angeboten, bei denen die spielerischen Elemente meist als Belohnung für das Lernen vorgesehen sind, ist der Lerninhalt bei Serious Games ein Bestandteil des Spiels selbst (Egenfeldt-Nielsen 2007).

Verfechter von digitalen Lernspielen gehen generell von einer großen Effektivität von Serious Games aus und sehen in ihnen die Möglichkeit für eine revolutionäre Erneuerung und Verbesserung des Unterrichts (Mayer 2014a). Begründet wird dies unter anderem mit dem hohen Motivationspotenzial von kommerziellen Computerspielen (Mayer 2016). Die bisher vorliegenden Forschungsbefunde sind allerdings nicht eindeutig: Bei einer Zusammenfassung von acht Metastudien aus den letzten 20 Jahren kommt Hoblitz (2015) zu dem Schluss, dass bisher weder die Effektivität, noch die motivationale Wirkung von Serious Games ohne Zweifel nachgewiesen werden konnten. Digitale Lernspiele sollten deswegen aber nicht generell als wirkungslos betrachtet werden. Die Daten deuten nach Mayo (2009) darauf hin, dass es sowohl schlecht als auch gut gestaltete Lernspiele gibt. Ausschlaggebend für die Lernwirksamkeit ist demnach das Design der Spiele und nicht das Medium an sich (Martinez-Garza, Clark & Nelson 2013). Laut Mayer (2014a) muss der Gestaltung eines effektiven Lernspiels deshalb ein wissenschaftliches Verständnis von Lernen und Motivation zugrunde liegen. Im Folgenden wird auf diese Punkte eingegangen.

2.2.1 Lerntheoretische Aspekte

Der Einsatz von digitalen Medien wie Computerspielen ist kein Garant für einen Lernerfolg. Damit sie effektiv genutzt werden können, müssen ihre Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten bekannt sein (Wiesner, Schecker & Hopf 2011). Bryan (2006) plädiert generell dafür, neue Technologien im naturwissenschaftlichen Unterricht nur dann zu verwenden, wenn dadurch ein Mehrwert gegenüber den traditionellen Vorgehensweisen entsteht. Die Vorteile von digitalen Medien werden dabei vor allem in Multimediaanwendungen gesehen (Girwidz 2015c): Im Sinne der Multicodierung erlauben diese die gleichzeitige Darstellung von beispielsweise Bildern, Animationen und Texten. Darüber hinaus bieten sie die Möglichkeit der Multimodalität – es können also mehrere Sinnesbereiche simultan angesprochen werden. Im Vergleich mit klassischen Hilfsmitteln ist auch die weitaus höhere Interaktivität hervorzuheben: Schülerinnen und Schülern wird es dadurch im Idealfall ermöglicht, aktiv an den Lernprozessen teilzunehmen (Girwidz 2015b).

Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens

Mayer (2014a) beschreibt eine Lerntheorie, die die Möglichkeiten von Multimediaanwendungen berücksichtigt und damit für das Lernen mit digitalen Spielen besonders relevant ist: die kognitive Theorie des multimedialen Lernens. Diese beruht auf drei zentralen Annahmen über das menschliche Informationsverarbeitungssystem (Mayer 2005; Girwidz 2015b):

- Zwei Kanäle zur Informationsverarbeitung: Menschen besitzen zwei unterschiedliche Kanäle für die Aufnahme und Verarbeitung von Information – den visuellen oder bildbasierten und den auditiven oder sprachbasierten Kanal. Wird Information mit den Augen aufgenommen, so beginnt die mentale Verarbeitung in ersterem. Dies ist beispielsweise bei Bildern, geschriebenen Texten oder Animationen der Fall. Information, die über den Hörsinn in das Verarbeitungssystem gelangt, wird dagegen vorerst im auditiven Kanal aufbereitet.
- Begrenzte Kapazität: In den beiden Kanälen können nicht beliebig viele Informationen gleichzeitig verarbeitet werden. Daraus ergibt sich, dass die Fülle an Sinneseindrücken reduziert werden muss.
- Aktive Verarbeitung: Um dem Gesehenen und Gehörten einen Sinn zu geben, wird die Information aktiv verarbeitet. Dabei werden die eingehenden Informationen hinsichtlich ihrer Nützlichkeit selektiert, in Wissensstrukturen organisiert und mit bereits vorhandenem Wissen verknüpft. Es wird also gelernt.

In der folgenden Abbildung 2.2 ist der Vorgang des multimedialen Lernens nach Mayer (2005, 2014a) schematisch dargestellt. Dabei wird zwischen drei kognitiven Speichern unterschieden: dem sensorischen Gedächtnis, dem Arbeitsgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis. Die für das Lernen mit Multimediaanwendungen relevanten kognitiven Prozesse des Selektierens, Organisierens und Integrierens werden durch Pfeile symbolisiert. Spielt eine Person beispielsweise ein digitales Lernspiel, so wird im grün gekennzeichneten bildbasierten Kanal eine exakte sensorische Repräsentation des Gesehenen (Bilder, Animationen, aber auch geschriebener Text) in das visuelle sensorische Gedächtnis übermittelt. Analoges geschieht auch im blau dargestellten sprachbasierten Kanal mit gehörten Worten oder Soundeffekten. Das sensorische Gedächtnis kann dabei potenziell unendlich viel Information aufnehmen. Allerdings wird diese nur für eine sehr kurze Zeit gespeichert und geht ohne eine aktive Verarbeitung schnell wieder verloren. In einem ersten Schritt wird die Information danach in das Arbeitsgedächtnis überführt. Dieses ist in seiner Kapazität beschränkt und limitiert damit die mögliche Informationsverarbeitung. Folglich müssen aus der Fülle an eingehender Information relevante Sinneseindrücke herausgefiltert werden: Im visuellen Kanal werden etwa Teile von Bildern

selektiert, im auditiven einzelne Worte. Durch kognitive Prozesse (beispielsweise das mentale Umwandeln von dem Bild eines Hundes in das gesprochene Wort „Hund“ oder umgekehrt) kann im Arbeitsgedächtnis auch ein Austausch zwischen dem bildbasierten und dem sprachbasierten Kanal stattfinden. Die so aufgenommenen Worte und Bilder werden daraufhin getrennt voneinander organisiert, sodass für die Lernende oder den Lernenden möglichst schlüssige verbale und bildhafte Repräsentationen entstehen. Dabei kann es sich beispielsweise um einfache Kausalitäten oder Vergleichsstrukturen handeln. Danach werden das verbale und das bildhafte Modell zusammengeführt, vernetzt und in bereits vorhandenes Vorwissen integriert. In einem letzten, in der Abbildung 2.2 nicht dargestellten Schritt wird das so entwickelte Wissen in das als unbegrenzt angenommene Langzeitgedächtnis überführt und dort gespeichert, sodass es bei Bedarf in Zukunft wieder abgerufen werden kann.

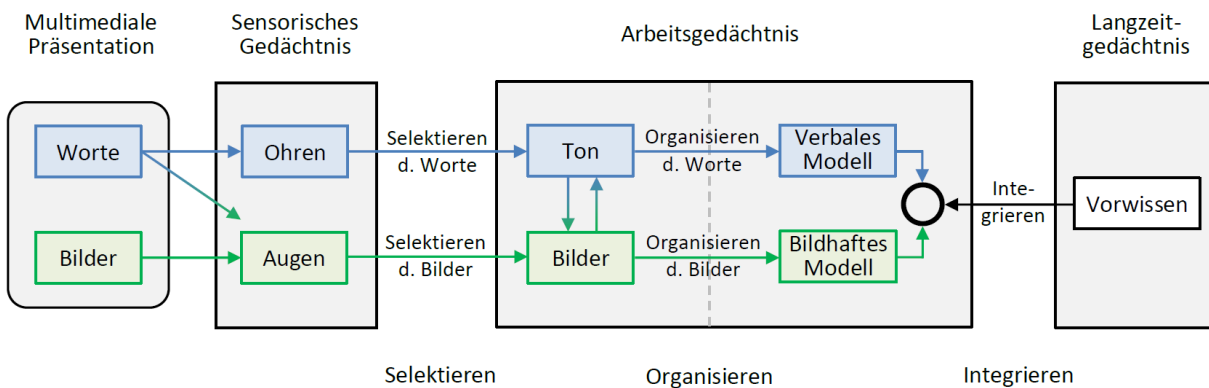


Abbildung 2.2. Modell des multimedialen Lernens. Der auditive Kanal zur Informationsverarbeitung ist blau gekennzeichnet, der visuelle Kanal grün. Verändert nach Mayer (2005, 2014a).

Die Theorie der kognitiven Belastung

Die dem obigen Modell zugrunde liegende Annahme von einer begrenzten Kapazität zur Verarbeitung von Information hat weitreichende Folgen: Für die zum Wissenserwerb notwendigen Vorgänge des aktiven Selektierens, Organisierens und Integrierens stehen den Lernenden in jedem der beiden Kanäle nur stark limitierte kognitive Ressourcen zur Verfügung. Diese können bei der Auseinandersetzung mit Multimediaanwendungen von drei für das Lernen unterschiedlich wichtigen Prozessen beansprucht werden (Mayer 2014a; Clark & Mayer 2016):

- **Äußere oder irrelevante Prozesse:** Diese Prozesse sind durch die Gestaltung des Lernmaterials bedingt und stehen mit dem intendierten Lehrziel nicht in direktem Zusammenhang. So können bei einem Lernspiel beispielsweise Soundeffekte, auffällige Grafiken und ein rasanter Spielverlauf das kognitive System belasten und vom eigentlichen Thema ablenken.
- **Essentielle Prozesse:** Die essentiellen Prozesse ergeben sich aus der inhaltlichen Komplexität des Themas selbst und beinhalten das Selektieren und mentale Organisieren der für das Lernen relevanten Information. Je anspruchsvoller ein Sachverhalt ist, desto höher ist auch die dadurch bedingte Belastung des kognitiven Systems.
- **Generative Prozesse:** Dabei handelt es sich um Prozesse, die auf das tiefere Verstehen des intendierten Lerninhaltes abzielen. Dazu zählen das Umstrukturieren der Information und die Integration der so gebildeten Wissensstrukturen in das bereits vorhandene Vorwissen. Generative Prozesse können durch motivierende Elemente, die die Lernenden dazu bringen sich mit dem Thema aktiv zu befassen und es verstehen zu wollen, gefördert werden.

Es ergeben sich demnach drei mögliche unverwünschte Szenarien (Mayer 2014a; Clark & Mayer 2016): Werden zu viele mentale Ressourcen zum Verarbeiten von äußeren, irrelevanten Prozessen verwendet, bleiben in Folge keine kognitiven Kapazitäten mehr für das Lernen übrig. Ist der akademische Sachverhalt zu anspruchsvoll, kann allerdings auch bei reduzierten Ablenkungen kein tiefergehendes Verstehen erfolgen. Selbst bei einem nicht zu komplexen Inhalt und wenigen irrelevanten Prozessen kann eine geringe Motivation noch immer dazu führen, dass sich die Schülerinnen und Schüler nicht aktiv mit dem Thema auseinandersetzen und es somit zu keinem echten Lernen kommt. Mayer (2014a, S. 60) fasst die daraus ableitbaren Implikationen für die Entwicklung von digitalen Lernspielen wie folgt zusammen: *„Overall, the challenge of designing games for learning is to reduce distracting features (and thereby reduce extraneous processing), hone motivating features (and thereby foster generative processing), and present academic content in ways that manage essential processing.“*

2.2.2 Motivation

Mayers zuvor vorgestellte kognitive Theorie des multimedialen Lernens wird unter anderem von Astleitner & Wiesner (2004) aufgrund der zu geringen Berücksichtigung von motivationalen Aspekten kritisiert. Gerade diese nehmen aber bei Computerspielen eine zentrale Stellung ein (Mayer 2016). Nach der kognitiv-affektiven Theorie des Lernens mit Medien von Moreno (2005) wirkt sich die Motivation der Schülerinnen und Schüler dabei auf die wichtigen mentalen Aktivitäten des Selektierens, Organisierens und Integrierens aus. Dieses Kapitel befasst sich daher mit theoretischen Überlegungen zur Motivation und ihrer Rolle bei Spielen.

Laut Mayer (2008, S. 494) ist Motivation *„[...] an internal state that initiates and maintains goal-directed behavior“*. Ist jemand motiviert, so hat er also ein Ziel vor Augen, leitet entsprechende Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels ein und sorgt (selbst bei damit einhergehender Anstrengung) für deren Aufrechterhaltung. Motivation kann daher als persönlich, zielgerichtet, aktivierend und energetisierend charakterisiert werden (Mayer 2008). Alle diese Merkmale treffen auch auf Menschen zu, die intensiv und vertieft ein Computerspiel spielen (Mayer 2014a).

Rheinberg & Vollmeyer (2012, S. 15) bezeichnen Motivation als eine *„[...] aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzugs auf einen positiv bewerteten Zielzustand“*. Diese oft zitierte Definition stimmt mit jener von Mayer (2008) weitgehend überein. Sie weist aber zusätzlich noch explizit darauf hin, dass der angestrebte Zustand positiv bewertet wird. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass eine solche Situation auch durch das Vermeiden von negativen Konsequenzen erreicht werden kann (Niegemann 2008).

Wie aus den beiden obigen Definitionen hervorgeht, ist Motivation nicht direkt wahrnehmbar (Rheinberg & Vollmeyer 2012). Es handelt sich bei ihr um ein Konstrukt, mit dem das Verhalten von Menschen in Hinblick auf die Zielrichtung, Ausdauer und Intensität ihrer Handlungen erklärt wird (Schiefele & Schaffner 2015). Damit hat sie gerade für das Lernen einen wichtigen Stellenwert: Denn ob, wie lange und wie angestrengt sich jemand mit einer Sache beschäftigt, hängt von ebendiesen Merkmalen ab. Darüber hinaus ermöglichen motivierte Schülerinnen und Schüler auch einen konfliktfreieren, reibungsloseren und damit effizienteren Unterricht (Schiefele & Schaffner 2015).

Intrinsische und extrinsische Motivation

In Hinblick auf ihre Ursachen wird zwischen der intrinsischen und der extrinsischen Motivation unterschieden: Während intrinsisch motivierte Handlungen um ihrer selbst willen durchgeführt werden, beruht die extrinsische Motivation auf äußeren Faktoren, die mit der Tätigkeit an sich nicht direkt zu tun haben. Zu diesen zählen unter anderem externe Belohnungen und Bestrafungen, aber auch soziale Anerkennung (Brandstätter, Schüler, Puca & Lozo 2013). Das angestrebte Ziel liegt also im Fall der intrinsischen Motivation in dem Vollzug der positiv bewerteten Handlung („Ich lerne, weil mir das Lernen Spaß macht“) und bei der extrinsischen Motivation in den sich aus dem Handeln ergebenden Konsequenzen („Ich lerne, um eine gute Note zu bekommen“ oder „Ich lerne, damit mich meine Eltern nicht tadeln“) (Schiefele & Schaffner 2015). Die intrinsische Motivation kann noch weiter unterteilt werden: Wird eine Tätigkeit aufgrund des mit ihr verbundenen Themas als ansprechend erlebt, so handelt es sich um eine gegenstandszentrierte Motivation oder Interesse. Ist dagegen die Art der Handlung ausschlaggebend, spricht man von einer tätigkeitszentrierten Motivation (Rheinberg 2010).

In der Selbstbestimmungstheorie von Ryan & Deci (2000a) ist der zentrale Aspekt die Frage, woher der Anreiz für das eigene Verhalten kommt. Stammt er von einem selbst oder rührt er von anderen Personen beziehungsweise äußeren Zwängen her? Basierend auf dieser Unterscheidung kann die extrinsische Motivation in vier Unterformen eingeteilt werden (Brandstätter, Schüler, Puca & Lozo 2013): Die externale und die introjizierte Regulation werden dabei als fremdbestimmt erlebt – bei ersterer handelt man nur aufgrund von äußeren Belohnungen oder Bestrafungen, bei letzterer wegen innerem Druck. Im Fall einer identifizierten oder integrierten Regulation geht der Anstoß für eine Tätigkeit dagegen von einem selbst aus – das Ziel der Handlung stimmt mit den eigenen Werten überein. Am Ende der Skala steht die bereits besprochene intrinsische Motivation, bei der die Tätigkeit selbst positiv bewertet wird (siehe Abbildung 2.3).

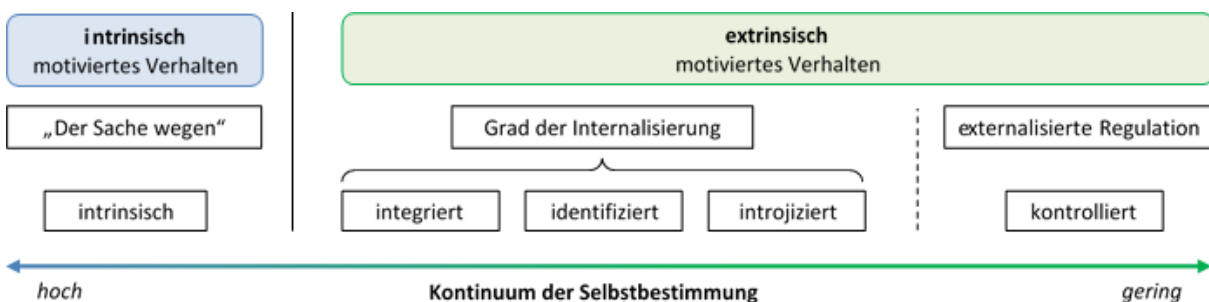


Abbildung 2.3. Formen der Motivationsregulation entlang des Kontinuums der Selbstbestimmung. Die intrinsische Motivation ist blau dargestellt, die extrinsische grün. Verändert nach Brandstätter, Schüler, Puca & Lozo (2013).

Ein hoher Grad an Selbstbestimmung wird von Ryan & Deci (2000a) mit erwünschten Effekten in Zusammenhang gebracht und gilt daher als erstrebenswert. Laut Rabe (2010) deuten auch die bisherigen Forschungsergebnisse darauf hin, dass intrinsische Motivation zu einem besseren Lernerfolg führt. Allerdings sollten äußere Anreize deswegen nicht nur negativ betrachtet werden (Gebhard, Höttecke & Rehm 2017). Denn auch vorerst extrinsisch motivierte Handlungen können durch den Prozess der Internalisierung in selbstbestimmte Tätigkeiten überführt werden (Ryan & Deci 2000b). Die folgenden Punkte beschäftigen sich mit der Frage, warum und wie Computerspiele das Auftreten von intrinsischer Motivation begünstigen können.

Player Experience of Need Satisfaction (PENS)

Ryan & Deci (2000b) gehen in ihrer Selbstbestimmungstheorie von drei grundlegenden psychischen Bedürfnissen aus, die alle Menschen von Natur aus befriedigen wollen: das Erleben von Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit. Bietet eine Aktivität also die Möglichkeit, das eigene Handeln als effektiv zu erleben, sich selbstbestimmt wahrzunehmen und sich in ein soziales Umfeld einbezogen zu fühlen, so erhöht dies die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von intrinsischer Motivation (Schiefele & Schaffner 2015).

Die Grundannahmen der Selbstbestimmungstheorie werden von Ryan, Rigby & Przybylski (2006) in dem Player Experience of Need Satisfaction (PENS) Modell auf Computerspiele übertragen, um deren hohe Attraktivität zu erklären. Erfolgreiche Spiele, so die Autoren, berücksichtigen die zuvor besprochenen zentralen psychischen Bedürfnisse der Menschen und erlauben deren Befriedigung. Als weitere wichtige Elemente werden noch eine möglichst intuitive Steuerung und Immersion hervorgehoben:

- **Kompetenz:** Ist ein Spiel zu einfach, so wird es schnell langweilig. Ein zu hoher Schwierigkeitsgrad führt dagegen zu Frustration. Um das Erleben von Kompetenz zu ermöglichen, müssen die Herausforderungen des Spiels und das Können der Spielenden daher aufeinander abgestimmt werden (Przybylski, Rigby & Ryan 2010). In diesem Zusammenhang ist auch das beim Spielen erhaltene Feedback wichtig: Damit eine Steigerung der eigenen Fähigkeiten möglich und erfahrbar ist, sollte es eine klare und umgehende Rückmeldung auf getroffene Entscheidungen geben (Rigby & Ryan 2007). Ebenso relevant wie optimale Herausforderungen sind aber auch Gelegenheiten, bei denen die Spielenden ihre bisher entwickelten Fähigkeiten erfolgreich unter Beweis stellen können. Rigby & Ryan (2007, S. 9) bezeichnen dies als „*mastery in action*“ und sehen darin einen Grund für die längerfristige Attraktivität von Spielen.
- **Autonomie:** Der Grad an Selbstbestimmung spiegelt sich in den Möglichkeiten und Freiheiten wider, die den Spielenden geboten werden. Eine uneingeschränkte Bewegung in der Spielwelt fällt ebenso in diese Kategorie wie verschiedene Ziele und das Vorhandensein von mehreren Lösungswegen zu deren Erreichung (Ryan, Rigby & Przybylski 2006). Der reine Anschein einer Wahl bei eigentlich fest vorgegebenem Spielverlauf ist dabei allerdings nicht ausreichend und kann sogar demotivierend wirken (Rigby & Ryan 2007).
- **Eingebundenheit:** In Multiplayer-Spielen kann mit anderen Spielerinnen und Spielern mittels sprach- und audiobasierten Chats interagiert werden. Um gemeinsame Ziele zu erreichen, werden Gruppen gebildet, die über kurze oder lange Zeit bestehen bleiben und damit ein Gefühl von Zusammengehörigkeit erzeugen (Przybylski, Rigby & Ryan 2010). Aber auch interaktive computergesteuerte Figuren können soziale Eingebundenheit vermitteln und sich so positiv auf die Motivation auswirken (Rigby & Ryan 2007).
- **Intuitive Steuerung:** Die Benutzeroberfläche und die Steuerung eines Spiels sollten möglichst einfach sein und schnell erlernt werden können. Dadurch ergibt sich ein besseres Erlebnis von Kontrolle und Freiheit, was sich wiederum positiv auf das Kompetenz- und Autonomieerleben der Spielenden auswirkt (Ryan, Rigby & Przybylski 2006).
- **Immersion:** Die Immersion oder Präsenz bezeichnet den Zustand des Versunkenseins in einem Spiel und hängt vorwiegend von der erlebten Kompetenz und Autonomie ab. Ryan, Rigby & Przybylski (2006) unterscheiden dabei in ihrer Studie eine physische (man erlebt sich als Teil der Spielwelt), eine emotionale (man fühlt mit den Spielfiguren mit) und eine narrative (man erlebt sich als Teil der erzählten Geschichte) Dimension.

Malones Theorie der intrinsisch motivierenden Instruktion

Während sich das zuvor vorgestellte PENS Modell primär auf unterhaltungsbasierte Computerspiele bezieht, haben sich Malone und Lepper (Malone 1981; Malone & Lepper 1987) auch explizit mit digitalen Lernspielen befasst. Sie kommen dabei zu ähnlichen Ergebnissen wie Ryan, Rigby & Przybylski (2006). Für die fesselnde Wirkung von Spielen sind nach der Theorie der intrinsisch motivierenden Instruktion die vier Elemente Herausforderung, Neugier, Fantasie und Kontrolle ausschlaggebend (Malone 1981; Malone & Lepper 1987):

- **Herausforderung:** Damit Spiele herausfordernd sind, müssen sie ein Ziel kombiniert mit einem aus der Sicht der Schülerinnen und Schüler unsicheren Ausgang haben. Eine Möglichkeit dies zu realisieren, stellen Level mit verschiedenen Schwierigkeitsstufen oder mehrere unterschiedlich schwer zu erreichende Ziele dar. Daneben können auch unvollständige Informationen oder in das Spiel eingebaute Zufallsprozesse die Spannung erhöhen. Als eindrucksvolles Beispiel nennen Malone & Lepper (1987) Glücksspiele, bei denen die Fähigkeiten der Spielenden manchmal gar keinen Einfluss auf das Ergebnis haben. Damit die Schülerinnen und Schüler wissen, ob und zu welchem Grad das Ziel erreicht wurde, ist außerdem ein entsprechendes Feedback wichtig. Dieses sollte häufig, klar, konstruktiv und vor allem ermutigend sein, um das Selbstwertgefühl der Spielenden nicht zu untergraben (Malone & Lepper 1987).
- **Neugier:** Nach Malone (1981) können Spiele dann die Neugier von Schülerinnen und Schülern wecken, wenn sie neue und überraschende Aspekte beinhalten, die von den Erwartungen der Spielenden abweichen. Malone & Lepper (1987) unterscheiden dabei zwischen einer sensorischen und einer kognitiven Neugier. Erstere kann beispielsweise durch die Implementation von ansprechenden Grafiken, Musik und Soundeffekten erreicht werden, während letztere aus dem Wissen über eigene kognitive oder wissensbasierte Defizite resultiert.
- **Fantasie:** Laut der Definition von Malone & Lepper (1987, S. 240) sind mit Fantasie „[...] *mental images of physical or social situations not actually present [...]*“ gemeint. Die Autoren unterscheiden weiter zwischen exogenen (die Fantasie-Elemente des Spiels sind vom Lehrziel unabhängig) und endogenen (die Lehrziele sind Teil der Fantasie-Elemente des Spiels) Fantasien. Für das Design von Lernspielen sollten vorwiegend letztere ins Auge gefasst werden, da sie in den meisten Fällen interessanter und gleichzeitig auch lehrreicher sind. So führt ein entsprechendes Design normalerweise auch zu einem konstruktiven, direkt aus der Spielwelt stammenden Feedback (Malone 1981).
- **Kontrolle:** Zentral für ein hohes Maß an Kontrolle ist das Vorhandensein von einer großen Anzahl an unterschiedlichen, möglichst gravierenden Ausgangsmöglichkeiten eines Spiels. Diese dürfen aber nicht rein zufallsbasiert sein, sondern müssen von den Entscheidungen der Spielenden abhängen. Ebenso tragen selbst getroffene Entscheidungen über den Schwierigkeitsgrad oder die Art des Ziels zur Motivation bei. Auch Personalisierungen, wie das Benennen von Spielfiguren, können sich positiv auswirken (Malone & Lepper 1987).

Game-Flow

Die Flow-Theorie von Csikszentmihalyi (1990) gründet in der Beobachtung von Menschen, die freiwillig anstrengende Aktivitäten ausüben, ohne dafür eine offensichtliche Belohnung zu erhalten – die Handlungen sind demnach vollkommen intrinsisch motiviert. Als eindrucksvolle Beispiele gelten begeisterte Schachspieler und Bergsteiger. Befinden sich diese im Flow, so gehen sie komplett in ihrer Tätigkeit auf. Csikszentmihalyi (1990, S. 4) beschreibt diesen Zustand als „[...] *the state in which people are so involved in an activity that nothing else seems to matter; the experience itself is so enjoyable that people will do it even at great cost, for the sheer sake of doing it.*“

Sweetser & Wyeth (2005) ordnen in ihrem Game-Flow Modell die von Csikszentmihalyi (1990) beschriebenen Voraussetzungen für das Erleben von einem solchen Flow-Zustand wichtigen Spielelementen zu, um damit die Freude der Menschen an Computerspielen zu erklären:

- Konzentration: Ein wesentliches Kriterium für das Auftreten von Flow ist das intensive Konzentrieren auf eine Aufgabe oder Tätigkeit (Nakamura & Csikszentmihalyi 2009). Folglich sollte das Spielprinzip die volle Aufmerksamkeit der Spielenden erfordern. Weiters ist es wichtig, Ablenkungen zu minimieren. Herausstechende Grafiken können dabei helfen, indem sie wichtige Elemente hervorheben.
- Herausforderung und Können: Die zum Erreichen des Ziels notwendigen Anforderungen und die Fähigkeiten der Spielenden sollten ausgeglichen sein und beide ein gewisses Niveau überschreiten (Rheinberg 2010). Um diese Balance zwischen Herausforderung und momentanem Können zu gewährleisten, müssen Spiele schrittweise schwieriger werden. Dies kann beispielsweise durch die Implementierung von verschiedenen Leveln geschehen.
- Kontrolle: Menschen, die sich im Flow befinden, haben ein Gefühl der Kontrolle – sie wissen was zu tun ist und können ihre Vorstellungen in die Tat umsetzen (Nakamura & Csikszentmihalyi 2009). Um dies in digitalen Spielen zu gewährleisten, sollten unter anderem die Steuerung der Figuren, aber auch Einstellungen im Spielmenü (Stoppen, Speichern, Schließen) von den Spielenden vorgenommen werden können.
- Klare Ziele: Spiele sollten Ziele beinhalten, die klar ersichtlich sind, in kurzer Zeit erreicht werden können und rechtzeitig präsentiert werden.
- Feedback: Eine weitere Bedingung für ein Flow-Erlebnis ist eine sofortige Rückmeldung auf durchgeführte Handlungen – der aktuelle Fortschritt muss zu jeder Zeit erkennbar sein (Nakamura & Csikszentmihalyi 2009). In Spielen können zu diesem Zweck beispielsweise die bisher erreichten Punkte angezeigt werden.
- Immersion: Spieler sollten in die Spielwelt eintauchen können. Dies kann durch ein Zusammenspiel von ansprechenden Grafiken, Sound und einer packenden Geschichte erreicht werden.
- Soziale Interaktion: Dieser letzte Punkt entspricht keiner der Bedingungen von Csikszentmihalyi (1990), ist aber nach Sweetser & Wyeth (2005) bei der Erreichung von Flow-Erlebnissen hilfreich. Soziale Interaktionen sind immanenter Bestandteil von Kooperations- und Konkurrenzspielen, können aber auch durch einfache Chats oder Spielforen gefördert werden.

Vergleich der Motivationsmodelle

Die drei vorgestellten Modelle zur Erklärung der intrinsischen Motivation von Computerspielen überschneiden sich in einigen wichtigen Punkten (siehe Abbildung 2.4). So kann die von Malone und im Game-Flow Modell beschriebene Abstimmung von dem Können der Spielenden und den gestellten Herausforderungen als eine Voraussetzung für das im PENS Modell zentrale Kompetenzerleben betrachtet werden. Das Vorhandensein von klaren Zielen aus dem Game-Flow Modell wird dabei von Malone als Bedingung für das Schaffen von adäquaten Herausforderungen gesehen. Die Erzeugung von Fantasien stellt eine Möglichkeit zur Immersion dar und findet sich damit ebenfalls in allen Modellen. Die allseitige Forderung nach weitreichenden Kontrollmöglichkeiten spiegelt wiederum das Bedürfnis nach Autonomie wider. Auch die Wichtigkeit von klarem und möglichst raschem Feedback wird stets betont. Außerdem können die für das Flow-Erleben hilfreichen zwischenmenschlichen Interaktionen ein Gefühl von sozialer Eingebundenheit vermitteln. Die besprochenen Modelle schließen sich also nicht aus, sondern können in Hinblick auf das Design von Lernspielen als gegenseitige Ergänzungen aufgefasst werden.

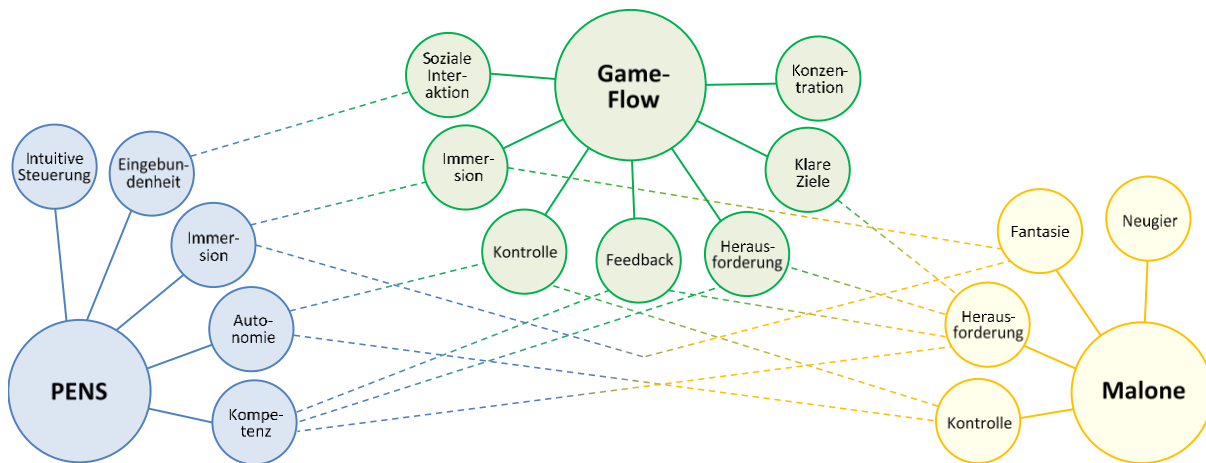


Abbildung 2.4. Verbindungen zwischen dem Player Enjoyment of Need Satisfaction Modell (PENS), Malones Theorie der intrinsisch motivierenden Instruktion und dem Game-Flow Modell. Eigene Abbildung nach Daten von Ryan, Rigby & Przybylski (2006), Malone & Lepper (1987) und Sweetser & Wyeth (2005).

2.2.3 Effektives Lernspieldesign

Die vorangegangenen Überlegungen zum Lernen mit Multimediaanwendungen und zu der intrinsisch motivierenden Wirkung von Computerspielen können als Grundlage für das Design von Serious Games dienen. Allerdings stellt sich dabei die Frage, wie die gestellten Anforderungen realisiert werden können, welche Spielelemente einen hohen Programmieraufwand rechtfertigen (Berger & Marbach 2009) und welche weiteren Aspekte für einen reibungslosen Einsatz des Lernspiels im Unterricht beachtet werden müssen.

Technische Voraussetzungen

Digitale Medien sollten so gestaltet sein, dass ihre Verwendung im Unterricht aus der Sicht der Lernenden und des Lehrpersonals möglichst einfach ist (Horz 2015). In diesem Zusammenhang bieten sich webbasierte Anwendungen an, da sie über einen in der Regel bereits vorinstallierten Browser aufgerufen werden können und somit keine tiefgehenden Kenntnisse erfordern. Voraussetzung dafür ist allerdings der Zugang zu Computern mit einer funktionierenden Internetverbindung. Die Ausstattung der meisten Schulen ist in dieser Hinsicht gut (OECD 2015): Nach den Daten der PISA Studie aus 2012 kommen in Österreich im Schnitt nur 2,9 Kinder auf einen Schulcomputer. Darüber hinaus geben 81,4 % der Schülerinnen und Schüler an, während des Unterrichts Computer zu verwenden und 48,0 % surfen dabei mindestens einmal pro Woche im Internet.

Einbettung in den Unterricht

Lernspiele können und sollen nach der Einschätzung von Mayer (2016) den herkömmlichen Unterricht nicht ersetzen, sondern müssen in diesen integriert werden und ihn ergänzen. Der wichtigste Schritt beim Design von einem Serious Game ist daher die Definition von den intendierten Lehrzielen (Honey, Hilton & Council 2011). Vielversprechend sind dabei Lernspiele, welche die bestehenden Lehrpläne berücksichtigen, sich auf einen möglichst eng begrenzten Themenbereich konzentrieren und die entsprechenden Inhalte in den Spielverlauf integrieren (Mayer 2016).

Kognitive und motivationale Aspekte

Aus der zuvor besprochenen kognitiven Theorie des multimedialen Lernens können einige, auch empirisch bestätigte Designprinzipien für e-Learning Kurse, Animationen und Simulationen abgeleitet werden (Wiesner, Schecker & Hopf 2011; Girwidz 2015b; Clark & Mayer 2016): Um die kognitiven Kapazitäten der Schülerinnen und Schüler optimal zu nutzen, sollten Texte und bildliche Darstellungen vorzugsweise gemeinsam verwendet werden (Multimedia-Prinzip), wobei Bilder in Kombination mit gesprochenen Worten einer rein visuellen Darstellung bestehend aus Grafiken und geschriebenen Texten überlegen sind (Modalitäts-Prinzip). Allerdings stellt die schriftliche Wiederholung von bereits mündlich dargebotener Information eine unnötige Belastung dar und kann sich damit lernhinderlich auswirken (Redundanz-Prinzip). Darüber hinaus ist es hilfreich, die Erklärungen von den Bildern oder Animationen in räumlicher und zeitlicher Nähe zu den entsprechenden Teilen der Darstellungen zu präsentieren (Kontiguitäts-Prinzip). Damit die Schülerinnen und Schüler Nachrichten leichter decodieren können, sind außerdem Beschreibungen in einem persönlichen Konversationsstil vorteilhaft (Personalisierungs-Prinzip). Die Segmentierung von Lerninhalten in kleinere, überschaubare Einheiten geht mit einer Aufteilung der zum Verstehen des Themas essentiellen Prozesse einher und wirkt sich folglich ebenfalls positiv auf das Lernergebnis aus (Segmentierungs-Prinzip). Der nach Clark & Mayer (2016) wichtigste Punkt betrifft aber die Verringerung von äußeren Prozessen: Für das intendierte Lehrziel irrelevante und damit ablenkende Grafiken, Musik, Soundeffekte und Geschichten beanspruchen die limitierten kognitiven Kapazitäten der Lernenden und sollten daher so weit wie möglich reduziert werden (Kohärenz-Prinzip).

Die meisten dieser Designrichtlinien lassen sich mit den besprochenen Motivationsmodellen in Einklang bringen und können daher ohne große Probleme auch auf Lernspiele übertragen werden. So ermöglichen aufeinander aufbauende Level, bei denen einer Überforderung der Schülerinnen und Schüler durch das schrittweise Einführen neuer Inhalte entgegengewirkt wird, die Vereinigung des Segmentierungs-Prinzips mit dem Bedürfnis nach Kompetenzerleben. Basierend auf bisherigen Forschungsergebnissen zu Lernspielen hat Mayer (2014a) auch noch weitere Elemente identifiziert, deren Implementation in Vergleichsstudien zu einem nachweislich positiven Effekt auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler führt. Dazu zählen unter anderem Coaching (Anzeige zusätzlicher Erklärungen und Ratschläge während des Spiels), die Begründung getroffener Entscheidungen durch die Spielenden selbst (entweder in freischriftlicher Form oder durch das Auswählen von vorgegebenen Antwortmöglichkeiten) und Vortraining (Besprechung wichtiger Inhalte vor dem Spiel). Das Kohärenz-Prinzip steht allerdings im krassen Gegensatz zu den Forderungen nach Fantasie und Immersion, bei deren Realisierung ansprechende Grafiken, eine packende Geschichte, Musik und Soundeffekte eine zentrale Rolle einnehmen.

Bei der Entwicklung eines Lernspiels müssen motivierende und der Instruktion dienliche Prinzipien daher gegeneinander abgewogen werden (Mayer 2014a). Immerhin können spielerische Elemente auf der einen Seite zwar ablenkend wirken, andererseits können sie aber auch die für das Verstehen wichtigen generativen Prozesse fördern. Eine Möglichkeit beide Aspekte gleichzeitig zu berücksichtigen, stellt der von Mayer (2014b, S. 172) beschriebene „*focused more is more*“ Ansatz dar: Bei diesem wird versucht, die Lernenden für die Thematik zu begeistern, indem vorwiegend die für das Lehrziel relevanten Elemente ansprechend gestaltet und dadurch hervorgehoben werden.

3 Lernspiel: Graph Sketching

Dieses Kapitel hat das im Zuge der Diplomarbeit erstellte Lernspiel „Graph Sketching“ zum Thema. Nach einer kurzen Beschreibung des Lernspiels wird dabei auch auf die Entwicklung und die hinter den getroffenen Entscheidungen stehenden Intentionen eingegangen.

3.1 Beschreibung von Graph Sketching

Software und Anforderungen

Bei Graph Sketching handelt es sich um ein digitales, webbasiertes Lernspiel, das mit einem modernen Browser unter der Adresse www.graphsketching.at aufgerufen und ohne weitere Installationsschritte bearbeitet werden kann (Rametsteiner 2017). Für eine Auflistung der verwendeten Ressourcen samt den entsprechenden Quellen und Copyrighterklärungen sei an dieser Stelle auf den Menüpunkt Credits auf der Seite des Lernspiels verwiesen. Die Anwendung wurde in HTML5, CSS3, Javascript und PHP programmiert, weswegen ein HTML5-fähiger Internetbrowser für eine fehlerfreie Darstellung der Webseite notwendig ist. Getestet und optimiert wurde das Lernspiel in Firefox Version 54. Mit einigen Einschränkungen können aber auch andere Browser verwendet werden (siehe Tabelle 3.1).

Webbrowser	Firefox 58	Google Chrome 64	Internet Explorer 11 und Microsoft Edge
Kompatibilität	uneingeschränkt	funktional uneingeschränkt (Figuren unscharf)	eingeschränkt <ul style="list-style-type: none">▪ Zeitleiste nicht kontrollierbar▪ Figuren werden teilweise nicht angezeigt

Tabelle 3.1. Kompatibilität von Graph Sketching mit einigen bekannten Browsern.

Die Webseite kann zwar auch mit Smartphones und Tablets aufgerufen und per Touchscreen bedient werden, sie ist aber für den Einsatz mit Standcomputern oder Laptops und einer Maus als Eingabegerät optimiert. Da Graph Sketching als ein online Einzelspieler-Spiel konzipiert ist, müssen für den Einsatz im Unterricht Computer in Klassenstärke und eine durchgängige Internetverbindung vorhanden sein (siehe auch 2.2.3). Geräte zur Soundausgabe wie Lautsprecher oder Kopfhörer werden nicht benötigt.

Spielverlauf

Ziel des Spiels ist es, Bewegungsdiagramme (Position-Zeit-Diagramme oder Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme, jeweils in horizontaler x-Richtung) von Spielfiguren anzufertigen und diese so durch eine kleine Spielwelt zu steuern. Je nach Spielmodus sollen dabei in 24 verschiedenen Leveln vorgegebene Bewegungen nachgezeichnet, Münzen eingesammelt, Gegnern ausgewichen oder vorgegebene Bewegungsdiagramme nachgegangen werden. In der folgenden Abbildung 3.1 ist der Spielablauf von Graph Sketching in Anlehnung an Carvalho (2017) in Form von einem UML (Unified Modeling Language) basierten Aktivitätsdiagramm zu sehen: Nachdem ein Usercode eingegeben wurde, kann eines der Level ausgewählt und die Spielwelt mitsamt den in ihr dargestellten Bewegungen betrachtet werden. Die Bewegungsabläufe erstrecken sich dabei immer über eine Zeitspanne von maximal zehn Sekunden und werden automatisch wiederholt. Je nach gestellter Aufgabe muss anschließend ein entsprechendes Bewegungsdiagramm gezeichnet oder nachgegangen werden. Durch Drücken des Check-Buttons wird die so dargestellte Bewegung abgespielt. Sind die Schülerinnen und Schüler mit ihrem erstellten Graphen noch nicht zufrieden, können sie ihn anschließend noch verändern oder

komplett neu gestalten. Somit ergibt sich eine Feedbackschleife, in der die angefertigten Bewegungsdiagramme Schritt für Schritt verbessert werden können. Bei der endgültigen Abgabe durch Drücken des Fertig-Buttons werden je nach Übereinstimmung mit der vorgegebenen Bewegung oder der Anzahl an gesammelten Münzen Punkte zwischen null (niedrigster Wert) und eins (maximal möglicher Wert) berechnet. Zusätzlich wird zusammen mit der richtigen Lösung auch die gezeichnete Bewegung nochmals angezeigt. Danach kann das Lernspiel entweder beendet werden, oder es wird das nächste Level ausgewählt und bearbeitet.

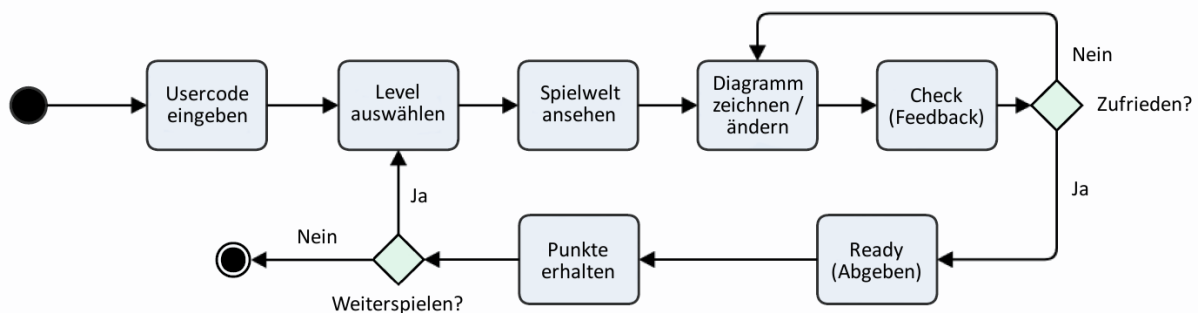


Abbildung 3.1. UML (Unified Modeling Language) basiertes Aktivitätsdiagramm (Carvalho 2017) zur Darstellung des Spielverlaufs von Graph Sketching. Die abgerundeten Rechtecke stellen Aktivitäten dar, bei den grün gekennzeichneten Rauten kommt es zu einer Aufspaltung. Die Kreise bezeichnen den Anfang (durchgehend schwarz) und das Ende (schwarz umrandet) des Spiels.

Userinterface

In Abbildung 3.2 ist das Userinterface von Graph Sketching zu sehen. Die wichtigsten Elemente sind durchnummeriert und werden nachfolgend besprochen. Eine genauere Beschreibung findet sich auf der Startseite des Lernspiels unter dem Menüpunkt Anleitung.

1. Spielwelt: Die zweidimensionale Spielwelt beinhaltet je nach Spielmodus die Spielfigur (hier das Schweinchen), die zu sammelnden Münzen oder die Hindernisse, denen ausgewichen werden muss. Oben rechts befinden sich die zwei Buttons „Vektoren“ und „X-Punkt“, mit denen die Geschwindigkeitsvektoren und der Mittelpunkt der Spielfigur angezeigt werden können. Über die Spielwelt ist ein Koordinatensystem gelegt, dessen Ursprung links unten liegt. Die horizontale Position kann von der x-Achse abgelesen werden, die vertikale von der y-Achse. Die Entfernungen werden (auf die Spielwelt bezogen) in Metern angegeben.
2. Zeitleiste: Der momentane Zeitpunkt wird rechts außen in Sekunden angezeigt. Mit dem Play-Button links kann die Animation pausiert und danach wieder fortgesetzt werden. Die Zeitleiste erlaubt es außerdem, die Bewegung durch Ziehen des runden Buttons vor- und zurückzuspielen.
3. Textfeld: In dem Textfeld finden sich zu Beginn eines Levels kurze Anweisungen mit dem Ziel des Spiels. Nach der finalen Abgabe werden hier außerdem die erreichten Punkte und eine Bewertung des gezeichneten Graphen angeführt. Bei letzterer wird überprüft, ob die Linie durchgehend ist und ob jedem Zeitwert immer nur ein Positions- oder Geschwindigkeitswert zugeordnet wird.
4. Zeichenfläche: Hier kann das Bewegungsdiagramm gezeichnet werden. Beginnt oder endet eine Linie in den lila markierten Bereichen, so wird sie automatisch mit dem Rand verbunden. Die blaue Fläche bewegt sich mit dem Voranschreiten der Animation von links nach rechts. Ihr Rand stellt eine zeitliche Orientierungshilfe dar und markiert den momentanen Zeitpunkt. Werden Münzen eingesammelt oder kollidiert die Spielfigur mit einem Gegner, so erscheint ein entsprechendes Symbol an der jeweiligen Stelle im Bewegungsdiagramm. Die drei Reiter rechts außen dienen zum

Wechseln zwischen verschiedenen Diagramm-Typen, es kann aber je nach Level nur im Position-Zeit-Diagramm oder im Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm gezeichnet werden.

5. Zeichentools: Zum Anfertigen des Graphen stehen ein Stift und ein Radierer zur Verfügung. Durch Klicken auf den weißen Strich kann zwischen dem Ziehen von geraden Linien und dem Zeichnen von Freihandformen gewechselt werden. Mit dem Papierkorb kann das gesamte bisher erstellte Bewegungsdiagramm gelöscht werden, wodurch ein Neuanfang möglich wird.
6. Abgabebutons: Der Check-Button ist beliebig oft verwendbar – die Animation beginnt danach von vorne und zeigt die bisher gezeichnete Bewegung. Der Fertig-Button kann dagegen nur einmal pro Level benutzt werden – der gezeichnete Graph wird abgegeben und bewertet, spätere Änderungen sind nicht mehr möglich.
7. Punkte: Die in dem aktuellen Level erreichten Punkte werden hier ausgegeben.
8. Levelnummer: Die Nummer des aktuellen Levels wird hier angezeigt. Mithilfe der Pfeile kann zwischen den verschiedenen Leveln gewechselt werden.

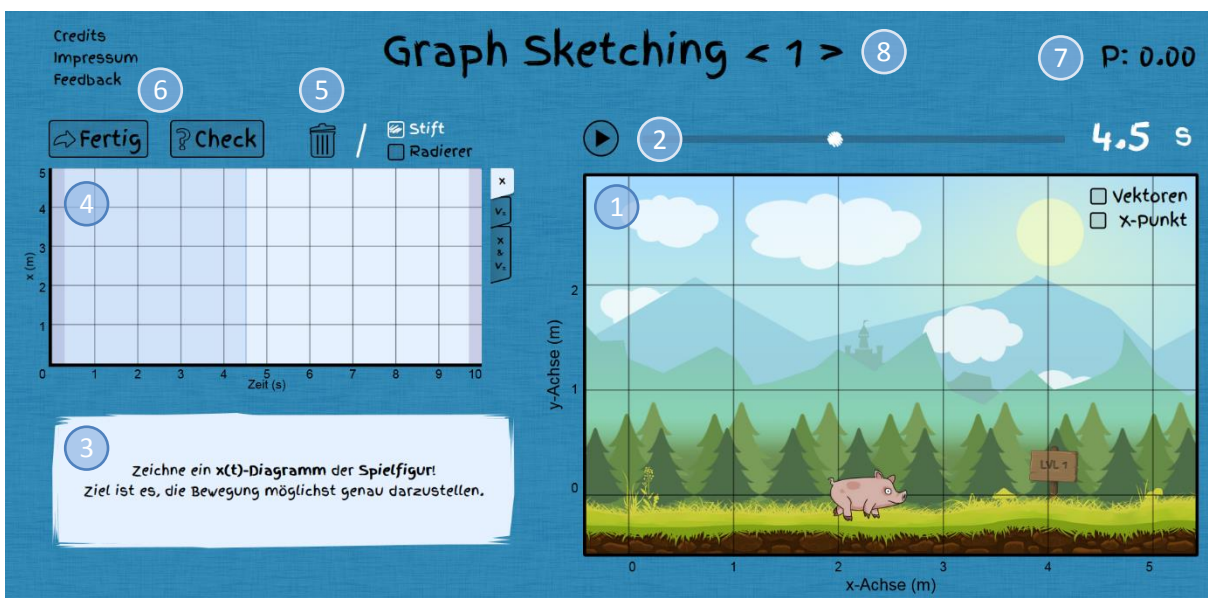


Abbildung 3.2. Userinterface von Graph Sketching (Rametsteiner 2017). Die nummerierten Elemente werden im Text besprochen: 1. Spielwelt, 2. Zeitleiste, 3. Textfeld, 4. Zeichenfläche, 5. Zeichentools, 6. Abgabebutons, 7. Punkte und 8. Levelnummer.

Typen von Level

Die 24 Level in Graph Sketching beziehen sich auf Position-Zeit-Diagramme (die ersten 15 Level) oder auf Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme (Level 16 bis 24) und können vier verschiedenen Typen oder Spielmodi zugeordnet werden (siehe Abbildung 3.3, für eine Auflistung der Level siehe Anhang G):

- Nachzeichnen von Bewegungen: Die vorgegebene Bewegung einer Spielfigur soll möglichst genau in ein Bewegungsdiagramm übertragen werden.
- Nachgehen eines Bewegungsdiagramms: Ein vorgegebener Graph soll durch Ziehen der Spielfigur möglichst genau nachgestellt werden.
- Einsammeln von Münzen: In der Spielwelt befinden sich Münzen, die eingesammelt werden sollen. Die entsprechende Bewegung der Spielfigur wird in ein Bewegungsdiagramm gezeichnet.
- Ausweichen von Gegnern und einsammeln von Münzen: Beim Einsammeln der Münzen dürfen zusätzlich Hindernisse nicht berührt werden. Die Bewegung wird dabei wieder durch die Spielenden in Form von einem entsprechenden Graphen dargestellt.

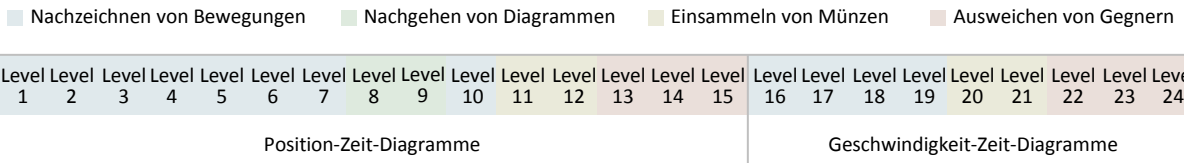


Abbildung 3.3. Verschiedene Typen von Level in Graph Sketching. Das Nachgehen von vorgegebenen Graphen kommt nur bei Position-Zeit-Diagrammen vor.

3.2 Entwicklung des Lernspiels

Bei der Entwicklung von Graph Sketching wurde versucht, die zuvor dargelegten lerntheoretischen und motivationalen Aspekte von Serious Games sowie die fachdidaktischen Erkenntnisse zum Einsatz von Bewegungsdiagrammen im Unterricht zu berücksichtigen. In diesem Abschnitt wird die Umsetzung des Spiels in Hinblick auf die in Kapitel 2 thematisierten Anforderungen an eine erfolgreiche Lernumgebung beschrieben. Danach werden die implementierten Möglichkeiten zum Erheben der Spieldaten und die erste Testphase des Lernspiels sowie die daraus resultierenden Änderungen besprochen.

3.2.1 Intentionen hinter dem Design

Spielprinzip und Lehrziel

Das intendierte Lehrziel von Graph Sketching ist das richtige Anfertigen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen. Dabei liegt der Fokus in erster Linie aber nicht auf dem Ausführen von mathematischen Operationen, sondern auf dem Erlangen von einem konzeptionellen Verständnis von Höhe und Steigung in verschiedenen Diagramm-Typen und deren Relation zu den wichtigen kinematischen Größen Position und Geschwindigkeit. Da die Steuerung der Figuren in Graph Sketching über das Zeichnen von Graphen funktioniert, ist das Lehrziel wie von Malone (1981) gefordert ein direkter Bestandteil des Spiels selbst. Inkorrekt angefertigte Bewegungsdiagramme, die beispielsweise von typischen Fehlvorstellungen wie dem Graph as Picture Error oder der Slope / Height Confusion herrühren, haben einen ungewollten Bewegungsablauf zur Folge und führen nicht zum Erfolg. Die Schülerinnen und Schüler sind daher mit einer Vielzahl an verschiedenen Situationen konfrontiert, in denen ihre intuitiven Vorstellungen fehlschlagen. Damit wird der Grundstein für einen erfolgreichen Konzeptwechsel gelegt. Wie bei computergestützten Messwerterfassungen mit Bewegungssensoren werden auch bei Graph Sketching Kinematik-Graphen und entsprechende Bewegungen gleichzeitig dargestellt, womit das zeitliche Kontiguitäts-Prinzip erfüllt wird. Die für einen Lernerfolg zentrale Beeinflussung der Bewegungsabläufe durch die Schülerinnen und Schüler (Beichner 1990) ist ebenfalls gegeben. Durch die Implementierung von Levels, bei denen ein vorgegebenes Bewegungsdiagramm nachgegangen werden muss, wird außerdem dem Vorschlag von Beichner (1994) nachgekommen, die Schülerinnen und Schüler auch von Graphen auf Bewegungsvorgänge schließen zu lassen. Die Reiter neben der Zeichenfläche erlauben darüber hinaus einen direkten Vergleich von den Position-Zeit-Diagrammen und den Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen einer Bewegung.

Feedback

Das für ein Lernspiel zentrale Feedback auf die Handlungen der Schülerinnen und Schüler findet nur in visueller und nicht auch noch in kinästhetischer Form statt, ist aber vielseitig und häufig (siehe

Abbildung 3.4). So erhalten die Lernenden durch die Bewegung der Figur eine direkt aus der Spielwelt stammende Rückmeldung über den angefertigten Graphen: Vorgegebene und gezeichnete Bewegungen werden zeitgleich angezeigt, Münzen werden aufgesammelt und auch der Zusammenstoß mit Gegnern wird bildhaft dargestellt. Außerdem werden die letzten beiden Ereignisse mit Symbolen den entsprechenden Stellen des Graphen zugeordnet, sodass eine Verbindung von Diagramm und Bewegung leichter möglich wird. Besteht ein von den Lernenden gezeichneter Graph aus keiner durchgehenden Linie oder sind einem Zeitpunkt mehrere Werte zugeordnet, so werden die entsprechenden Stellen im Bewegungsdiagramm mit farbigen Kreisen markiert. Zusätzlich beginnt auch die Spielfigur zu verschwimmen und im Textfeld erscheint eine kurze Passage, die das Problem erläutert. Bei der endgültigen Abgabe eines Graphen werden darüber hinaus noch Punkte berechnet und die Lösung – sofern es nur eine gibt – in Form von einer roten Linie angezeigt. Während das Feedback für die angefertigten Bewegungsdiagramme immer erst nach dem Betätigen des Check- oder Fertig-Buttons (und damit mit einigen Sekunden Verzögerung zum Zeichnen) zu sehen ist, erhalten die Spielenden beim Nachgehen von vorgegebenen Graphen eine instantane Rückmeldung auf ihre Entscheidungen.

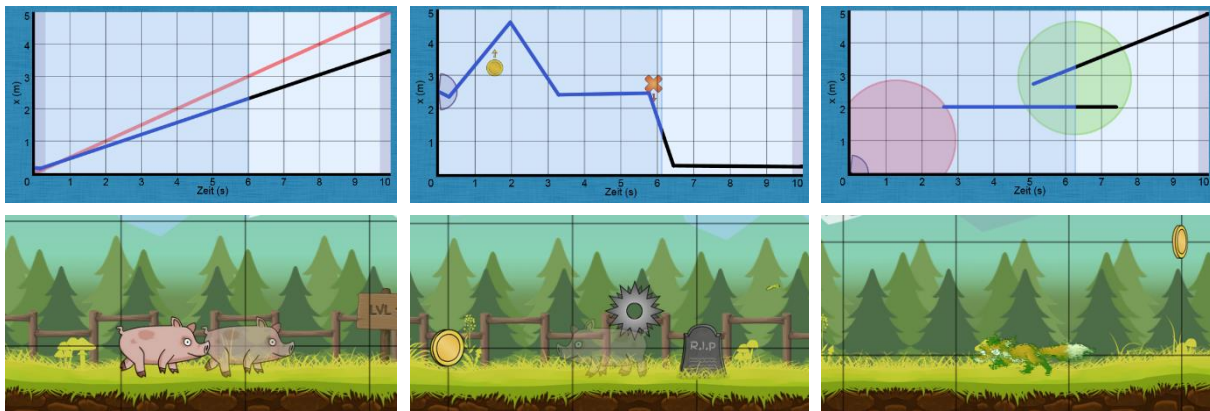


Abbildung 3.4. Formen von visuellem Feedback in Graph Sketching. In der unteren Reihe sind Ereignisse in der Spielwelt dargestellt, in der oberen die entsprechenden Rückmeldungen im Bewegungsdiagramm. Von links nach rechts: gleichzeitige Anzeige von gezeichnetem (blau, schwarz) und richtigem (rot) Graph, Aufnahme einer Münze und Kollision mit einem Gegner, keine (rot) oder zu viele (grün) zugeordnete Werte pro Zeitpunkt.

Herausforderung und Kompetenzerleben

Damit die Schülerinnen und Schüler durch das Lernspiel nicht überfordert werden, ist vor dem Einsatz von Graph Sketching ein Vortraining vorgesehen. Bei diesem wird den Lernenden das Spielprinzip und das Userinterface anhand von einfachen Bewegungen im Klassenverband erklärt. Um eine Balance zwischen dem Können der Spielenden und den Herausforderungen zu schaffen und gleichzeitig die für das Lernen essentiellen Prozesse auf ein bewältigbares Ausmaß zu reduzieren (= Segmentierung), nimmt der Schwierigkeitsgrad der gestellten Aufgaben außerdem mit den höheren Levels zu: Zu Beginn werden nur Position-Zeit-Diagramme thematisiert, erst danach wird zu Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen übergegangen. Anfangs sind dabei immer nur einfache Bewegungen, die im Ursprung des Koordinatensystems starten und keine Richtungswechsel beinhalten, nachzuzeichnen. Später werden verschieden schnelle Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen sowie das Stehenbleiben an einer Position schrittweise miteinander kombiniert. Jene Level, bei denen Münzen eingesammelt und Gegnern ausgewichen werden muss, erfordern schließlich die Anwendung der zuvor gelernten Konzepte. Sie bieten den Schülerinnen und Schülern damit die Möglichkeit, ihr Können unter Beweis zu stellen.

Kontrolle und Autonomieerleben

Bei dem Anfertigen der Bewegungsdiagramme sind die Spielenden kaum eingeschränkt: Das Freihandtool erlaubt das Zeichnen von verschiedensten Formen und bietet damit die größte Freiheit, erfordert aber auch einen präzisen Umgang mit der Maus. Mit dem leichter zu handhabenden Linientool können zwar nur gerade Striche gezogen werden, allerdings lassen sich auch diese in vielfältiger Weise miteinander kombinieren. Mit dem Radierer können einzelne Teile eines Graphen auch wieder entfernt werden. Während in den ersten Leveln die zur Erreichung des Ziels notwendigen Bewegungen noch strikt vorgegeben sind, existiert beim Einsammeln von Münzen und Ausweichen von Gegnern eine große Anzahl an unterschiedlichen Lösungswegen. Die Kontrolle der Lernenden über die abgespielten Animationen ist ebenfalls hoch: Diese können gestoppt, wiederaufgenommen und durch das Ziehen der Zeitleiste vor- und zurückgespielt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Geschwindigkeitsvektoren der Spielfigur und ihren Mittelpunkt anzeigen zu lassen. Die Schülerinnen und Schüler können außerdem selbst entscheiden, wie viel Zeit sie in ein Level investieren und wie oft sie das von ihnen gezeichnete Diagramm noch verbessern wollen.

Immersion und Fantasie

Um äußere Prozesse zu minimieren wurde auf eine Implementierung von Soundeffekten und Musik verzichtet. Ebenso wird keine Geschichte erzählt. Dafür wurde versucht, die Benutzeroberfläche und die Spielwelt möglichst ansprechend zu gestalten, ohne dabei von den relevanten Elementen abzulenken (siehe Abbildung 3.2): Geschriebene Texte weisen einen hohen Kontrast zum Hintergrund auf und sind damit leicht erkenntlich, grelle Farben kommen kaum vor. Bei dem Design der Spielwelt wurde in Übereinstimmung mit Mayers (2014b) Ausführungen besonderer Wert auf die für das Ziel des Spiels relevanten Elemente gelegt. Während die Landschaft zu großen Teilen nur aus Silhouetten besteht, heben sich die wichtigen Spielfiguren, Münzen und Gegner durch eine schwarze Kontur vom Hintergrund ab. Die Aufmerksamkeit der Spielenden soll damit auf die essentiellen Teile der Spielwelt gelenkt werden. Um das Interesse der Kinder aufrechtzuerhalten, werden die einzelnen Elemente des Hintergrunds bei jedem Laden der Webseite zufällig neu angeordnet, wodurch sich eine große Anzahl an unterschiedlichen Kombinationen von Wolken, Bergen, Wäldern und Gräsern ergibt. Außerdem kommen in den einzelnen Leveln verschiedene Spielfiguren wie Schweine, Füchse und Hühner zum Einsatz (siehe Abbildung 3.5). Die Gestaltung der Tiere ist für Kinder der Sekundarstufe I ausgelegt.

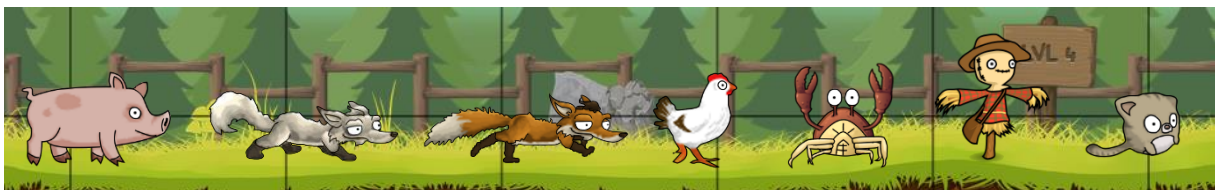


Abbildung 3.5. In Graph Sketching vorkommende Spielfiguren.

Aufzeichnung von Daten

Um das Lernspiel bewerten zu können werden während dem Spielen Daten aufgezeichnet. Diese erlauben Rückschlüsse über die Verwendung von angebotenen Tools, die Schwierigkeit der einzelnen Level und die pro Level aufgewendete Zeit:

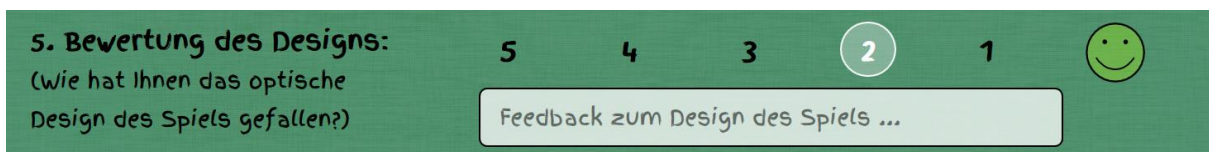
- Erreichte Punkte
- Anzahl der Versuche
- Gesamte verwendete Zeit
- Zeit zum Zeichnen
- Zeit zum Betrachten anderer
- Anzahl an Klicks auf die Tools
- Anzahl an unterbrochenen
- Diagrammtypen
- Gezeichnete Diagramme
- Linien
- Anzahl an doppelten Linien
- (als .png Datei)

3.2.2 Testphase

Nach der Fertigstellung der ersten Version von Graph Sketching wurde eine Testphase zwischen dem 05.09.2017 und dem 17.09.2017 durchgeführt. In dieser Zeit war das Lernspiel bereits online abrufbar und konnte von Besuchern der Webseite getestet werden. Es bestand aus 33 verschiedenen Leveln und beinhaltete im Unterschied zur aktuellen Version neben horizontalen auch vertikale und zweidimensionale Bewegungen. Für eine erste Bewertung von Graph Sketching wurden die Daten von all jenen Personen herangezogen, die mindestens fünf verschiedene Level absolviert und einen online Feedbackbogen ausgefüllt haben. Diese Voraussetzungen wurden von acht Besuchern der Webseite erfüllt. Basierend auf deren Daten und Rückmeldungen wurde das Lernspiel noch einmal überarbeitet.

Online Feedbackbogen

Das online Formular für Rückmeldungen kann auf der Webseite des Lernspiels aufgerufen werden. Es besteht aus 12 Fragen, von denen sich drei auf das Geschlecht, das Alter und das physikalische Vorwissen der Testpersonen beziehen. Mit einer fünfstufigen Skala, bei der eins für die beste und fünf für die schlechteste Bewertung steht, werden neben einer generellen Einschätzung von Graph Sketching auch Rückmeldungen über das optische Design, den Inhalt und die Eignung des Lernspiels für den Einsatz in der Schule erhoben (für ein Beispiel siehe Abbildung 3.6). Mittels Ja- / Nein-Fragen wird überprüft, ob die Testpersonen nach ihrer eigenen Einschätzung beim Spielen etwas Neues gelernt haben und ob die Instruktionen klar sind. Die gegebenen Antworten können zusätzlich durch einen freien Text ergänzt werden. Außerdem gibt es noch offene Fragen zu gewünschten Veränderungen und sonstigem Feedback. Durch Klicken auf den Abgabe-Button wird das ausgefüllte Formular gemeinsam mit dem zu Beginn eingegebenen Usernamen und den Spieldaten gespeichert.



5. Bewertung des Designs:
(Wie hat Ihnen das optische Design des Spiels gefallen?)

5 4 3 2 1

Feedback zum Design des Spiels ...

Abbildung 3.6. Frage fünf aus dem online Feedbackbogen zu Graph Sketching. Eins steht für die beste, fünf für die schlechteste Bewertung – das Smiley reflektiert die gegebene Antwort. Eine Ergänzung durch Text ist möglich.

Erhobene Daten

In der folgenden Tabelle 3.2 werden die acht Testpersonen anhand der von ihnen gemachten Angaben charakterisiert. Die zugewiesene Nummer ergibt sich aus dem Zeitpunkt der Abgabe des online Feedbackbogens. Die Stichprobe besteht aus gleich vielen Frauen wie Männern. Das durchschnittliche Alter der Testpersonen beträgt 35 Jahre (bei einer Standardabweichung von 16 Jahren) und liegt damit weit über dem von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Außerdem geben sechs der acht Testpersonen ein gutes physikalisches Vorwissen an, vier haben mindestens die Matura. Eine Übertragung der Ergebnisse auf den schulischen Einsatz des Lernspiels ist daher nur bedingt möglich. Fünf der acht Testpersonen bewerten das Spiel generell als sehr gut, die restlichen drei vergeben die zweitbeste Bewertung. Das optische Design wird ebenfalls von allen Besuchern der Webseite positiv bewertet. Während 6 von 8 Personen angeben, dass ein Wissenszuwachs vorhanden war, bezeichnen nur 4 der 8 Personen die Instruktionen als klar. Die auf die offenen Fragen gegebenen Antworten sind im Anhang A angeführt. Die häufigsten Kritikpunkte stellen unzureichende Instruktionen und fehlende

Anleitungen dar. Diagramm 3.1 zeigt die für die vorgenommenen Änderungen relevanten Spieldaten der acht Testpersonen. Im Durchschnitt wurden pro Level 93 Sekunden benötigt und 0,776 Punkte erreicht. Das Linientool wurde in 41 % der absolvierten Level aktiviert. Die Spielenden ließen sich die Geschwindigkeitsvektoren und den Mittelpunkt der Spielfiguren allerdings nur in rund 16 % beziehungsweise 3 % der Level anzeigen.

Nr.	Geschlecht	Alter	Vorwissen	Gesamtbewertung	Designbewertung	Wissenszuwachs	Instruktionen klar?
1	weiblich	28	Matura	1	1	Ja	Ja
2	männlich	23	$e = mc^2$	1	1	Ja	Ja
3	männlich	26	Godlike	2	1	Ja	Nein
4	männlich	24	Matura	1	1	Nein	Nein
5	weiblich	60	Matura	1	1	-	-
6	männlich	59	keines	2	1	Ja	Ja
7	weiblich	23	LA PH Studium	1	1	Ja	Ja
8	weiblich	36	nicht vorhanden	2	2	Ja	Nein

Tabelle 3.2. Nummer, Geschlecht, Alter, Vorwissen, Gesamtbewertung, Bewertung des optischen Designs, eingeschätzter Wissenszuwachs und Bewertung der Instruktionen von den acht Testpersonen aus der Testphase.

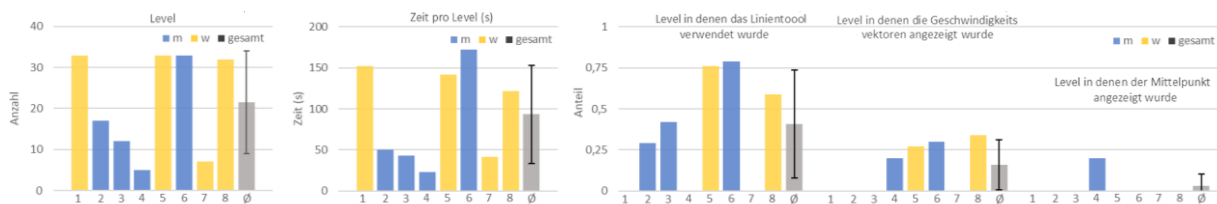


Diagramm 3.1. Anzahl der bearbeiteten Level, durchschnittliche pro Level aufgewendete Zeit und Verwendung einiger der angebotenen Tools. Als Streuparameter ist jeweils die Standardabweichung angegeben, die Zahlen eins bis acht beziehen sich auf die Nummern der Testpersonen.

Vorgenommene Änderungen

Bei einer durchschnittlichen Bearbeitungszeit von 93 Sekunden pro Level werden geschätzte 51 Minuten und 9 Sekunden für das gesamte Lernspiel benötigt. Da in der Untersuchung nur 35 Minuten für die Auseinandersetzung mit Graph Sketching vorgesehen sind (siehe Abbildung 4.1), wurden die Aufgaben reduziert: Vertikale und zweidimensionale Bewegungsabläufe wurden entfernt und die Level zu horizontalen Bewegungen auf 24 Stück erweitert. Die Spieldaten der Testpersonen zeigen außerdem, dass die eingebauten Features „Geschwindigkeitsvektoren anzeigen“, „gerade Linien zeichnen“ und „Mittelpunkt anzeigen“ kaum genutzt werden. Da das Einblenden von Vektoren für Level mit Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen als wichtig erachtet wird und das Zeichnen gerader Linien den Spielenden ermöglicht, sich stärker auf die physikalisch wichtigen Aspekte des Spiels zu konzentrieren, wurden folgende Änderungen vorgenommen: Das Tool zum Zeichnen gerader Linien wird standardmäßig aktiviert und die Geschwindigkeitsvektoren werden bei den entsprechenden Leveln automatisch eingeblendet. Am schlechtesten wird von den Testpersonen die Klarheit der Instruktionen bewertet. Da bei dem Einsatz in der Schule ein Vortraining geplant ist, wurden in diesem Bereich aber keine weiteren Änderungen vorgenommen. Die von einer Testperson geforderte Anzeige von Gesamtpunkten wäre zwar wünschenswert, ist aber mit einem relativ hohen technischen Aufwand verbunden, weswegen auch hiervon vorerst Abstand genommen wurde. Selbiges gilt für das Einblenden der umfassenden Anleitung auf jeder Spielseite.

4 Empirische Untersuchung

Dieses Kapitel behandelt den Ablauf der empirischen Untersuchung zu der Lernwirksamkeit des im Zuge der Diplomarbeit erstellten digitalen Lernspiels. Dabei wird zuerst auf das Design der Studie und die Stichprobe eingegangen, danach werden die verwendeten Testinstrumente besprochen.

4.1 Design und Setting der Studie

Untersuchungsdesign

Um die Effektivität des Lernspiels bewerten zu können, wird ein aus einem Prätest, einem Posttest und einem Follow Up-Test bestehendes Untersuchungsdesign verwendet (siehe Abbildung 4.1, eine detaillierte Beschreibung der Fragebögen findet sich in Kapitel 4.2): Mit ersterem werden die Einstellungen und das Wissen der Schülerinnen und Schüler vor der Intervention mit dem Lernspiel erhoben. Der Posttest kommt nach der Bearbeitung von Graph Sketching zum Einsatz. Zusammen mit den Daten des Prätests ermöglicht er einen Rückschluss auf die Lernwirksamkeit des Serious Games. Der rund fünf Wochen später folgende Follow Up-Test beinhaltet dieselben Fragen zur Feststellung des Fachwissens wie der Posttest und überprüft die Langzeitwirkung der Intervention. Das Lernspiel und die beiden ersten Fragebögen werden in jeder der teilnehmenden Klassen innerhalb von einer Doppelstunde durchgeführt. Die Testungen dauern jeweils maximal 15 Minuten, für die Bearbeitung von Graph Sketching sind zusammen mit dem Vortraining rund 50 Minuten vorgesehen. Bei letzterem werden das Userinterface und das Spielprinzip anhand von einfachen Levels im Klassenverband besprochen und eventuell auftretende Fragen geklärt. Das Lernspiel soll von den Schülerinnen und Schülern dann weitgehend selbstständig bearbeitet werden. Danach folgt noch eine kurze Zusammenfassung in der Klasse.

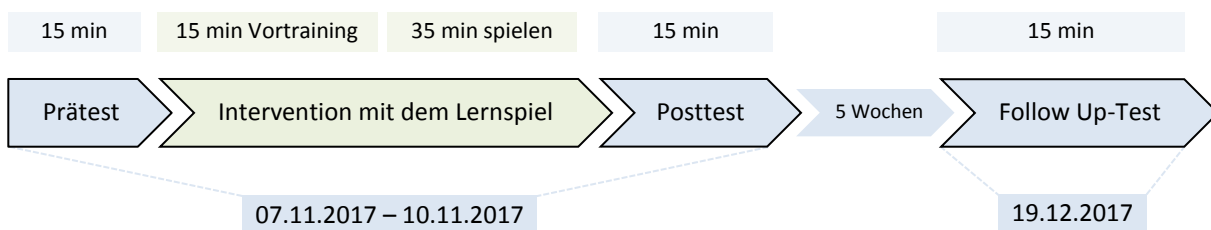


Abbildung 4.1. Untersuchungsdesign der empirischen Studie bestehend aus einem Prätest, einem Posttest und einem Follow Up-Test. In der oberen Zeile ist jeweils die vorgesehene Dauer der Tests und der Intervention angegeben, in der unteren Zeile das Datum der Durchführung.

Setting der Studie

Die empirische Untersuchung findet in zwei zweiten, einer dritten und zwei vierten Klassen einer Neuen Niederösterreichischen Mittelschule (NMS) statt. Vor der Durchführung wurde die Erlaubnis der Direktion eingeholt und ein entsprechender Antrag an den Landesschulrat von Niederösterreich gestellt. Eine Woche vor Beginn der Studie wurden die Erziehungsberechtigten der Schülerinnen und Schüler über die Untersuchung informiert und ihr Einverständnis für die Teilnahme eingeholt (siehe Anhang C). Um die Anonymität der Testpersonen zu gewährleisten, ziehen die Kinder am Anfang der ersten Stunde einen Usercode (siehe Anhang B). Dieser setzt sich aus der Klasse kombiniert mit einer Nummer von 1 bis 25 zusammen und wird bei den Tests und dem Lernspiel anstelle des richtigen Namens angegeben.

Die Anzahl der teilnehmenden Personen ist ebenso wie die zeitliche Abfolge der Untersuchung in Tabelle 4.1 zu sehen: Die zwei Tage pro Klasse, an denen die Studie durchgeführt wird, fallen in den Zeitraum vom 07.11.2017 bis zum 19.12.2017. Zwischen dem Einsatz von Graph Sketching und dem Follow Up-Test liegen in jedem Fall mindestens fünf, maximal sechs Wochen. Die relevante Stichprobe besteht aus all jenen Schülerinnen und Schülern, die sowohl bei der Intervention mit dem Lernspiel als auch bei allen drei Tests anwesend waren. Außerdem muss eine eindeutige Zuordnung der abgegebenen Fragebögen zu den Usercodes möglich sein. Von den ursprünglich 76 Teilnehmenden erfüllen 66 diese Voraussetzungen. Das Verhältnis von Buben und Mädchen ist mit 33 zu 32 beinahe ausgeglichen. Die dritten Klassen sind mit 16 Schülerinnen und Schülern weniger stark vertreten als die zweiten Klassen mit 23 und die vierten Klassen mit 27 Testpersonen. Eine weitere Unterscheidung in gleichaltrige Mädchen und Buben führt zu geringen Gruppengrößen (mit teilweise $n < 10$), weswegen im Folgenden auf eine entsprechende Darstellung und Auswertung verzichtet wird.

Klassen		Prätest			Posttest			Follow Up-Test			Stichprobe					
		Datum	Teilnehmende			Datum	Teilnehmende			Datum	Teilnehmende			Teilnehmende		
			gesamt	m	w		gesamt	m	w		gesamt	m	w	ges.	m	w
2.	2A	10.11.17	14	5	9	10.11.17	14	5	9	19.12.17	12	4	8	12	4	8
	2B	09.11.17	11	5	6	09.11.17	11	5	6	19.12.17	11	5	6	11	5	6
3.	3A	07.11.17	20	8	11	07.11.17	20	8	11	19.12.17	18	8	9	16	6	9
4.	4A	07.11.17	13	9	4	07.11.17	13	9	4	19.12.17	10	7	3	10	7	3
	4B	07.11.17	18	12	6	07.11.17	18	12	6	19.12.17	17	11	6	17	11	6
alle Klassen			76	39	36		76	39	36		68	33	32	66	33	32

Tabelle 4.1. Zusammensetzung der Stichprobe. Eine Person aus der 3. Klasse hat kein Geschlecht angegeben. Die farbliche Codierung (blau = männlich, gelb = weiblich, grün = 4. Klassen, rot = 3. Klasse, dunkelblau = 2. Klassen und schwarz = alle Teilnehmenden) wird in der Arbeit beibehalten.

4.2 Verwendete Testinstrumente

Die für die empirische Untersuchung relevanten Daten werden mit einem Prätest, einem Posttest und einem Follow Up-Test erhoben. Zusammen mit den Spielaufzeichnungen (siehe Kapitel 3.2.1), die durch die zu Beginn eingegebenen Usercodes den abgegebenen Fragebögen zugeordnet werden können, ermöglichen sie eine Überprüfung der vier in Kapitel 1 aufgestellten Hypothesen zur Lernwirksamkeit und motivierenden Wirkung von Graph Sketching. Im Folgenden werden die einzelnen Items der Testinstrumente beschrieben und – wo vorhanden – Vergleichsdaten aus der Literatur angeführt.

4.2.1 Der Prätest

Der Prätest wird von den Schülerinnen und Schülern vor der Intervention mit dem Lernspiel bearbeitet. Er beinhaltet zwei Aufgaben zu Bewegungsdiagrammen, mit denen das Vorkommen typischer Schülervorstellungen erfasst wird, und mehrere Fragen zu der Einstellung der Lernenden zu Physik und ihren Kenntnissen im Umgang mit Computern.

Aufgabe 1

Die erste Aufgabe des Prättests ist in Abbildung 4.2 dargestellt. Es handelt sich um die deutsche Übersetzung einer leicht veränderten Variante des Testitems 17 aus dem Kinematics Concept Test von Lichtenberger et al. (2017). Dieser ist für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II ausgelegt, weswegen die Frage für den Einsatz in der Neuen Mittelschule abgeändert wurde: In Anlehnung an die Möglichkeiten in Graph Sketching bleibt die Position über den ganzen Verlauf des Graphen hinweg positiv. Die entsprechende dritte Antwortmöglichkeit „*The object first moves forward (positive direction), then it moves backward (negative direction)*“ (Lichtenberger et al. 2017, Ergänzungsmaterial S. 16) des originalen Testitems wurde entfernt und durch den aus einer ähnlichen Aufgabe von Beichner (1994) stammenden Distraktor „Der Körper steht die ganze Zeit still“ ersetzt. Zusätzlich wurde noch eine offene Frage, bei der die Schülerinnen und Schüler ihre Entscheidung erklären sollen, angefügt. Ziel ist es, mit dieser Aufgabe die Häufigkeit der Schülervorstellung Graph as Picture Error vor der Intervention mit dem Lernspiel festzustellen. Der Distraktor d) „Der Körper rollt einen schiefen Hang hinunter“ deutet zusammen mit einer entsprechenden Erklärung auf diese Fehlvorstellung hin.

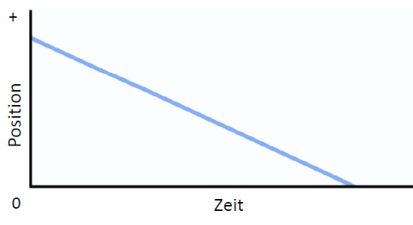
In der Studie von Lichtenberger et al. (2017) konnten 256 von 338 schweizer Gymnasiastinnen und Gymnasiasten mit einem Durchschnittsalter von 15,4 Jahren die originale Version der Aufgabe nach einem einführenden Kinematikunterricht richtig lösen (das entspricht rund 76 %). Die den Graph as Picture Error repräsentierende Antwortmöglichkeit wurde dabei von nur einer Person ausgewählt.

Aufgabe 1

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt. Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegung des Körpers am besten?

- Der Körper steht die ganze Zeit still.
- Der Körper bewegt sich die ganze Zeit vorwärts (positive Richtung).
- Der Körper bewegt sich die ganze Zeit rückwärts (negative Richtung).
- Der Körper rollt einen schiefen Hang hinunter.

Wie erklärst du deine Entscheidung?



Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der vertikalen Achse 'Position' und der horizontalen Achse 'Zeit'. Die Ursprünge sind mit '0' beschriftet. Eine blaue Gerade beginnt auf der positiven Position-Achse und verläuft mit einer konstanten negativen Steigung bis zur Zeit-Achse.

Abbildung 4.2. Aufgabe 1 des Prättests zur Feststellung der Schülervorstellung „Graph as Picture Error“. In Anlehnung an das Testitem 17 des Kinematics Concept Tests von Lichtenberger et al. (2017).

Aufgabe 2

Die zweite Aufgabe des Prättests (siehe Abbildung 4.3) ist die deutsche Übersetzung einer nur leicht veränderten Variante eines Beispiels aus dem Artikel von McDermott, Rosenquist & van Zee (1987): Im Unterschied zum Original wurde der gefragte Zeitpunkt t_0 in dem Bewegungsdiagramm markiert. Außerdem wurde die Skalierung leicht abgeändert, wobei aber die Form und die Relation der Graphen zueinander beibehalten wurden. Mit dieser Aufgabe soll die Häufigkeit der Schülervorstellung Slope / Height Confusion festgestellt werden. Wird bei Frage A die Antwort b) „Körper B“ gewählt, so deutet das auf die Fehlvorstellung hin, dass B schneller als A sein muss, weil die Linie von A höher liegt als jene von B – ungeachtet der unterschiedlichen Steigungen der beiden. Wird bei Frage B a) „Ja“ gewählt, so wird bei vorliegender Slope / Height Confusion der Zeitpunkt der Überschneidung von den beiden Graphen mit einer gleich großen Geschwindigkeit in Verbindung gebracht. Vergleichsdaten aus der Literatur zu den Häufigkeiten der gegebenen Antworten liegen bei dieser Aufgabe leider nicht vor.

Aufgabe 2

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm von zwei Körpern A und B dargestellt.

A) Welcher Körper hat zum Zeitpunkt $t_0 = 1$ s die größere Geschwindigkeit?

Körper A.
 Körper B.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

B) Sind beide Körper irgendwann gleich schnell?

Ja.
 Nein.

C) Falls ja, wann?

Abbildung 4.3. Aufgabe 2 des Prätests zur Feststellung der Schülervorstellung "Slope / Height Confusion". In Anlehnung an eine Aufgabe von McDermott, Rosenquist & van Zee (1987).

Aufgabe 3

Abbildung 4.4 zeigt die dritte Aufgabe des Prätests. Mit dieser werden die Einstellungen der Schülerinnen und Schüler zu Physik und ihre Computerkenntnisse anhand von einer vierstufigen Skala erhoben. Die Fragen 1 bis 5 wurden dabei aus der Diplomarbeit von Gaida (2017) übernommen und sind dazu gedacht, das Fachinteresse (1), die Beliebtheit des Faches (2), die extrinsische Motivation (3), die intrinsische Motivation (4) und das Sachinteresse (5) zu ermitteln. Die Fragen 7 bis 10 befassen sich mit der Affinität der Kinder mit Computern und dem Internet. Zusätzlich wird auch nach dem Geschlecht und dem Zugriff auf einen Computer außerhalb der Schule (6) gefragt.

Aufgabe 3

Diese Aufgabe beinhaltet keine Fragen zum physikalischen Wissen, sondern allgemeine Fragen über dich und zum Fach Physik. Kreuze für die Beantwortung der Fragen Zutreffendes an!

Geschlecht: männlich weiblich

		Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
1.	Das Fach Physik hat für mich einen großen Stellenwert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Das Fach Physik gehört zu meinen Lieblingsfächern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Ich lerne Physik, damit ich eine gute Note bekomme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Im Fach Physik lerne ich etwas Wichtiges für das Leben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Ich bin interessiert an den Anwendungen der Physik im Alltag.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Ich habe einen Computer zuhause.	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein
		Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
7.	Ich kenne mich gut mit Computern aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Ich verwende Computer in der Schule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Ich spiele in meiner Freizeit Computerspiele.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Ich surfe in meiner Freizeit im Internet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 4.4. Aufgabe 3 des Prätests. Die Fragen 1 bis 5 wurden aus der Diplomarbeit von Gaida (2017) übernommen und erheben affektive Aspekte. Die Fragen 6 bis 10 haben die Computerkenntnisse der Schülerinnen und Schüler zum Thema.

4.2.2 Der Posttest

Der Posttest wird direkt nach der Intervention mit dem Lernspiel durchgeführt. Er umfasst fünf Aufgaben, von denen die ersten vier das fachliche Wissen der Schülerinnen und Schüler über Bewegungsdiagramme zum Thema haben. Die Testitems sind dabei immer einstufig und haben fünf verschiedene Antwortmöglichkeiten, die sich teilweise an bekannten Schülervorstellungen orientieren. Die letzte Aufgabe besteht aus mehreren Fragen, die auf eine Bewertung von Graph Sketching durch die Schülerinnen und Schüler abzielen.

Aufgabe 1

Die Aufgabe 1 des Posttests ist in Abbildung 4.5 dargestellt. Sie wurde beinahe eins zu eins aus dem Kinematics Concept Test von Lichtenberger et al. (2017) übernommen und ins Deutsche übersetzt. Lediglich das Design des Bewegungsdiagramms wurde der Konsistenz mit den vorhergehenden Testitems wegen verändert, wobei aber die generelle Form des Graphen beibehalten wurde. Für die richtige Beantwortung der Aufgabe muss nach Lichtenberger et al. (2017) das in der Kinematik wichtige Konzept „Geschwindigkeit als Änderung der Position“ verstanden werden. Der Distraktor b) „Bei Punkt 2“ weist auf eine Slope / Height Confusion hin, da hierbei der höchste Punkt in dem Position-Zeit-Diagramm mit der größten Geschwindigkeit in Verbindung gebracht wird.

In der Studie von Lichtenberger et al. (2017) konnten 204 von 338 schweizer Gymnasiastinnen und Gymnasiasten mit einem Durchschnittsalter von 15,4 Jahren die Aufgabe nach einem einführenden Kinematikunterricht richtig lösen (das entspricht rund 60 %). Die auf eine Slope / Height Confusion hindeutende Antwortmöglichkeit wurde dabei von 31 Testpersonen ausgewählt.

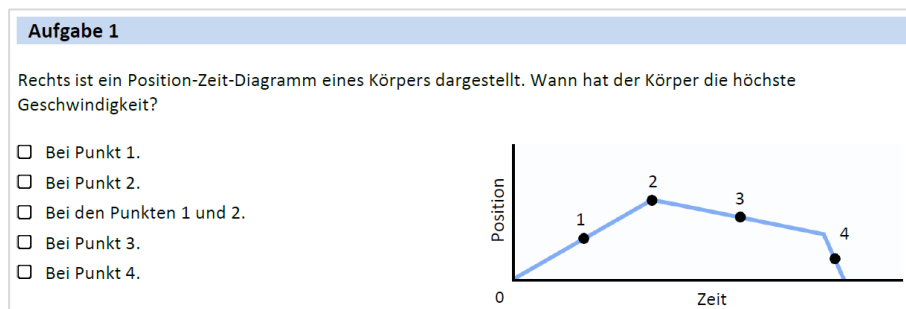


Abbildung 4.5. Aufgabe 1 des Posttests zur Feststellung der Schülervorstellung „Slope / Height Confusion“. Entspricht dem Testitem 11 aus dem Kinematics Concept Test von Lichtenberger et al. (2017).

Aufgabe 2

In Abbildung 4.6 ist die zweite Aufgabe des Posttests zu sehen. Sie entspricht einer deutschen Übersetzung des Items 8 aus dem Test of Understanding Graphs in Kinematics von Beichner (1994). Nur das Design des Diagramms wurde wieder an die vorhergehenden Testitems angepasst. Die drei Distraktoren a) „Der Körper rollt auf einer ebenen Fläche. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.“, b) „Der Körper bewegt sich zunächst nicht. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.“ und e) „Der Körper bewegt sich entlang einer ebenen Fläche. Dann bewegt er sich einen Hügel hinunter und bewegt sich weiter.“ weisen auf einen generellen oder lokalen Graph as Picture Error hin.

In einer von Beichner (1994) durchgeführten Testung konnten rund 37 % der Schülerinnen und Schüler die Aufgabe richtig lösen. Insgesamt 27 % der gegebenen Antworten fielen auf einen der drei Distraktoren, die mit dem Graph as Picture Error in Verbindung gebracht werden.

Aufgabe 2

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt.

Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegung des Körpers am besten?

- Der Körper rollt auf einer ebenen Fläche. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich zunächst nicht. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit. Dann wird er langsamer und bleibt stehen.
- Der Körper bewegt sich zunächst nicht. Dann bewegt er sich zurück und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich entlang einer ebenen Fläche. Dann bewegt er sich einen Hügel hinunter und bewegt sich weiter.

Abbildung 4.6. Aufgabe 2 des Posttests zur Feststellung der Schülervorstellung „Graph as Picture Error“. Entspricht dem Testitem 8 aus dem Test of Understanding Graphs in Kinematics von Beichner (1994).

Aufgabe 3

Bei der dritten Aufgabe des Posttests (siehe Abbildung 4.7) handelt es sich um die deutsche Übersetzung einer abgewandelten Version des Items 12 aus dem Kinematics Concept Test von Lichtenberger et al. (2017). Im Unterschied zum Original bleibt die Position in Anlehnung an die Möglichkeiten in Graph Sketching wieder über den ganzen Verlauf hinweg positiv. Die dritte Antwortmöglichkeit „The object moves forward until $t = 6.0$ s, then it moves backward.“ (Lichtenberger et al. 2017, Ergänzungsmaterial S. 4) wurde entsprechend abgewandelt. Außerdem werden bei den Zeitangaben ganze Sekunden verwendet. Die Aufgabe überprüft nach Lichtenberger et al. (2017) das Konzept „Geschwindigkeit als eindimensionaler Vektor“, bei dem es um Richtungsänderungen geht.

Lichtenberger et al. (2017) geben die richtige Antwortrate mit 78 % an. Es konnten also 262 von 338 schweizer Gymnasiastinnen und Gymnasiasten die Aufgabe korrekt lösen.

Aufgabe 3

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines sich bewegenden Körpers dargestellt. Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegungsrichtung des Körpers am besten?

(vorwärts = positive Richtung, rückwärts = negative Richtung)

- Der Körper bewegt sich immer nach vorne.
- Der Körper bewegt sich bis $t = 2$ s vorwärts, dann bewegt er sich rückwärts.
- Der Körper bewegt sich bis $t = 4$ s vorwärts, dann bewegt er sich rückwärts.
- Zuerst bewegt sich der Körper vorwärts (bis $t = 2$ s), dann rückwärts und schließlich (von $t = 4$ s) wieder vorwärts.
- Der Körper bewegt sich immer rückwärts.

Abbildung 4.7. Aufgabe 3 des Posttests. In Anlehnung an das Testitem 12 aus dem Kinematics Concept Test von Lichtenberger et al. (2017).

Aufgabe 4

Die Aufgabe 4 des Posttests ist in Abbildung 4.8 dargestellt. Sie entspricht dem Item 11 aus dem Test of Understanding Graphs in Kinematics von Beichner (1994). Dieselbe Fragestellung kommt mit leicht veränderten Bewegungsdiagrammen auch in dem Test zur Erfassung der Repräsentationskompetenz in Kinematik (Item 37) von Klein, Müller & Kuhn (2017) und in dem Kinematics Concept Test (Item 4) von Lichtenberger et al. (2017) vor. Die Aufgabe kann den beiden Konzepten „Geschwindigkeit als eindimensionaler Vektor“ und „Geschwindigkeit als Änderung der Position“ zugeordnet werden (Lichtenberger et al. 2017). Das zur Lösung dieser Aufgabe erforderliche Umwandeln von Position-Zeit-Diagrammen in Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme wird von Beichner (1994) als ein wichtiger Teil des Kinematikunterrichts bezeichnet.

In der Studie von Beichner (1994) konnten rund 36 % der getesteten Schülerinnen und Schüler die Aufgabe lösen. Bei der Untersuchung von Lichtenberger et al. (2017) kreuzten 184 von 338 Gymnasiastinnen und Gymnasiasten die richtige Antwort an. Klein, Müller & Kuhn (2017) geben bei einer Testung von 83 Personen 81 % korrekte Lösungen an. Als ungewichteter Durchschnitt dieser drei Ergebnisse ergibt sich damit eine richtige Antwortrate von rund 57 %.

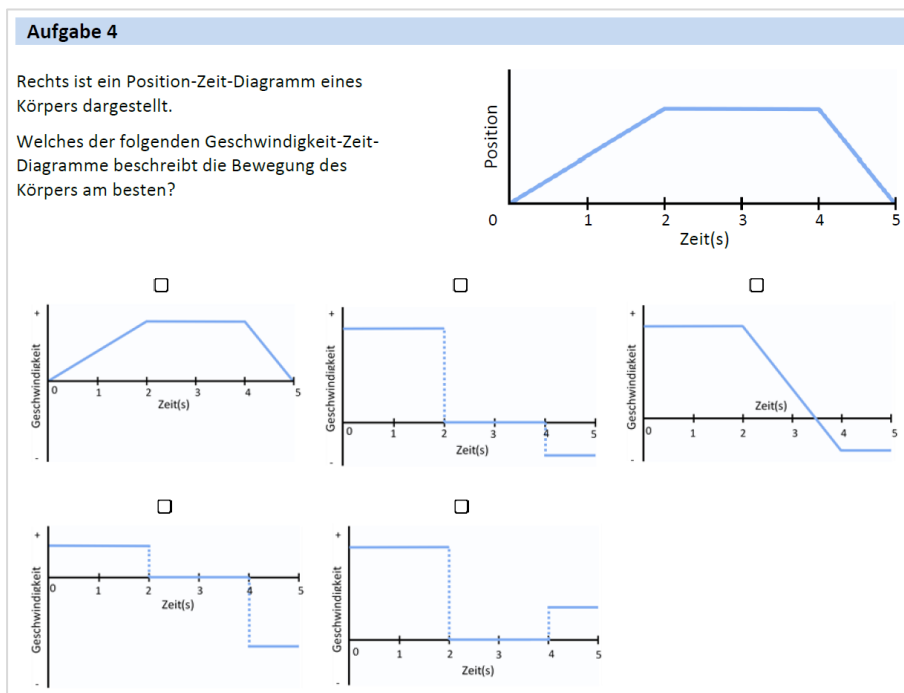


Abbildung 4.8. Aufgabe 4 des Posttests. Entspricht dem Testitem 11 aus dem Test of Understanding Graphs in Kinematics von Beichner (1994).

Aufgabe 5

Die letzte Aufgabe des Posttests ist in Abbildung 4.9 zu sehen und befasst sich mit dem Lernspiel Graph Sketching. Die Fragen 1 bis 6 werden durch Ankreuzen der Zustimmung auf einer vierstufigen Skala beantwortet und zielen auf die Freude beim Spielen (1), die Verständlichkeit der Anweisungen (2), den Grad der Herausforderung (3 und 4), das optische Design (5) und die Einschätzung der Lernwirksamkeit durch die Schülerinnen und Schüler (6) ab. Die letzte Frage ist offen formuliert und bezieht sich auf Verbesserungsvorschläge für das Lernspiel.

Aufgabe 5		Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
Diese Aufgabe beinhaltet keine Fragen zum physikalischen Wissen, sondern Fragen über das eingesetzte Lernspiel „Graph Sketching“. Kreuze für die Beantwortung der Fragen Zutreffendes an!					
1.	Das Spiel hat mir Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Ich wusste immer, was zu tun war.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Das Spiel war zu schwer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Das Spiel war zu leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Das Spiel hat mir optisch gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Ich habe etwas beim Spielen gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Was würdest du an dem Spiel ändern?					

Abbildung 4.9. Aufgabe 5 des Posttests. Die Fragen beziehen sich auf das Lernspiel.

4.2.3 Der Follow Up-Test

Der Follow Up-Test wird mindestens fünf Wochen nach der Intervention mit dem Lernspiel durchgeführt. Er beinhaltet fünf Aufgaben, wobei die ersten vier zur Überprüfung des fachlichen Wissens dienen und mit den zuvor beschriebenen Aufgaben 1 bis 4 des Posttests ident sind. Dadurch wird ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich. Die letzte Aufgabe besteht nur aus einer Frage zum Wiederspielwert von Graph Sketching (siehe Abbildung 4.10), die wieder durch Ankreuzen der Zustimmung auf einer vierstufigen Skala beantwortet wird.

Aufgabe 5		Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
Diese Aufgabe beinhaltet keine Fragen zum physikalischen Wissen, sondern Fragen über das eingesetzte Lernspiel „Graph Sketching“. Kreuze für die Beantwortung der Fragen Zutreffendes an!					
1.	Ich würde das Spiel gerne nochmals spielen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 4.10. Aufgabe 5 des Follow Up-Tests. Die Frage hat den Wiederspielwert von dem Lernspiel zum Thema.

5 Darstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Prätests, Posttests und Follow Up-Tests zusammen mit einigen der erhobenen Spieldaten dargestellt. Auf den Inhalt der einzelnen Testitems wird dabei nur kurz verwiesen, eine genaue Beschreibung der Fragen und Antwortmöglichkeiten ist den Abbildungen in Kapitel 4.2 zu entnehmen. Die richtigen Lösungen werden in den Diagrammen mit den festgestellten Antworthäufigkeiten grün markiert, jene, die auf eine Schülervorstellung hinweisen, rot. Die relevante Stichprobe mit einem Umfang von 66 Schülerinnen und Schülern ist in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Bei der Auswertung der Follow Up-Tests werden die Daten der dritten Klasse aufgrund von Problemen bei der Durchführung (siehe Kapitel 5.3) allerdings nicht miteinbezogen. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Testpersonen auf 50.

5.1 Ergebnisse des Prätests

5.1.1 Aufgabe 3

Mit der Aufgabe 3 werden neben dem Geschlecht auch die Einstellung der Schülerinnen und Schüler zu Physik und ihre Computeraffinität auf einer vierstufigen Skala erhoben. Für die Auswertung werden den gegebenen Antworten die Ränge 1 („Stimmt gar nicht“), 2 („Stimmt eher nicht“), 3 („Stimmt eher“) und 4 („Stimmt ganz genau“) zugeordnet. Obwohl es sich um ordinalskalierte Merkmale handelt, wird der Übersicht wegen eine Darstellung der Mittelwerte gewählt. Durchschnittliche Werte über 2,5 stehen daher für eine positive Ausprägung des untersuchten Merkmals, während ein mittlerer Wert unter 2,5 mit einer negativen Ausprägung in Verbindung gebracht werden kann.

Affektive Aspekte

In dem folgenden Diagramm 5.1 sind die Höhe des erhobenen Fachinteresses, der Beliebtheit des Faches, der extrinsischen Motivation, der intrinsischen Motivation und des Sachinteresses angeführt. Die Schülerinnen und Schüler der zweiten Klassen haben insgesamt eine positivere Einstellung zu Physik als ihre Kolleginnen und Kollegen, die größten Unterschiede liegen dabei bei der Beliebtheit des Faches und der intrinsischen Motivation vor. Das Fach- und Sachinteresse ist in allen Klassen leicht positiv ausgeprägt. Zwischen Buben und Mädchen existiert kaum ein Unterschied in Hinblick auf die erhobenen affektiven Aspekte.

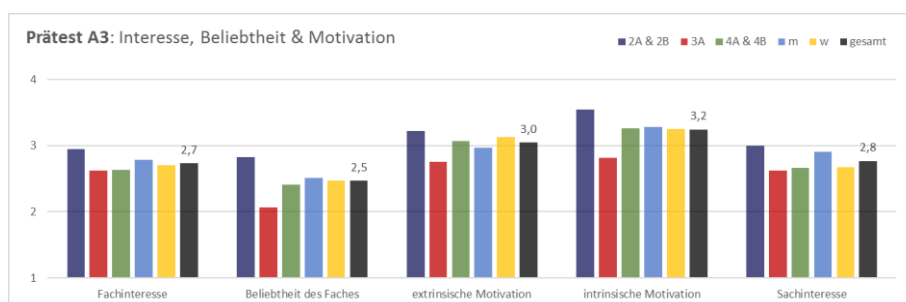


Diagramm 5.1. Prätest A3: Mittelwerte von Interesse, Beliebtheit des Faches und Motivation nach Klassen und Geschlecht.

Computeraffinität

Die erhobenen Daten zu den Computerkenntnissen und der Verwendung von Computern in der Schule, zum Spielen und zum Surfen im Internet sind in Diagramm 5.2 nach Klassen und nach Geschlecht aufgeschlüsselt dargestellt. Ihren eigenen Angaben zufolge können die Schülerinnen und Schüler gut mit Computern umgehen und verwenden diese auch regelmäßig im Unterricht. 90,9 % der befragten Kinder geben außerdem an, einen Computer zu besitzen. Die Buben schätzen ihre Computerkenntnisse mit einem Durchschnittswert von 3,3 höher ein als die Mädchen mit 2,8. Die männlichen Teilnehmer der Studie spielen mit einem Wert von 3,2 auch deutlich öfter Computerspiele als ihre Kolleginnen mit 2,2. Beim Surfen im Internet gibt es dagegen kaum Unterschiede.

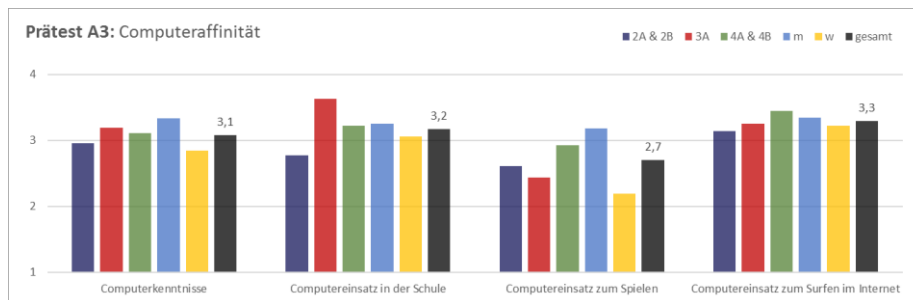


Diagramm 5.2. Prätest A3: Mittelwerte der Computerkenntnisse und -verwendung nach Klassen und Geschlecht.

5.1.2 Aufgabe 1

Mit Aufgabe 1 wird die Häufigkeit der Schülervorstellung Graph as Picture Error ermittelt. Dazu soll das Position-Zeit-Diagramm einer gleichförmigen Bewegung interpretiert werden. Die Aufgabe besteht aus einer entsprechenden Multiple Choice Frage mit vier Antwortmöglichkeiten und einer offenen Frage, bei der die Schülerinnen und Schüler ihre Entscheidung begründen sollen. Im Diagramm 5.3 sind die Häufigkeiten der gekreuzten Antworten dargestellt. Der mit dem Graph as Picture Error assoziierte Distraktor d) wurde mit 28,8 % am häufigsten ausgewählt, die richtige Antwort c) mit 19,7 % am seltensten. 48,5 % der Testpersonen haben einen der beiden anderen Distraktoren angekreuzt und zwei Schüler aus der zweiten Klasse haben gar keine Antwort angegeben. Die bei der offenen Frage angeführten Begründungen werden drei Kategorien zugeordnet:

- Richtige Vorstellung: Nur 10,6 % der Erklärungen stimmen mit der richtigen Vorstellung, dass sich der Körper zurückbewegt, da die Position mit der Zeit geringer wird, überein. Ein Beispiel ist die Antwort „Weil der Körper bei positiver Position in die negative Position geht“ von 2B17.
- Graph as Picture Error: 25,8 % der Antworten deuten darauf hin, dass der Graph als eine direkte Abbildung des Bewegungsvorganges gesehen wird. Ein typisches Beispiel ist die Aussage „weil die Schwerkraft den Körper runterrollt“ von 3A03.
- Sonstige: 19,7 % der Begründungen können keiner der anderen Kategorien zugeordnet werden.
- Keine Antwort: Die Frage wurde von 43,9 % der Schülerinnen und Schüler nicht beantwortet.

Im Diagramm 5.4 ist die aus den erhobenen Daten abgeleitete Häufigkeit des Graph as Picture Errors in der untersuchten Stichprobe vor der Intervention mit dem Lernspiel zu sehen. Es wird dabei von dem Vorliegen der Schülervorstellung ausgegangen, wenn der entsprechende Distraktor angekreuzt und die abgegebene Erklärung auch als ein Graph as Picture Error kategorisiert wurde. Zusätzlich werden auch all jene Fälle dazugezählt, bei denen zwar die Antwortmöglichkeit d) gewählt, die

Entscheidung danach aber nicht begründet wurde. Der so ermittelte Graph as Picture Error tritt bei 28,8 % der Schülerinnen und Schüler auf und kommt in der dritten Klasse häufiger vor als in den anderen Schulstufen. Bezogen auf das Geschlecht liegt nur ein geringer Unterschied vor.

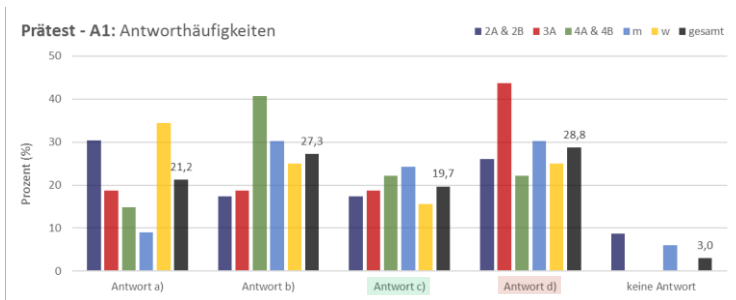


Diagramm 5.3. Prätest A1: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.

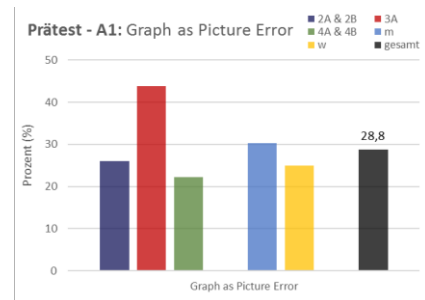


Diagramm 5.4. Prätest A1: Häufigkeit des Graph as Picture Errors.

5.1.3 Aufgabe 2

Aufgabe 2 gliedert sich in zwei Fragen und dient der Erfassung der Schülervorstellung Slope / Height Confusion. Dazu werden die Position-Zeit-Diagramme zweier gleichförmiger Bewegungen hinsichtlich ihrer Geschwindigkeiten verglichen. Nach den im Diagramm 5.5 dargestellten Antworthäufigkeiten wählen 51,5 % der Schülerinnen und Schüler bei Frage A die Antwort b) und bringen damit die höher liegende, aber flachere Linie mit einer größeren Geschwindigkeit in Verbindung. Bezogen auf die Schulstufe fällt auf, dass in den vierten Klassen die falsche Antwort weit häufiger gekreuzt wurde als in den anderen Klassen. Die schriftlichen Begründungen der Schülerinnen und Schüler werden wieder drei Kategorien zugeordnet:

- Richtige Vorstellung: In nur 18,2 % der Erklärungen wird von der Steigung auf die Geschwindigkeit geschlossen. Ein Beispiel ist die Antwort „A geht steiler in die höhe“ von 3A11.
- Slope / Height Confusion: 13,6 % der Kinder zeigen in ihrer Begründung eine Verwechslung von Steigung und Höhe. Ein typisches Beispiel ist die Aussage „Weil B weiter oben ist als A“ von 3A14.
- Sonstige: 47 % der Erklärungen konnten keiner der anderen Kategorien zugeordnet werden.
- Keine Antwort: Die offene Frage wurde von 21,2 % der Schülerinnen und Schüler nicht beantwortet.

Bei Frage B wählen 36,4 % der Kinder die falsche Antwort a). Als Zeitpunkt gleicher Geschwindigkeiten geben 58,3 % der Schülerinnen und Schüler dann $t = 2s$ an, was auf eine Slope / Height Confusion hinweist. Die restlichen Stimmen verteilen sich auf keine (12,5 %) und sonstige (29,2 %) Antworten.

Ebenso wie zuvor, wird auch bei Aufgabe 2 von dem Vorliegen der Schülervorstellung ausgegangen, wenn einer der Distraktoren ausgewählt wurde und aus der gegebenen Erklärung auf eine Verwechslung von Höhe und Steigung geschlossen werden kann. Auch bei entsprechenden angekreuzten Antworten in Kombination mit keiner angegebenen Begründung wird von dem Vorliegen einer Slope / Height Confusion ausgegangen. Diagramm 5.6 zeigt die so festgestellte Häufigkeit der Schülervorstellung (37,9 %) vor der Intervention mit dem Lernspiel. In der dritten Klasse tritt sie häufiger auf als in den anderen Schulstufen. Bei Betrachtung des Geschlechts fällt außerdem auf, dass Mädchen die Höhe und Steigung öfter verwechseln als Buben.

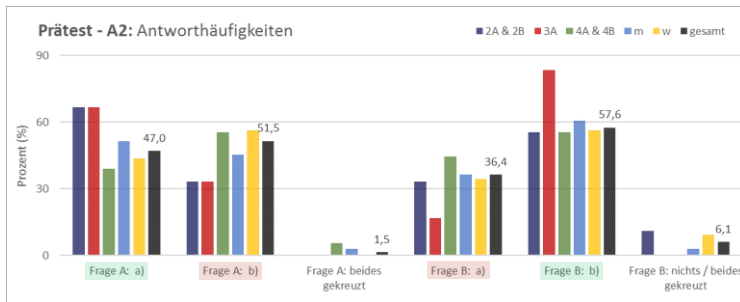


Diagramm 5.5. Prätest A2: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.

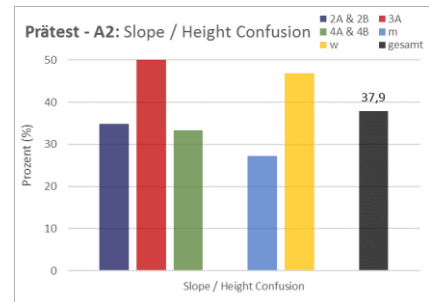


Diagramm 5.6. Prätest A2: Häufigkeit der Slope / Height Confusion.

5.2 Ergebnisse des Posttests

5.2.1 Aufgabe 1

Bei der ersten Aufgabe des Posttests ist das Position-Zeit-Diagramm einer Bewegung gegeben, die sich aus unterschiedlich schnellen Abschnitten zusammensetzt. Die Multiple Choice Frage mit fünf Antwortmöglichkeiten bezieht sich auf den Zeitpunkt der größten Geschwindigkeit. Nach den im Diagramm 5.7 dargestellten Antworthäufigkeiten konnten 66,7 % der Schülerinnen und Schüler die Aufgabe nach der Intervention mit dem Lernspiel richtig lösen. Zwischen Buben und Mädchen besteht dabei kaum ein Unterschied. In den zweiten Klassen wurde die richtige Antwort e) aber deutlich öfter ausgewählt als in der dritten Klasse. Der mit einer Slope / Height Confusion assoziierte Distraktor b), bei dem der höchste Punkt des Graphen mit der größten Geschwindigkeit in Verbindung gebracht wird, wurde nur in 18,2 % der Fälle angekreuzt, kommt aber in der dritten Klasse mit 37,5 % vergleichsweise häufig vor. Da keine Begründungen der Entscheidungen erfragt werden, wird von der Häufigkeit der Antwort b) direkt auf das Auftreten der entsprechenden Schülervorstellung geschlossen. Im Diagramm 5.8 ist zu sehen, dass die so ermittelte Slope / Height Confusion nach der Intervention bei einem größeren Teil der Buben als der Mädchen vorliegt.

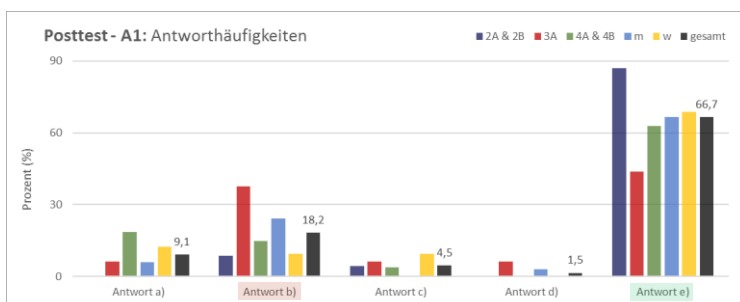


Diagramm 5.7. Posttest A1: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.

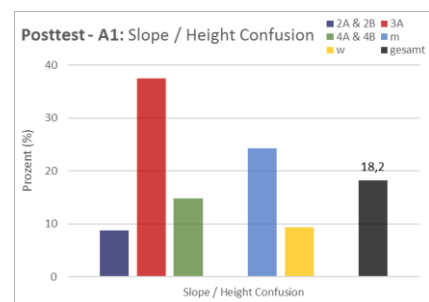


Diagramm 5.8. Posttest A1: Häufigkeit der Slope / Height Confusion.

5.2.2 Aufgabe 2

Bei der zweiten Aufgabe soll die zutreffendste Beschreibung einer in Form von einem Position-Zeit-Diagramm dargestellten Bewegung ausgewählt werden. Wie im Diagramm 5.9 zu sehen ist, konnte das

Beispiel von 50,0 % der Schülerinnen und Schüler richtig gelöst werden. Der Anteil der Buben, die die korrekte Antwort d) angekreuzt haben, ist dabei mit 39,4 % geringer als jener der Mädchen mit 59,4 %. Bezogen auf die Schulstufe fällt auf, dass die richtige Antwort in den zweiten Klassen häufiger gewählt wurde als in den anderen. Die drei auf den Graph as Picture Error hinweisenden Distraktoren a), b) und e) wurden zusammen von 39,4 % der Schülerinnen und Schüler ausgewählt. Ebenso wie zuvor wird auch hier direkt von der Häufigkeit der entsprechenden Antworten auf das Vorkommen der Schülervorstellung geschlossen (siehe Diagramm 5.10). Eine weitere Unterscheidung zwischen einem generellen und einem lokalen Graph as Picture Error wird bei der späteren Analyse nicht vorgenommen, weswegen auch hier auf eine entsprechende Darstellung verzichtet wird.

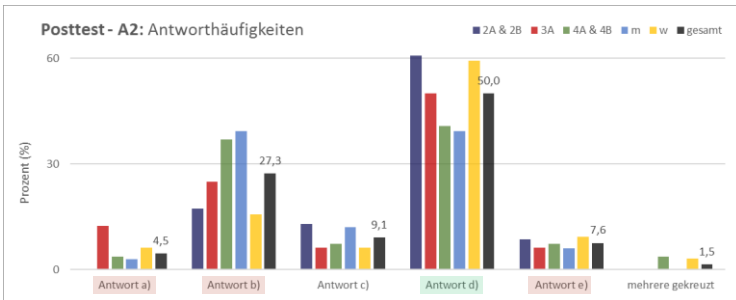


Diagramm 5.9. Posttest A2: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.

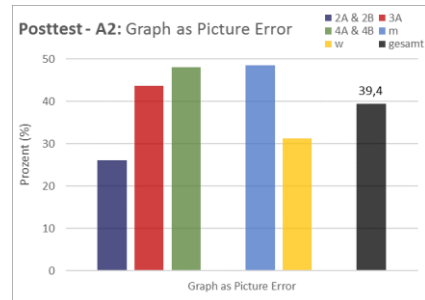


Diagramm 5.10. Posttest A3: Häufigkeit des Graph as Pictures Errors.

5.2.3 Aufgabe 3

Die Angabe der dritten Aufgabe besteht aus dem Position-Zeit-Diagramm einer Bewegung, bei der sich mehrmals sowohl der Betrag als auch die Richtung der Geschwindigkeit ändern. Ziel ist es, aus fünf unterschiedlichen Beschreibungen des Bewegungsvorganges die beste auszuwählen. Die Häufigkeiten der gekreuzten Antworten sind im Diagramm 5.11 zu sehen: 65,2 % der Schülerinnen und Schüler konnten die Aufgabe richtig lösen. Bezogen auf die Schulstufe liegen nur geringe Unterschiede vor. In Hinblick auf das Geschlecht fällt aber auf, dass mit 71,9 % mehr Mädchen die korrekte Antwort d) ausgewählt haben als Buben. Bei letzteren liegt die richtige Antwortrate nur bei 57,6 %. Am zweithäufigsten wurde der Distraktor c) gewählt, der sich von der richtigen Lösung nur in der Beschreibung des letzten Abschnittes der Bewegung unterscheidet.

5.2.4 Aufgabe 4

Bei der vierten Aufgabe muss der zu einem Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm passende Position-Zeit-Graph einer Bewegung ausgewählt werden. Nach den im Diagramm 5.12 dargestellten Häufigkeiten der gekreuzten Antworten konnten nur 18,2 % der Schülerinnen und Schüler das Beispiel korrekt lösen. In den vierten Klassen ist die richtige Antwortrate dabei mit 29,6 % am höchsten, in den zweiten Klassen mit nur 4,3 % am niedrigsten. In allen Schulstufen wird die Antwort a) mit Abstand am häufigsten gewählt. Diese zeigt ein Position-Zeit-Diagramm, welches in seiner Form mit dem gegebenen Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm komplett übereinstimmt.

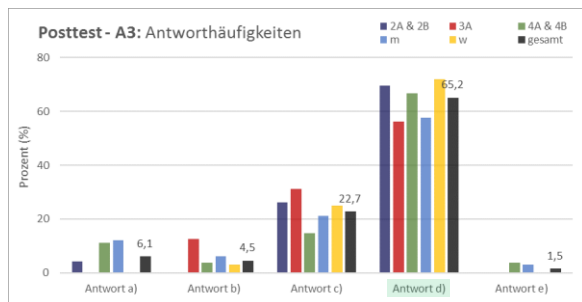


Diagramm 5.11. Posttest A3: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.

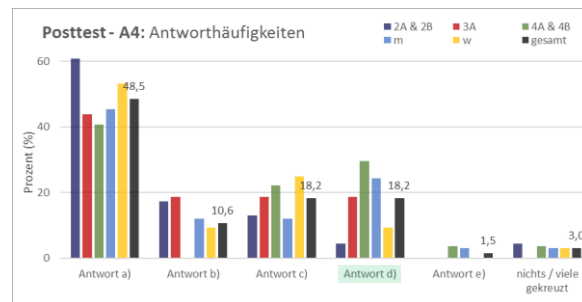


Diagramm 5.12. Posttest A4: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.

5.2.5 Aufgabe 5

Die letzte Aufgabe des Posttests besteht aus Aussagen über das Lernspiel Graph Sketching, denen die Schülerinnen und Schüler auf einer vierstufigen Skala zustimmen oder widersprechen können. Ebenso wie bei der Aufgabe 3 des Prätests (siehe 5.1.1) werden den Antworten auch hier Ränge von 1 („Stimmt gar nicht“) bis 4 („Stimmt ganz genau“) zugeordnet. Obwohl es sich um ordinalskalierte Merkmale handelt, wird auch hier eine übersichtliche Darstellung der Mittelwerte gewählt.

Wie in dem Diagramm 5.13 zu sehen ist, wird der Spielspaß von den Schülerinnen und Schülern hoch bewertet: 69,7 % stimmen der Aussage, dass das Spiel Spaß macht, vollkommen zu, während nur 3,0 % der Antworten einen niedrigeren Rang als 3 aufweisen. Die Klarheit der Instruktionen wird dagegen von 28,8 % der Kinder negativ betrachtet, wodurch sich ein nur leicht positiver Durchschnittswert von 2,9 ergibt. Für die meisten der Testpersonen ist das Lernspiel weder zu schwer, noch zu leicht. Das optische Design wird ebenfalls gut bewertet: Nur zwei der Antworten fallen negativ aus, besonders gut kommt die grafische Darstellung von Graph Sketching in den zweiten Klassen an. Die Lernwirksamkeit des Spiels wird von den Kindern auch positiv eingeschätzt.

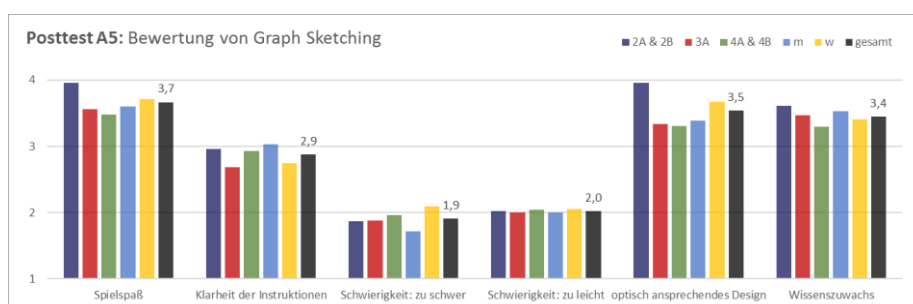


Diagramm 5.13. Posttest A5: Spielspaß, Klarheit der Instruktionen, Schwierigkeitsgrad, optisches Design und eingeschätzter Wissenszuwachs nach Klassen und nach Geschlecht.

Die letzte Frage der Aufgabe befasst sich mit Verbesserungsvorschlägen. Die gegebenen Antworten können mehreren Kategorien zugeordnet werden:

- Nichts: 47,0 % der Schülerinnen und Schüler geben keine Änderungswünsche an.
- Mehr Level: 6,3 % wünschen sich mehr Level oder verschiedene Spielmodi.
- Optisches Design: 6,1 % der Testpersonen möchten eine schönere Darstellung des Spiels.
- Schwierigkeitsgrad: 3,0 % geben an, dass das Spiel einfacher gestaltet werden soll.
- Sonstige: Die restlichen Antworten können keiner der obigen Kategorien zugeordnet werden.

5.3 Ergebnisse des Follow Up-Tests

Die Aufgaben 1 bis 4 des Follow Up-Tests sind mit jenen des Posttests ident. Die Methode der Auswertung stimmt bei diesen Testitems daher mit den in Kapitel 5.2 beschriebenen Vorgangsweisen überein. In der dritten Klasse wurden die mit dem Lernspiel behandelten Themen vor dem Follow Up-Test nochmals im Unterricht durchgenommen, weswegen die erhobenen Daten nicht für die Überprüfung der Langzeitwirkung von Graph Sketching herangezogen werden können und im Folgenden auch nicht dargestellt werden. Die Größe der relevanten Stichprobe verringert sich damit auf 50 Testpersonen, von denen 27 männlich und 23 weiblich sind (siehe Tabelle 4.1).

5.3.1 Aufgabe 1

Beim Follow Up-Test konnten 70,0 % der Schülerinnen und Schüler die erste Aufgabe richtig lösen (siehe Diagramm 5.14). Dabei wurde die korrekte Antwort e) weit häufiger von den Kindern aus den vierten Klassen (81,5 %) angekreuzt als von den Kindern der zweiten Klassen (56,5 %). Zwischen Buben (70,4 %) und Mädchen (69,6 %) liegen bezogen auf die richtige Antwortrate kaum Unterschiede vor. Der auf eine Slope / Height Confusion hinweisende Distraktor b) wurde nur von 12 % der Testpersonen ausgewählt. Wie in Diagramm 5.15 zu sehen ist, wurde die Schülervorstellung fünf Wochen nach der Intervention mit dem Lernspiel vorwiegend in den zweiten Klassen (21,7 %) und bei Mädchen (17,4 %) festgestellt.

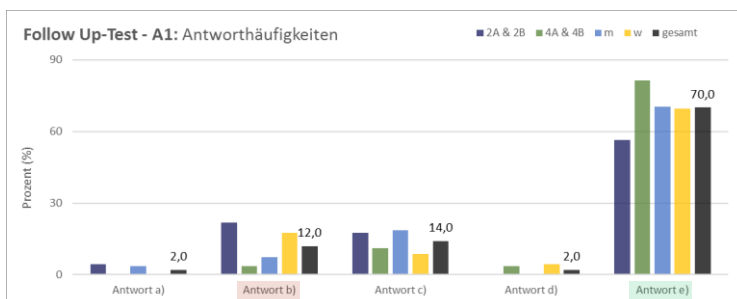


Diagramm 5.14. Follow Up-Test A1: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.

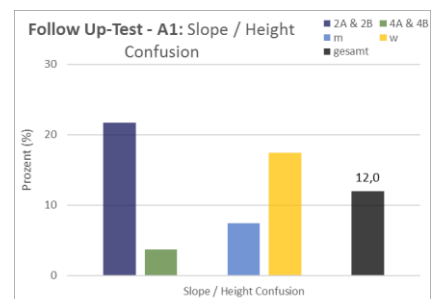


Diagramm 5.15. Follow Up-Test A1: Häufigkeit d. Slope / Height Confusion.

5.3.2 Aufgabe 2

Diagramm 5.16 zeigt die Antworthäufigkeiten bei der zweiten Aufgabe des Follow Up-Tests. Die richtige Beschreibung der Bewegung d) wurde insgesamt von 40,0 % der Schülerinnen und Schüler angekreuzt, wobei in den zweiten Klassen mit 43,5 % ein leicht höherer Anteil an korrekten Lösungen vorliegt als in den vierten Klassen mit 37,0 %. Die drei auf einen Graph as Picture Error hinweisenden Distraktoren wurden gemeinsam von 48,0 % der Testpersonen ausgewählt (siehe Diagramm 5.17). Bei Schülerinnen und Schülern der vierten Klassen wurde die Schülervorstellung mit 59,3 % häufiger festgestellt als bei den Kindern der zweiten Klassen, bei denen sie zu 34,8 % auftritt. Bezogen auf das Geschlecht ergeben sich nur geringe Unterschiede in der Häufigkeit des Graph as Picture Errors.

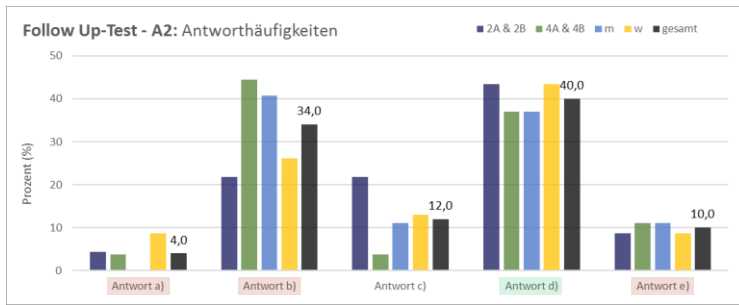


Diagramm 5.16. Follow Up-Test A2: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.

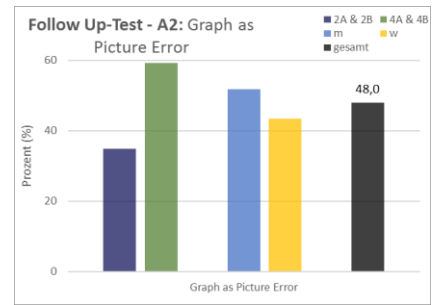


Diagramm 5.17. Follow Up-Test A2: Häufigkeit des Graph as Picture Errors.

5.3.3 Aufgabe 3

Im Diagramm 5.18 sind die Antworthäufigkeiten bei der dritten Aufgabe angeführt. Das Beispiel konnte von 64,0 % der Schülerinnen und Schüler richtig gelöst werden. Die korrekte Antwort d) wurde dabei in den zweiten Klassen mit 60,9 % weit häufiger gewählt als in den vierten Klassen mit 37,0 %. Vergleicht man die Mädchen mit den Buben, so fällt auf, dass 73,9 % der weiblichen Testpersonen die richtige Lösung angekreuzt haben, aber nur 55,6 % der männlichen Studienteilnehmer.

5.3.4 Aufgabe 4

Die Ergebnisse der vierten Aufgabe sind im Diagramm 5.19 zu sehen. Der Distraktor a), bei dem das Position-Zeit-Diagramm von der Form her komplett mit dem Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm übereinstimmt, wurde in allen Klassen mit Abstand am häufigsten gewählt. Der richtige Graph d) wurde nur von 8,0 % der Schülerinnen und Schüler angegeben, wobei die korrekte Antwort in den vierten Klassen mit 11,1 % etwas öfter angekreuzt wurde als in den zweiten Klassen mit 4,3 %.

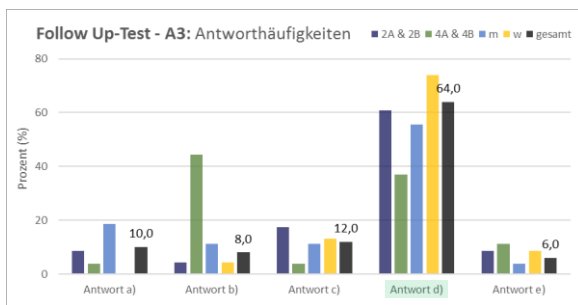


Diagramm 5.18. Follow Up-Test A3: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.

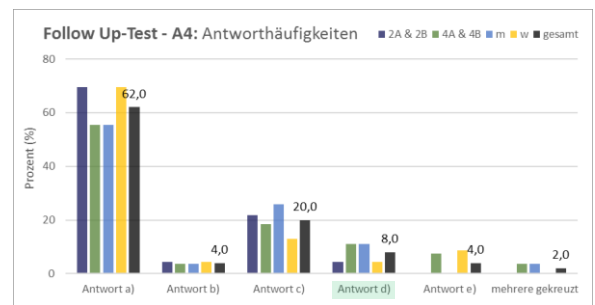


Diagramm 5.19. Follow Up-Test A4: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.

5.3.5 Aufgabe 5

Die letzte Aufgabe des Follow Up-Tests besteht nur aus einer einzelnen Frage, die sich auf den Wiederspielwert von Graph Sketching bezieht. Die Schülerinnen und Schüler können der Aussage „Ich würde das Lernspiel gerne nochmals spielen.“ wieder auf einer vierstufigen Skala zustimmen oder widersprechen. Die Ergebnisse sind im Diagramm 5.20 dargestellt: Der Wiederspielwert des Lernspiels wird mit einem durchschnittlichen Wert von 3,5 vorwiegend positiv bewertet. 57,6 % der Kinder

stimmen der Aussage vollkommen zu (Rang 4), 36,4 % zumindest ein wenig (Rang 3). Zwischen Buben und Mädchen ist dabei kein Unterschied feststellbar. Bezogen auf die Schulstufe fällt aber auf, dass die Zweitklässlerinnen und Zweitklässler den Wiederspielwert etwas höher einschätzen als ihre älteren Kolleginnen und Kollegen.

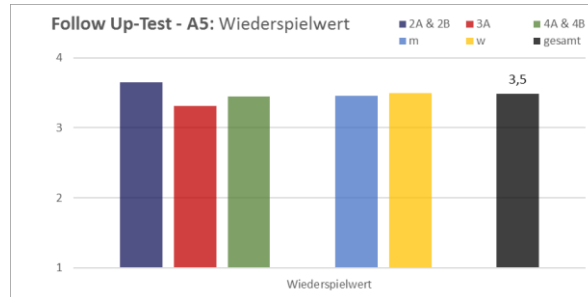


Diagramm 5.20. Follow Up-Test A5: Bewertung des Wiederspielwertes durch die Schülerinnen und Schüler.

5.4 Spieldaten

In diesem Abschnitt werden einige der während der Bearbeitung von Graph Sketching aufgezeichneten Daten (siehe Kapitel 3.2) zusammengefasst dargestellt. Der Fokus wird dabei auf jene Aspekte gelegt, die für die Bewertung und Weiterentwicklung des Lernspiels relevant sind.

Spielzeit

In dem folgenden Diagramm 5.21 ist die durchschnittliche Spielzeit der einzelnen Klassen angeführt. Diese liegt vor allem bei den Zweitklässlerinnen und Zweitklässlern mit rund 20 Minuten weit unterhalb der geplanten 35 Minuten (siehe Abbildung 4.1). Gründe dafür sind ein wegen vieler Fragen der Schülerinnen und Schüler länger ausfallendes Vortraining und der Umstand, dass die Computer erst gestartet werden mussten. Die pro Level aufgewandte Zeit (siehe Diagramm 5.22) liegt im Durchschnitt bei 2,3 Minuten. Deutliche Unterschiede sind in dieser Hinsicht bei Buben und Mädchen feststellbar: Während sich erstere mit 1,9 Minuten pro Level relativ rasch durch das Lernspiel klicken, lassen sich letztere mit 2,7 Minuten mehr Zeit für die einzelnen Aufgaben.

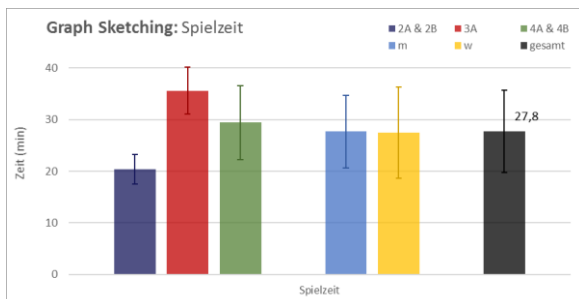


Diagramm 5.21. Mittelwerte der Spielzeit, als Streuparameter ist die Standardabweichung angegeben.

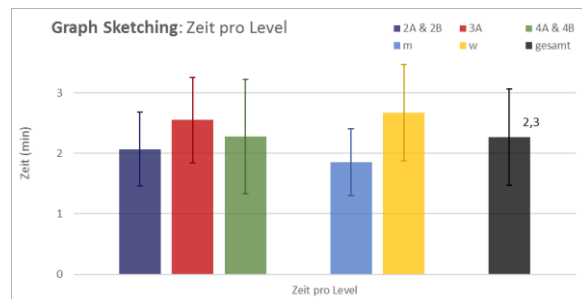


Diagramm 5.22. Mittelwerte der Zeit / Level, als Streuparameter ist die Standardabweichung angegeben.

Bearbeitete Level

Wie im Diagramm 5.23 zu sehen ist, wurden im Durchschnitt nur 13,3 der insgesamt 24 Level von den Schülerinnen und Schülern gespielt. In Übereinstimmung mit den zuvor dargestellten Daten zu der

aufgewendeten Zeit pro Level liegen die Buben dabei vor den Mädchen und die Kinder der dritten und vierten Klassen vor ihren jüngeren Kolleginnen und Kollegen. Während der Großteil der 15 Aufgaben zu Position-Zeit-Diagrammen von den meisten Testpersonen bearbeitet wurde, haben sich nur 13,6 % der Schülerinnen und Schüler mit mindestens der Hälfte der 9 Level zu Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen befasst (siehe Diagramm 5.24). Unter diesen hauptsächlich männlichen Studienteilnehmern findet sich keine einzige Person aus den zweiten Klassen.

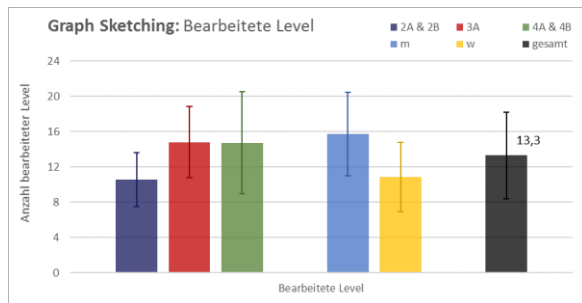


Diagramm 5.23. Mittelwerte der bearbeiteten Level (Streuparameter: Standardabweichung).

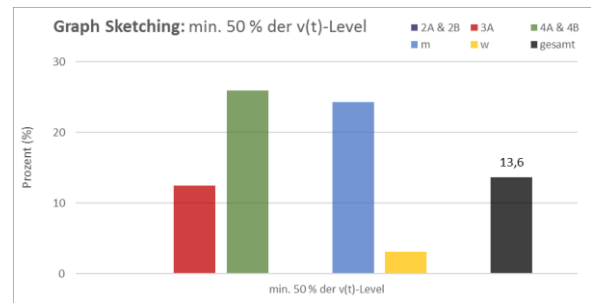


Diagramm 5.24. Anteil an Kindern, die mindestens 50 % der Level mit v(t)-Diagrammen bearbeitet haben.

Versuche und erreichte Punkte

Im Durchschnitt wurde das gezeichnete Diagramm von den Schülerinnen und Schülern in jedem Level 4,3 Mal verbessert, bevor es endgültig abgegeben wurde (siehe Diagramm 5.25). Die Mädchen liegen dabei mit 4,6 Versuchen vor den Buben, die im Mittel nur 3,9 Versuche verwendeten. Wie im Diagramm 5.26 zu sehen ist, beträgt die pro Versuch zum Anfertigen der Graphen benötigte Zeit im Mittel nur 12,2 Sekunden. Die weiblichen Studienteilnehmerinnen brauchen dabei mit 13,7 Sekunden etwas länger zum Zeichnen als ihre männlichen Kollegen mit 10,8 Sekunden. Diagramm 5.27 zeigt die pro Level erreichten Punkte: Beim Nachgehen von Diagrammen und dem Ausweichen von Gegnern wurden deutlich weniger Punkte erreicht als bei den anderen Aufgaben.

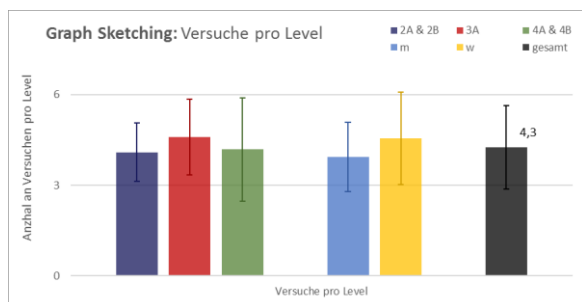


Diagramm 5.25. Mittlere Anzahl an Versuchen pro Level (Streuparameter: Standardabweichung).

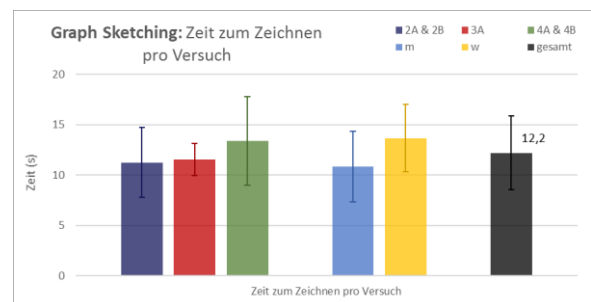


Diagramm 5.26. Mittlere Zeit zum Anfertigen der Diagramme (Streuparameter: Standardabweichung).

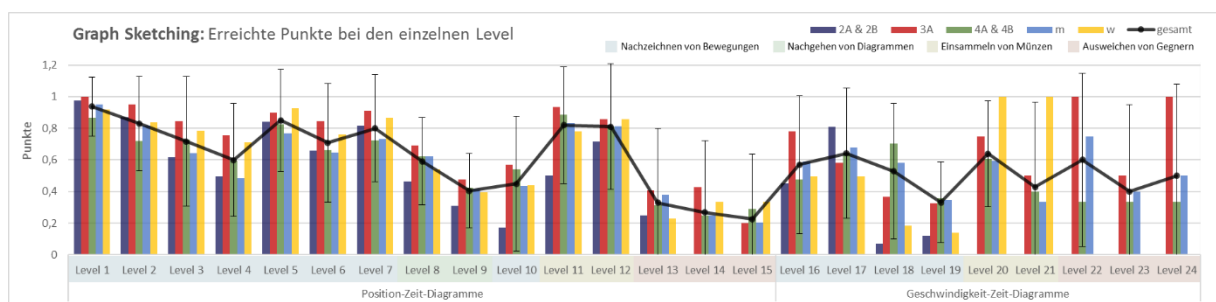


Diagramm 5.27. Mittelwerte der pro Level erreichten Punkte nach Klassen und Geschlecht, als Streuparameter die Standardabweichung angegeben.

6 Interpretation der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die zuvor dargestellten Daten in Hinblick auf die Lernwirksamkeit und die motivationale Wirkung des Lernspiels interpretiert. Dazu wird zuerst das Spieldesign im Generellen betrachtet, danach werden die vier zu Beginn aufgestellten Hypothesen (siehe Kapitel 1) überprüft. Für die Berechnung der beschriebenen statistischen Tests wird dabei auf eine 30 Tage Demoversion der Software Minitab (2017) zurückgegriffen. Als Signifikanzniveau wird für alle folgenden Verfahren $\alpha = 0,05$ festgelegt (Rudolf & Kuhlisch 2008).

6.1 Design des Lernspiels

Spielzeit und Levelanzahl

Die in Diagramm 5.22 und Diagramm 5.23 dargestellten Daten zu der pro Level aufgewendeten Spielzeit und der durchschnittlichen Anzahl an absolvierten Level zeigen, dass der Umfang des Lernspiels zu groß ist: Die Kinder brauchen deutlich länger für die Bearbeitung von Graph Sketching als die erwachsenen Personen in der Testphase (siehe Kapitel 3.2.2). In Folge haben sich 86,4 % der Schülerinnen und Schüler in der zur Verfügung stehenden Zeit mit weniger als der Hälfte der Beispiele zu den Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen auseinandergesetzt. Bei einer durchschnittlichen Bearbeitungszeit von 2,3 Minuten pro Level und einem gleichbleibenden, fünfzehnminütigen Vortraining muss das Lernspiel für den Einsatz in einer Unterrichtsstunde daher auf rund 15 Aufgaben reduziert werden.

Spielprinzip und Lehrziel

Die zentrale Idee hinter dem Spielprinzip von Graph Sketching ist, dass die Schülerinnen und Schüler durch das Zeichnen von Graphen Spielfiguren steuern und dabei das Anfertigen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen lernen. Nach einer Rangkorrelation nach Spearman gibt es tatsächlich einen schwach positiven ($\rho = + 0,285$), signifikanten ($p = 0,020$) Zusammenhang zwischen den im Lernspiel pro Spielzeit und pro Level erreichten Punkten und der Anzahl an richtig gelösten Aufgaben beim Posttest (siehe Tabelle 6.1): Je besser ein Kind in Graph Sketching abschneidet, desto erfolgreicher ist es also auch bei der Überprüfung von fachlichem Wissen zu Bewegungsdiagrammen.

	Nullhypothese H_0	Test	ρ	p	Testentscheidung
1	Es besteht keine Korrelation zwischen den im Lernspiel pro Spielzeit und pro Level erreichten Punkten und der Anzahl an richtig gelösten Aufgaben beim Posttest.	Rangkorrelation nach Spearman	+ 0,285	0,020	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.

Tabelle 6.1. Hypothesentest zu der Korrelation zwischen den pro Spielzeit und Level erreichten Punkten und den richtig gelösten Aufgaben beim Posttest. ρ bezeichnet den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman.

Feedback

Die in das Lernspiel eingebaute Feedbackschleife, bei der die gezeichneten Graphen wie in Abbildung 3.1 dargestellt schrittweise optimiert werden können, wird von den Schülerinnen und Schülern im Mittel 4,3 Mal pro Level verwendet (siehe Diagramm 5.25). Eine grafische Überlagerung der ersten Versuche und der endgültig abgegebenen Bewegungsdiagramme zeigt, dass durch die Rückmeldungen in vielen Fällen eine Verbesserung der gezeichneten Kinematik-Graphen erreicht wird. Zwei Beispiele

dafür sind in der folgenden Abbildung 6.1 zu sehen. Allerdings deutet die von den Schülerinnen und Schülern nur schwach positiv bewertete Klarheit der Instruktionen (siehe Diagramm 5.13) auf die Notwendigkeit zur Verbesserung des gegebenen Feedbacks hin. Dies könnte beispielsweise durch das Hinzufügen von digitalem Coaching (Mayer 2014a, siehe auch Kapitel 2.2.3) geschehen.

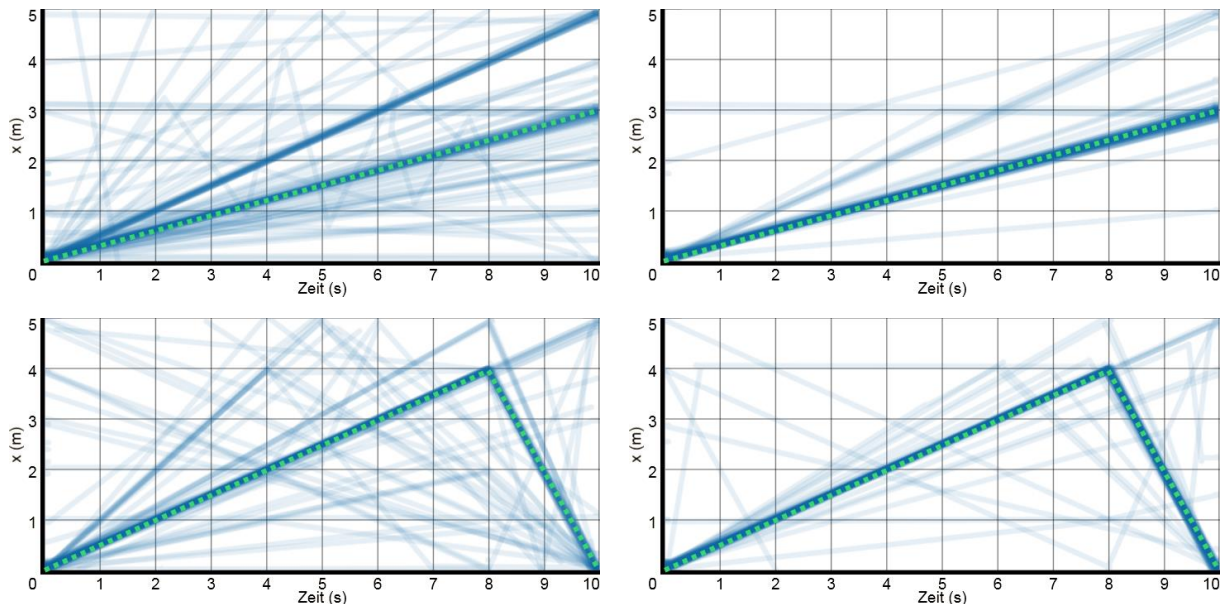


Abbildung 6.1. Überlagerungen der ersten gezeichneten Versuche (links) und der endgültig abgegebenen Bewegungsdiagramme (rechts) für Level 2 (obere Reihe) und Level 7 (untere Reihe). Die grün strichlierte Linie stellt die richtige Lösung der Aufgabe dar.

Herausforderung und Kompetenzerleben

Die Herausforderung, die das Lernspiel bietet, ist für die meisten der Testpersonen weder zu niedrig, noch zu hoch (siehe Diagramm 5.13). Werden die in Diagramm 5.27 dargestellten durchschnittlich erreichten Punkte als Maß für den Schwierigkeitsgrad der einzelnen Level herangezogen, so ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den Aufgabentypen: Das Zeichnen von Bewegungen fällt den Schülerinnen und Schülern leichter als das Nachgehen von vorgegebenen Graphen. Jene Level, bei denen Münzen eingesammelt werden müssen, stellen ebenfalls keine Schwierigkeit dar. Das Ausweichen von Gegnern bei gleichzeitigem Einsammeln von Münzen ist dagegen relativ komplex und wird nur von wenigen der Kinder erfolgreich bewältigt.

Kontrolle und Autonomieerleben

Die nach ihren eigenen Angaben hohe Affinität der Testpersonen zu Computern und dem Internet (siehe Diagramm 5.2) lassen gemeinsam mit der benötigten Zeit zum Zeichnen der Graphen pro Versuch von nur 12,2 Sekunden (siehe Diagramm 5.26) den Schluss zu, dass die Umsetzung des Lernspiels als eine webbasierte Anwendung und die für den Umgang mit der Maus erforderlichen motorischen Fähigkeiten kein Problem für die Schülerinnen und Schüler darstellen: Sie können die von ihnen intendierten Diagramme schnell und mühelos anfertigen. Die Bedienung des Lernspiels kann in dieser Hinsicht als intuitiv bezeichnet werden.

Die Level vom Typ „Einsammeln von Münzen“ und „Ausweichen von Gegnern“ sollen eine Vielzahl an verschiedenen Lösungswegen, mit denen das vorgegebene Ziel erreicht werden kann, ermöglichen und damit das Autonomieerleben der Spielenden fördern (siehe Kapitel 3.2.1). Wie in den in Abbildung 6.2 dargestellten Beispielen zu sehen ist, befinden sich bei diesen Aufgabentypen unter den richtigen

Abgaben der Kinder tatsächlich unterschiedliche Graphen. Die Schülerinnen und Schüler nutzen demnach die ihnen gebotenen Freiheiten in diesen Leveln.

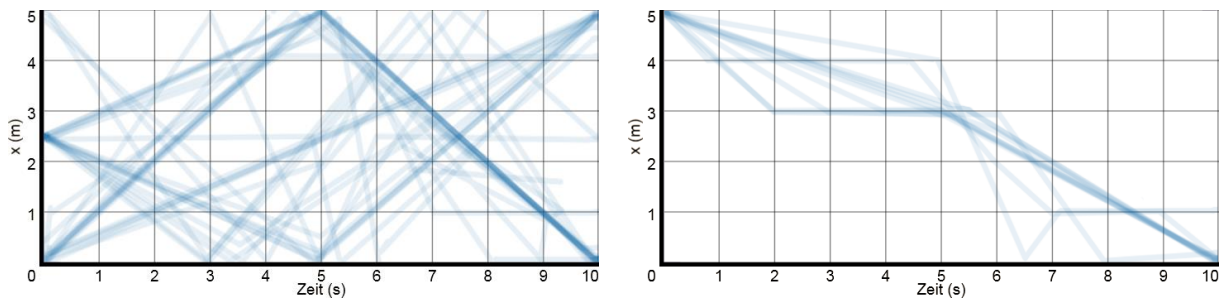


Abbildung 6.2. Überlagerung der erfolgreichen Lösungen mit voller Punktezahl der Schülerinnen und Schüler bei Level 11 (Einsammeln zweier Münzen, links) und bei Level 13 (Einsammeln einer Münze und gleichzeitiges Ausweichen eines Gegners, rechts).

Immersion und Fantasie

Die Elemente der Immersion und Fantasie beschränken sich bei Graph Sketching auf die optische Darstellung der Benutzeroberfläche und der Spielwelt (siehe Kapitel 3.2.1). Wie in Diagramm 5.13 zu sehen ist, wird die grafische Darstellung des Lernspiels von den Schülerinnen und Schülern generell positiv bewertet. Eine nach Spearman berechnete Rangkorrelation (siehe Tabelle 6.2) zeigt dabei aber einen stark negativen ($\rho = -0,518$), hochsignifikanten ($p = 0,000$) monotonen Zusammenhang zwischen der Schulstufe und der Bewertung des optischen Designs: Die kindliche Aufmachung von Graph Sketching spricht jüngere Schülerinnen und Schülern deutlich mehr an als ihre älteren Kolleginnen und Kollegen. Ein U-Test nach Mann und Whitney für unabhängige Stichproben zeigt außerdem, dass den Mädchen das optische Design des Lernspiels signifikant besser gefällt als den Buben ($p = 0,047$). Allerdings führt eine bei multiplen Testungen notwendige Bonferroni-Korrektur auf einen weitaus höheren p-Wert von 0,141 und ein damit nicht mehr signifikantes Ergebnis. Der vom Autor vermutete negative Zusammenhang zwischen der Nutzung von Computerspielen in der Freizeit und der Bewertung der grafischen Darstellung von Graph Sketching konnte dagegen nicht nachgewiesen werden ($\rho = -0,195$; $p = 0,126$).

	Nullhypothese H_0	Test	ρ	p	Testentscheidung
1	Es besteht keine Korrelation zwischen der Schulstufe und der Bewertung des optischen Designs.	Rangkorrelation nach Spearman	-0,518	0,000* (0,000)*	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.
2	Es besteht keine Korrelation zwischen der Nutzung von Computerspielen und der Bewertung des optischen Designs.	Rangkorrelation nach Spearman	-0,195	0,126 (0,378)	$p > \alpha$, daher kann die Nullhypothese nicht verworfen werden.
3	Es gibt keinen Unterschied zwischen Buben und Mädchen in der Bewertung des optischen Designs.	Mann-Whitney-U-Test	-	0,047 (0,141)	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese verworfen werden.

Tabelle 6.2. Hypothesentests zu der Korrelation zwischen der Bewertung des optischen Designs und der Schulstufe, der Nutzung von Computerspielen und dem Geschlecht. Die in Klammern stehenden p-Werte stellen die Bonferroni-korrigierten Signifikanzwerte dar (Rudolf & Kuhlisch 2008). *) Anmerkung: In der verwendeten Statistiksoftware Minitab (2017) werden nicht mehr als drei Stellen nach dem Komma angezeigt.

6.2 Motivierende Wirkung des Lernspiels

4. Hypothese: Das Lernspiel wirkt motivierend

Den Schülerinnen und Schülern gefällt Graph Sketching im Schnitt gut (siehe Diagramm 5.13). Um zu überprüfen, wie sich das Lernspiel auf die Motivation der normal eher schwer zu begeisternden Kinder auswirkt, wird eine Rangkorrelation nach Spearman zwischen der Einstellung der Testpersonen zum Fach Physik (also die Summe der Ränge bei Fachinteresse, Beliebtheit des Faches, Sachinteresse, extrinsischer und intrinsischer Motivation) und dem erhobenen Rang des erlebten Spielspaßes berechnet (siehe Tabelle 6.3). Es ergibt sich ein mittelstark positiver ($\rho = +0,304$) und signifikanter ($p = 0,013$) Zusammenhang: Je besser die Einstellung der Lernenden zum Fach Physik ist, desto mehr Freude haben sie auch beim Spielen von Graph Sketching.

	Nullhypothese H_0	Test	ρ	p	Testentscheidung
1	Es besteht keine Korrelation zwischen der Schulstufe und dem Spielspaß.	Rangkorrelation nach Spearman	- 0,402	0,001 (0,003)	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.
2	Es besteht keine Korrelation zwischen der Einstellung zum Fach Physik und dem Spielspaß.	Rangkorrelation nach Spearman	+ 0,304	0,013 (0,039)	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.
3	Es besteht keine Korrelation zwischen der Nutzung von Computerspielen und dem Spielspaß.	Rangkorrelation nach Spearman	- 0,182	0,143 (0,429)	$p > \alpha$, daher kann die Nullhypothese nicht verworfen werden.

Tabelle 6.3. Hypothesentests zu der Korrelation zwischen dem Spielspaß und der Schulstufe, der Einstellung der Schülerinnen und Schüler zum Fach Physik und der Nutzung von Computerspielen. Die in Klammern stehenden p-Werte stellen die Bonferroni-korrigierten Signifikanzwerte dar (Rudolf & Kuhlisch 2008).

Eine Gegenüberstellung des angegebenen Spielspaßes von Schülerinnen und Schülern mit einer eher negativen und solchen mit einer eher positiven Einstellung zum Physikunterricht (siehe Diagramm 6.1) zeigt allerdings, dass selbst Lernende mit einem geringen Fach- oder Sachinteresse Graph Sketching im Schnitt positiv bewerten. Gleiches gilt auch für Kinder mit einer wenig ausgeprägten extrinsischen oder intrinsischen Motivation und Testpersonen, die Physik nicht zu ihren Lieblingsfächern zählen. Ein vermuteter negativer Zusammenhang ($\rho = -0,182$) zwischen der Nutzung von Computerspielen und der Freude beim Spielen ist nicht nachweisbar ($p = 0,143$). Eine mittelstark negative ($\rho = -0,402$), hochsignifikante ($p = 0,001$) Korrelation besteht allerdings zwischen dem Spielspaß und der Schulstufe: Älteren Schülerinnen und Schülern gefällt Graph Sketching weniger gut als jüngeren (siehe Tabelle 6.3).

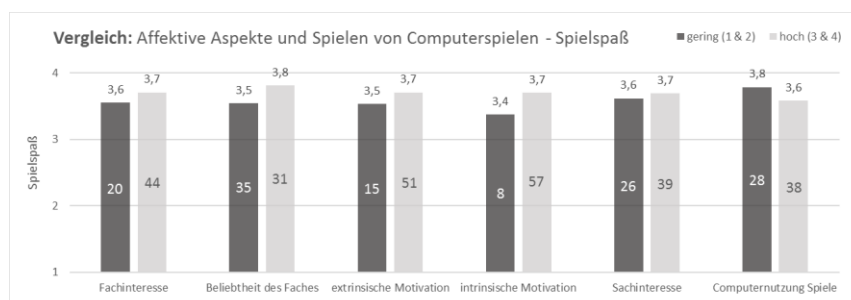


Diagramm 6.1. Vergleich der Mittelwerte des angegebenen Spielspaßes von Schülerinnen und Schülern mit negativen (1 und 2) und positiven (3 und 4) Ausprägungen der erhobenen affektiven Aspekte und der Nutzung von Computerspielen. Die Zahlen in den Säulen geben die Größe der Stichproben an.

Die vierte Hypothese „Das Lernspiel wirkt auf die Schülerinnen und Schüler motivierend“ (siehe Kapitel 1) kann also bestätigt werden: Graph Sketching macht den Lernenden Spaß, wobei aber Kinder mit einer positiven Einstellung zu Physik auch mehr Freude am Spielen haben als ihre Kolleginnen und Kollegen. Außerdem kommt das Spiel bei den Zweitklässlerinnen und Zweitklässlern besser an, als in den höheren Schulstufen. Diese Beobachtung ist möglicherweise zu einem Teil auf die altersabhängige Bewertung des optischen Designs zurückzuführen (siehe Kapitel 6.1).

6.3 Lernwirksamkeit des Lernspiels

Das wichtigste Kriterium für die Bewertung eines Lernspiels ist seine Lernwirksamkeit (Mayer 2014a). In den folgenden Unterpunkten werden daher die in Kapitel 1 aufgestellten Hypothesen zu dem fachlichen Wissen der Schülerinnen und Schüler nach der Intervention mit Graph Sketching behandelt.

1. Hypothese: Die erreichten Punkte sind mit Literaturwerten vergleichbar

In dem folgenden Diagramm 6.2 sind die beim Posttest festgestellten richtigen Antwortraten der Schülerinnen und Schüler für die Aufgaben 1 bis 4 im Vergleich mit den aus der Literatur abgeleiteten Referenzwerten (siehe Kapitel 4.2.2) dargestellt. Während die Testpersonen bei den ersten beiden Aufgaben etwas besser abschneiden als nach einem einführenden Kinematikunterricht erwartet werden kann, ergibt sich bei den anderen beiden Beispielen ein umgekehrtes Bild: Vor allem bei dem Umwandeln von einem Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm in ein Position-Zeit-Diagramm (Aufgabe 4) wurde die richtige Lösung deutlich seltener als erwartet gekreuzt. Die vier in Tabelle 6.4 aufgelisteten Chi-Quadrat-Anpassungstests zeigen, dass die Unterschiede zwischen den beobachteten und den erwarteten Häufigkeiten bei den Aufgaben 2 ($p = 0,029$), 3 ($p = 0,016$) und 4 ($p = 0,000$) statistisch signifikant sind, während bei Aufgabe 1 ($p = 0,295$) keine Abweichung bei den richtigen Antwortraten nachgewiesen werden kann. Die Schülerinnen und Schüler verstehen das mit Aufgabe 1 überprüfte Konzept „Geschwindigkeit als Änderung der Position“ (siehe Kapitel 4.2.2) folglich nicht besser, aber auch nicht schlechter als Gymnasiastinnen und Gymnasiasten nach einer konventionellen Einführung in die Kinematik. Das für die Aufgabe 3 wichtige Konzept „Geschwindigkeit als eindimensionaler Vektor“ wird von den Testpersonen dieser Studie dagegen weniger gut beherrscht.

	Nullhypothese H_0	Test	p	Testentscheidung
A1	Es besteht kein Unterschied zwischen der beobachteten und der erwarteten Anzahl an richtigen Antworten bei A1 des Posttests.	Chi-Quadrat-Anpassungstest	0,295	$p > \alpha$, daher kann die Nullhypothese nicht verworfen werden.
A2	Es besteht kein Unterschied zwischen der beobachteten und der erwarteten Anzahl an richtigen Antworten bei A2 des Posttests.	Chi-Quadrat-Anpassungstest	0,029	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.
A3	Es besteht kein Unterschied zwischen der beobachteten und der erwarteten Anzahl an richtigen Antworten bei A3 des Posttests.	Chi-Quadrat-Anpassungstest	0,016	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.
A4	Es besteht kein Unterschied zwischen der beobachteten und der erwarteten Anzahl an richtigen Antworten bei A4 des Posttests.	Chi-Quadrat-Anpassungstest	0,000*	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.

Tabelle 6.4. Hypothesentests zu den richtigen Antworthäufigkeiten der Schülerinnen und Schüler beim Posttest (A1 = Aufgabe 1; A2 = Aufgabe 2; A3 = Aufgabe 3; A4 = Aufgabe 4). *) Anmerkung: In der verwendeten Statistiksoftware Minitab (2017) werden nicht mehr als drei Stellen nach dem Komma angezeigt.

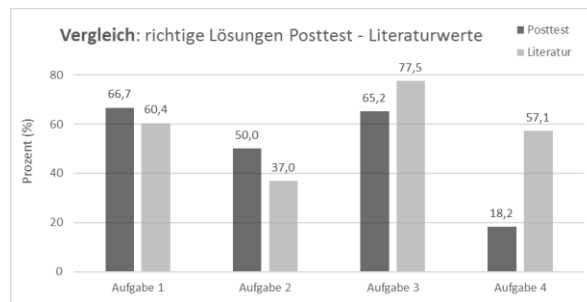


Diagramm 6.2. Vergleich der Häufigkeit der richtigen Antwortraten beim Posttest mit den aus der Literatur abgeleiteten Werten (siehe Kapitel 4.2.2).

Um ein Gesamtergebnis zu erhalten, wird die Anzahl der beim Posttest richtig gelösten Aufgaben mit einem Referenzwert aus der Literatur verglichen: Dazu werden die in den Studien von Lichtenberger et al. (2017), Beichner (1994) und Klein, Müller & Kuhn (2017) berichteten korrekten Antwortraten für die Beispiele 1 bis 4 des Posttests aufaddiert. Da nur 13,6 % der Schülerinnen und Schüler mindestens 50 % der Level zu den Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen bearbeiten konnten (siehe Diagramm 5.24), wird dabei für die letzte Aufgabe von einer entsprechend verringerten Häufigkeit richtiger Lösungen ausgegangen: Die Antwortraten aus der Literatur werden mit 13,6 % gewichtet, für die restlichen 86,4 % wird entsprechend der fünf Antwortmöglichkeiten eine Ratewahrscheinlichkeit 0,20 angenommen. Der so berechnete Referenzwert beträgt 1,999 Punkte, der beim Posttest beobachtete Mittelwert liegt dagegen bei 2,000 Punkten (siehe Diagramm 6.3). Ein in Tabelle 6.5 beschriebener Äquivalenztest zeigt, dass sich die beiden Werte bei einem angenommenen Äquivalenzintervall von $\pm 15\%$ des Referenzwertes statistisch nicht unterscheiden ($p = 0,009$): Unter diesen Voraussetzungen haben die Schülerinnen und Schüler nach der Intervention mit dem Lernspiel gleich viele Aufgaben beim Posttest lösen können, wie es von Gymnasiastinnen und Gymnasiasten nach einem einführenden Kinematikunterricht erwartet werden kann. Die in Kapitel 1 aufgestellte erste Hypothese kann damit bestätigt werden.

Zwischen den Schulstufen besteht nach einem durchgeführten Kruskal-Wallis-Test (siehe Tabelle 6.5) kein signifikanter Unterschied in den auf den Posttest erreichten Punkten ($p = 0,259$). Ebenso wenig unterscheiden sich nach einem Mann-Whitney-U-Test die Buben und Mädchen hinsichtlich der richtig gelösten Aufgaben ($p = 0,431$).

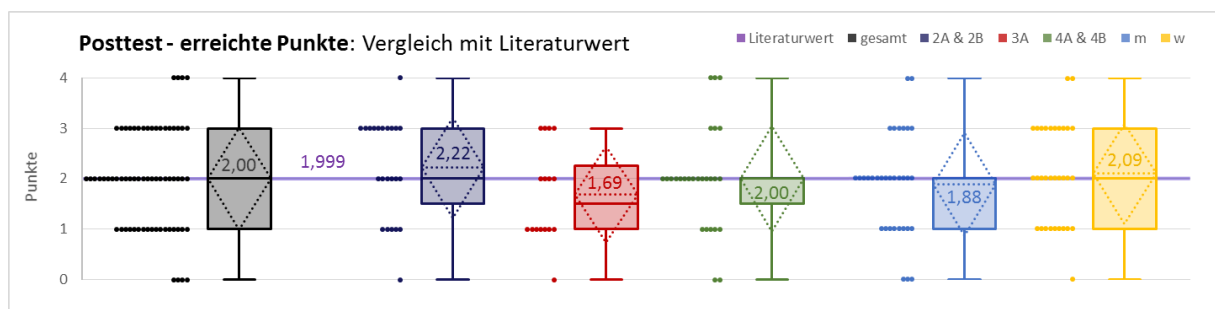


Diagramm 6.3. Box-Plots der auf den Posttest erreichten Punkte nach Klassen und Geschlecht. Die Whiskers geben die Maximal- und Minimalwerte an, die Ränder der Box stellen das obere und untere Quartil dar. Die mittlere, durchgehende Linie markiert den Median, die mittlere gepunktete Linie den Mittelwert (= die angegebenen Werte) und die gepunkteten Spitzen die Standardabweichung. Die Kreise zeigen die Verteilung der Werte: Die Gesamtstichprobe folgt dabei annähernd einer Normalverteilung (= Voraussetzung für einen t-Test).

	Nullhypothese H_0	Test	delta	p	Testentscheidung
1	Die einzelnen Klassen unterscheiden sich nicht hinsichtlich der auf den Posttest erreichten Punkte.	Kruskal-Wallis-Test	-	0,259 (0,777)	$p > \alpha$, daher kann die Nullhypothese nicht verworfen werden.
2	Die Buben und Mädchen unterscheiden sich nicht hinsichtlich der auf den Posttest erreichten Punkte.	Mann-Whitney-U-Test	-	0,431 (1,000)	$p > \alpha$, daher kann die Nullhypothese nicht verworfen werden.
3	Die auf den Posttest erreichten Punkte aller Kinder weichen von dem Referenzwert aus der Literatur (1,999) ab.	Äquivalenztest (t-Test)	$\pm 15\%$	0,009 (0,027)	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.

Tabelle 6.5. Hypothesentests zu den auf den Posttest erreichten Punkten der einzelnen Klassen, der Mädchen und Buben und dem Vergleich der auf den Posttest erreichten Punkte mit dem aus der Literatur abgeleiteten Wert. Die in Klammern stehenden p-Werte sind die Bonferroni-korrigierten Signifikanzwerte (Rudolf & Kuhlisch 2008).

Um die Langzeitwirkung von Graph Sketching zu überprüfen, werden die beim Posttest und Follow Up-Test erreichten Punkte miteinander verglichen (siehe Diagramm 6.4, die Daten der zweiten Klassen werden für den Vergleich wie in Kapitel 5.3 beschrieben nicht berücksichtigt): Im Mittel konnten direkt nach der Intervention mit dem Lernspiel 2,10 Punkte erreicht werden, fünf Wochen später sind es durchschnittlich nur mehr 1,82 Punkte. Ein t-Test für verbundene Stichproben zeigt, dass dieser Unterschied statistisch signifikant ist (siehe Tabelle 6.6): Die Schülerinnen und Schüler vergessen in der Zeit bis zur Durchführung des Follow Up-Tests wieder einen Teil des Gelernten. Der Anteil an Kindern mit keiner einzigen richtig gelösten Aufgabe hat sich dabei sogar mehr als verdoppelt.

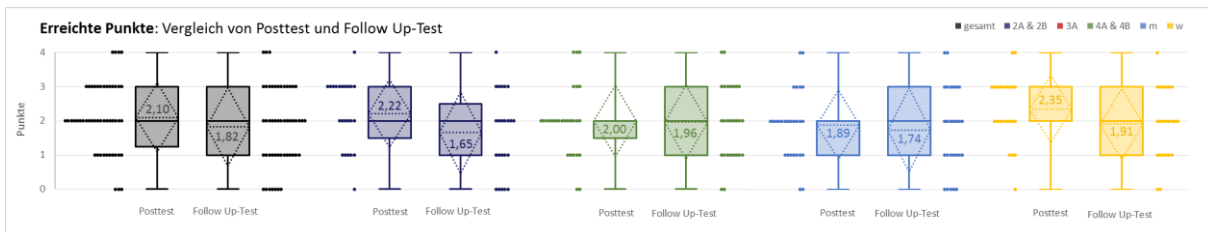


Diagramm 6.4. Box-Plots der auf den Posttest (jeweils links) und den Follow Up-Test (jeweils rechts) erreichten Punkte im Vergleich. Für eine Beschreibung der dargestellten Daten siehe Diagramm 6.3. Die Werte der Gesamtstichprobe sind sowohl beim Posttest als auch beim Follow Up-Test annähernd normalverteilt.

	Nullhypothese H_0	Test	p	Testentscheidung
1	Die auf den Posttest und auf den Follow Up-Test erreichten Punkte aller Kinder unterscheiden sich nicht.	t-Test für verbundene Stichproben	0,040	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.

Tabelle 6.6. Hypothesentest zu den auf den Posttest und Follow Up-Test erreichten Punkten.

2. Hypothese: Der Graph as Picture Error verringert sich durch das Lernspiel

Im Diagramm 6.5 werden die beim Prätest und beim Posttest festgestellten Häufigkeiten des Graph as Picture Errors einander gegenübergestellt: Nach der Intervention mit dem Lernspiel tritt die Schülervorstellung häufiger auf, als davor. Der Unterschied ist zwar nach einem McNemar-Test (siehe Tabelle 6.7) statistisch nicht signifikant ($p = 0,296$), deutet aber auf eine Verstärkung der Fehlvorstellung durch das Lernspiel hin. Dementsprechend kann die zweite in Kapitel 1 aufgestellte Hypothese nicht bestätigt werden. Eine mögliche Ursache für dieses Ergebnis liegt in den verwendeten Testinstrumenten: Während bei der Aufgabe 1 des Prätests nur eine von vier möglichen Antworten mit einem Graph as Picture Error in Verbindung gebracht wird, sind es bei der Aufgabe 2 des Posttests drei von fünf. Ein Vergleich zwischen der Häufigkeit der Schülervorstellung beim Post- und Follow Up-

Test (siehe Diagramm 6.6) zeigt, dass die Fehlvorstellung fünf Wochen nach dem Spielen von Graph Sketching um rund 10 % zunimmt – vor allem bei Mädchen aus den vierten und zweiten Klassen.

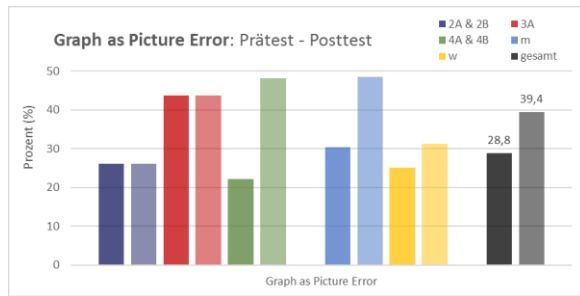


Diagramm 6.5. Häufigkeit des Graph as Picture Errors beim Prä- (dunkel, links) und Posttest (hell, rechts) im Vergleich mit der 3A.

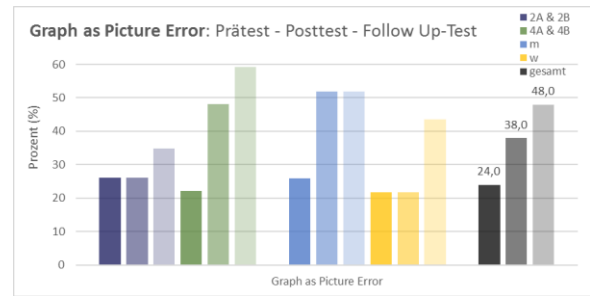


Diagramm 6.6. Häufigkeit des Graph as Picture Errors beim Prä- (dunkel, links), Post- (hell, mittig) und Follow Up-Test (sehr hell, rechts) im Vergleich ohne der 3A.

	Nullhypothese H_0	Test	p	Testentscheidung
1	Die mit den Prätests und Posttests festgestellten Häufigkeiten des Graph as Picture Errors unterscheiden sich nicht.	McNemar-Test für verbundene Stichproben	0,296	$p > \alpha$, daher kann die Nullhypothese nicht verworfen werden.

Tabelle 6.7. Hypothesentest zu der Häufigkeit des Graph and Picture Errors beim Prä- und Posttest.

3. Hypothese: Die Slope / Height Confusion verringert sich durch das Lernspiel

Diagramm 6.7 zeigt einen Vergleich der beim Prätest und Posttest festgestellten Anzahl an Slope / Height Confusions: Vor der Intervention mit dem Lernspiel beträgt die Häufigkeit der Fehlvorstellung 37,9 %, danach nur 18,2 %. Ein McNemar-Test für verbundene Stichproben (siehe Diagramm 6.8) zeigt, dass es sich dabei um einen statistisch signifikanten Unterschied handelt ($p = 0,019$): Durch das Spielen von Graph Sketching wird die Schülervorstellung „Slope / Height Confusion“ verringert – vor allem bei Mädchen aus den zweiten Klassen. Damit kann die dritte in Kapitel 1 aufgestellte Hypothese bestätigt werden. Ebenso wie zuvor muss aber auch hierbei angemerkt werden, dass die beim Prä- und Posttest verwendeten Testitems unterschiedlich aufgebaut sind (siehe Kapitel 4.2). Zwischen Post- und Follow Up-Test ergeben sich, wie in Diagramm 6.8 zu sehen ist, gesamt betrachtet keine Unterschiede.



Diagramm 6.7. Auftreten der Slope / Height Confusion beim Prä- (dunkel, links) und Posttest (hell, rechts) im Vergleich mit der 3A.

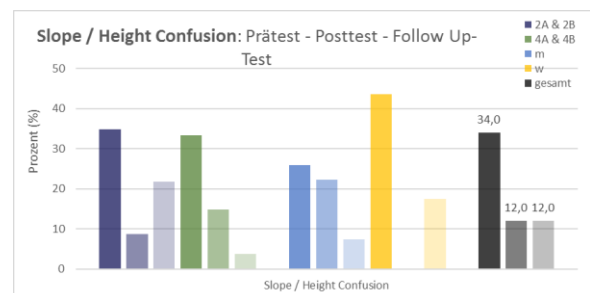


Diagramm 6.8. Auftreten der Slope / Height Confusion beim Prä- (dunkel, links), Post- (hell, mittig) und Follow Up-Test (sehr hell, rechts) im Vergleich ohne der 3A.

	Nullhypothese H_0	Test	p	Testentscheidung
1	Die mit den Prätests und Posttests festgestellten Häufigkeiten der Slope / Height Confusion unterscheiden sich nicht.	McNemar-Test für verbundene Stichproben	0,019	$p \leq \alpha$, daher kann die Nullhypothese abgelehnt werden.

Tabelle 6.8. Hypothesentest zu der Häufigkeit der Slope / Height Confusion beim Prä- und Posttest.

7 Fazit und Ausblick

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde auf der Grundlage von fachdidaktischen und lerntheoretischen Überlegungen ein digitales, webbasiertes Lernspiel mit dem Titel Graph Sketching zum Anfertigen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen entwickelt. Eine in einer NMS durchgeführte Studie zeigt, dass das Lernspiel selbst auf sonst eher schwer zu begeisternde Schülerinnen und Schüler motivierend wirkt, Kinder mit einer guten Einstellung zum Physikunterricht aber mehr Spaß beim Spielen haben. Bezogen auf die Schulstufe wird das Serious Game vor allem in den zweiten Klassen positiv bewertet. Nach der Intervention mit Graph Sketching erreichen die an der Studie teilnehmenden Schülerinnen und Schüler vergleichbar viele Punkte auf vier ausgewählte Beispiele zu Bewegungsdiagrammen, wie laut Literaturwerten nach einem einführenden Kinematikunterricht erwartet werden können. Die häufig auftretende Schülervorstellung Slope / Height Confusion wird dabei nach dem Spielen weniger oft festgestellt als davor. Bezogen auf den Graph as Picture Error kann dagegen keine Verringerung beobachtet werden: Die Fehlvorstellung tritt nach der Intervention sogar häufiger auf. Ein möglicher Grund dafür ist die unterschiedliche Gestaltung der Aufgaben beim Prätest und Posttest. Eine Verstärkung des Graph as Picture Errors durch das Lernspiel kann zwar ebenfalls nicht ausgeschlossen werden, ist aber kaum zu begründen. Damit können drei der vier in Kapitel 1 aufgestellten Hypothesen bestätigt werden: Graph Sketching wirkt motivierend und ist lernwirksam.

Einschränkungen der Studie

Wie bereits bei der Beschreibung der zur Verfügung stehenden Testinstrumente angemerkt wurde (siehe Kapitel 2.1.3), sind die in der Studie verwendeten einstufigen Multiple Choice Fragen nur bedingt dazu geeignet, Schülervorstellungen festzustellen (Gurel, Eryilmaz & Mcdermott 2015): Im Unterschied zu zwei- oder dreistufigen Testitems können mit ihnen nämlich keine falsch positiven und falsch negativen Antworten erkannt werden. Dementsprechend müssen die obigen Ergebnisse zu der Häufigkeit von Schülervorstellungen mit angebrachter Vorsicht betrachtet werden. Darüber hinaus ist auch der Vergleich der erreichten Punkte mit den Referenzwerten aus der Literatur nicht unproblematisch: Die Studien von Lichtenberger et al. (2017), Beichner (1994) und Klein, Müller & Kuhn (2017) beziehen sich in erster Linie auf Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II, während die vorliegende Untersuchung in einer NMS durchgeführt wurde. Außerdem wurden die verwendeten Testitems wie in Kapitel 4.2 beschrieben teilweise abgeändert, die Werte aus der Literatur beruhen aber auf den originalen Versionen der Fragen. Inwieweit die Ergebnisse auf Gymnasiastinnen und Gymnasiasten übertragen werden können, ist ebenfalls fraglich.

Ausblick

Um den zuvor beschriebenen Problemen bei der Feststellung von Schülervorstellungen zu begegnen, wären mehrstufige Testitems wünschenswert. Hierbei bietet sich als Ausgangspunkt beispielsweise eine Übersetzung des von Aydin (2007) entwickelten Kinematics Graphs Three Tier Tests an (siehe Kapitel 2.1.3). Obwohl die vorliegende Studie zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler beim Spielen des Lernspiels etwas über Bewegungsdiagramme lernen, ist bei zukünftigen Untersuchungen ein Vergleich mit einer Kontrollgruppe anzuraten: Das würde die Berechnung einer Effektstärke wie Cohens d und damit den direkten Vergleich der Lernwirksamkeit von Graph Sketching mit anderen, konventionellen Unterrichtsmethoden erlauben (Mayer 2014a). Neben einer solchen „*Media Comparison Research*“ ist für die wissenschaftliche Untersuchung von Lernspielen nach Mayer (2014a, S. 27) und Clark & Mayer (2016, S. 371) auch eine „*Value added Research*“ wichtig. Bei dieser wird der

Lernerfolg von Gruppen miteinander verglichen, bei denen sich das Lernspiel nur in einem einzigen Spielelement unterscheidet. Da die momentan vorhandenen Instruktionen in Graph Sketching von mehreren Schülerinnen und Schülern bemängelt werden, bietet sich hierbei die Implementierung von digitalem Coaching an (siehe Kapitel 2.2.3). Weitere von Mayer (2014a) besprochene Designprinzipien, die erwiesenermaßen den Lernerfolg erhöhen und daher für eine weitere Verbesserung von Graph Sketching herangezogen werden könnten, sind in Kapitel 2.2.3 angeführt. Aber auch Features, deren positive Wirkung bisher noch nicht eindeutig festgestellt werden konnte, wie das Einführen von Konkurrenz, das Hinzufügen einer packenden Geschichte und die Erweiterung der Kontrollmöglichkeiten der Spielenden über die Spielwelt (beispielsweise durch das Auswählen und Benennen der Spielfiguren) können und sollten überprüft werden. Ein weiterer nach Mayer (2016) noch zu wenig untersuchter Aspekt stellt die Verwendung von Lernspielen als Aufgabe oder als Möglichkeit zur freiwilligen Beschäftigung mit Lerninhalten außerhalb der Schule dar. Durch Serious Games könnte damit die „*time on task*“ der Schülerinnen und Schüler erhöht werden (Mayer 2016, S. 24).

8 Literatur

- Astleitner, H. & Wiesner, C. (2004). An Integrated Model of Multimedia Learning and Motivation. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 13(1), 3–21.
- Aydin, Ö. (2007). *Assessing tenth grade student's difficulties about kinematics graphs by a three-tier test*. Masterarbeit. Middle East Technical University.
- Beichner, R.J. (1990). The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 803–815.
- Beichner, R.J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750–762.
- Beichner, R.J. (1996). The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills. *American Journal of Physics*, 64(10), 1272–1277.
- Berger, F. & Marbach, A. (2009). Erkundungen im Spannungsfeld von Pädagogik, Spielspass und technischer Machbarkeit. Gedanken zur Konzeption und Entwicklung spielbasierter digitaler Lernumgebung. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 15(0).
- BIFIE (2011). Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe. https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf (16.2.2018).
- Brandstätter, V., Schüler, J., Puca, R.M. & Lozo, L. (2013). *Motivation und Emotion. Allgemeine Psychologie für Bachelor*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Brasell, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 385–395.
- Brown, D.E. (1993). Refocusing core intuitions. A concretizing role for analogy in conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1273–1290.
- Bryan, J. (2006). Technology for Physics Instruction. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 6(2), 230–245.
- Carvalho, M.B. (2017). *Serious games for learning : a model and a reference architecture for efficient game development*. Dissertation. Technische Universität Eindhoven.
- Clark, R.C. & Mayer, R.E. (2016). *E-learning and the science of instruction. Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*, Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Clement, J. (1989). The Concept of Variation and Misconceptions in Cartesian Graphing. *Focus on Learning Problems in Mathematics*, 11(1-2), 77–87.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow. The psychology of optimal experience*, New York: Harper and Row.
- Duit, R. (2015). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 657–680). Berlin: Springer Spektrum.
- Egenfeldt-Nielsen, S. (2007). Third generation educational use of computer games. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 16(3), 263–281.
- Eshach, H. (2014). The use of intuitive rules in interpreting students' difficulties in reading and creating kinematic graphs. *Canadian Journal of Physics*, 92(1), 1–8.
- Gaida, P. (2017). *Die Lernwirksamkeit verschiedener Sozialformen bei der Einführung in die Elektrizitätslehre*. Diplomarbeit. Universität Wien.
- Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch*.

- Girwitz, R. (2015a). Medien im Physikunterricht. In Kircher, E., Girwitz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 193–245). Berlin: Springer Spektrum.
- Girwitz, R. (2015b). Multimedia unter lerntheoretischen Aspekten. In Kircher, E., Girwitz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 843–877). Berlin: Springer Spektrum.
- Girwitz, R. (2015c). Neue Medien und Multimedia. In Kircher, E., Girwitz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 401–427). Berlin: Springer Spektrum.
- Gurel, D.K., Eryilmaz, A. & Mcdermott, L.C. (2015). A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(5), 989–1008.
- Hoblitz, A. (2015). *Spielend Lernen im Flow. Die motivationale Wirkung von Serious Games im Schulunterricht*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Honey, M., Hilton, M.L. & Council, N.R. (2011). *Learning science through computer games and simulations*, Washington, D.C.: National Academies Press.
- Horz, H. (2015). Medien. In Wild, E. & Möller, J. (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 121–149). Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik / Chemie*, 34(13), 2–6. In Müller, R., Wodzinsky, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 15-19). München: Aulis Verlag.
- Kiili, K. (2005). Digital game-based learning. Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education*, 8(1), 13–24.
- Klein, P., Müller, A. & Kuhn, J. (2017). Assessment of representational competence in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1).
- Leinhardt, G., Zaslavsky, O. & Stein, M.K. (1990). Functions, Graphs, and Graphing. Tasks, Learning, and Teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1–64.
- Lichtenberger, A., Wagner, C., Hofer, S.I., Stern, E. & Vaterlaus, A. (2017). Validation and structural analysis of the kinematics concept test. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 285.
- Malone, T.W. (1981). Toward a Theory of Intrinsically Motivating Instruction*. *Cognitive Science*, 5(4), 333–369.
- Malone, T.W. & Lepper, M.R. (1987). Making Learning Fun. A Taxonomy of Intrinsic Motivations for Learning. In Snow, R.E. & Farr, M.J. (Hrsg.), *Cognitive and affective process analyses* (S. 223–253). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Martinez-Garza, M., Clark, D.B. & Nelson, B.C. (2013). Digital games and the US National Research Council's science proficiency goals. *Studies in Science Education*, 49(2), 170–208.
- Mayer, R.E. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In Mayer, R.E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31–48). Cambridge NY u.a.: Cambridge Univ. Press.
- Mayer, R.E. (2008). *Learning and instruction*, Upper Saddle River, N.J.: Pearson Merrill Prentice Hall.
- Mayer, R.E. (2014a). *Computer games for learning. An evidence-based approach*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Mayer, R.E. (2014b). Incorporating motivation into multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 171–173.
- Mayer, R.E. (2016). What Should Be the Role of Computer Games in Education? *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(1), 20–26.

- Mayo, M.J. (2009). Video games. A route to large-scale STEM education? *Science (New York, N.Y.)*, 323(5910), 79–82.
- McDermott, L.C., Rosenquist, M.L. & van Zee, E.H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics. Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503–513.
- Minitab (2017). *Minitab 18*: Minitab.
- Moreno, R. (2005). Instructional technology. Promise and pitfalls. In PytlikZillig, L.M., Bodvarsson, M. & Bruning, R.H. (Hrsg.), *Technology-based education. Bringing researchers and practitioners together* (S. 1–19).
- Nakamura, J. & Csikszentmihalyi, M. (2009). The Concept of Flow. In Snyder, C.R. (Hrsg.), *Oxford handbook of positive psychology* (S. 89–105). Oxford u.a.: Oxford Univ.y Press.
- Niegemann, H.M. (2008). *Kompendium multimediales Lernen*, Berlin u.a.: Springer.
- OECD (2015). *Students, Computers and Learning*: OECD Publishing.
- Petko, D. (2008). Unterrichten mit Computerspielen. Didaktische Potenziale und Ansätze für den gezielten Einsatz in Schule und Ausbildung. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 15(0).
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception. Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Przybylski, A.K., Rigby, C.S. & Ryan, R.M. (2010). A motivational model of video game engagement. *Review of General Psychology*, 14(2), 154–166.
- Rabe, T. (2010). Piko-Brief Nr. 2. Affektive Aspekte und Lernen von Physik. <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko> (9.2.2018).
- Rametsteiner, M. (2017). Graph Sketching. <http://www.graphsketching.at/> (1.2.2018).
- Rheinberg, F. (2010). Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In Heckhausen, J. & Heckhausen, H. (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 365–387). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Rheinberg, F. & Vollmeyer, R. (2012). *Motivation*, Stuttgart: Kohlhammer.
- Rigby, C.S. & Ryan, R.M. (2007). The Player Experience of Need Satisfaction (PENS). An applied model and methodology for understanding key components of the player experience. <http://immersyve.com/white-paper-the-player-experience-of-need-satisfaction-pens-2007/> (10.2.2018).
- Rudolf, M. & Kuhlisch, W. (2008). *Biostatistik. Eine Einführung für Biowissenschaftler ; [studentengetestet!]*, München, Boston, San Francisco, Harlow, England: Pearson Studium.
- Ryan & Deci (2000a). Intrinsic and Extrinsic Motivations. Classic Definitions and New Directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54–67.
- Ryan, R.M. & Deci, E.L. (2000b). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78.
- Ryan, R.M., Rigby, C.S. & Przybylski, A. (2006). The Motivational Pull of Video Games. A Self-Determination Theory Approach. *Motivation and Emotion*, 30(4), 344–360.
- Schiefele, U. & Schaffner, E. (2015). Motivation. In Wild, E. & Möller, J. (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 153–175). Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.
- Schnotz, W. (2011). *Pädagogische Psychologie kompakt. Mit Add-on*, Weinheim: Beltz.

- Schnotz, W. & Horz, H. (2011). Online-Lernen mit Texten und Bildern. In Klimsa, P. & Issing, L. (Hrsg.), *Online-Lernen. Planung, Realisation, Anwendung und Evaluation von Lehr- und Lernprozessen online* (S. 87–103). München: De Gruyter.
- Stavy, R. & Tirosh, D. (2000). *How students (mis-)understand science and mathematics. Intuitive rules*, New York, NY: Teachers College Press.
- Sweetser, P. & Wyeth, P. (2005). GameFlow. *Computers in Entertainment*, 3(3), 3.
- Tirosh, D. & Stavy, R. (1999). Intuitive Rules and Comparison Tasks. *Mathematical Thinking and Learning*, 1(3), 179–194.
- Tolks, C.L.u.C.S.u.D. (2009). Der gespielte Ernst des Lebens. Bestandsaufnahme und Potenziale von Serious Games (for Health). *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 15(0).
- Urban-Woldron, H. (2015). Bewegungssensoren und kognitive Aktivierung im Physikunterricht der neuen Mittelschule. Eine empirische Studie zum EU-Forschungsprojekt COMBLAB. *R&E-SOURCE Open Online Journal for Research and Education*(3), 47–60.
- Vogel, J.J., Vogel, D.S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C.A., Muse, K. & Wright, M. (2006). Computer Gaming and Interactive Simulations for Learning. A Meta-Analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 34(3), 229–243.
- Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (2011). *Physikdidaktik kompakt*, Freising: Aulis-Verl.
- Wilhelm, T. (2005). *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Wodzinski, R. (1996). *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*. Zugl.: Frankfurt (Main), Univ., Diss., 1996, Münster: Lit. In Müller, R., Wodzinsky, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 23-36). München: Aulis Verlag.
- Zavala, G., Tejada, S., Barniol, P. & Beichner, R.J. (2017). Modifying the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 285.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1. Beispiele zu den Schülervorstellungen "Graph as Picture Error" (links) und "Slope / Height Confusion" (rechts). Verändert nach und Wiesner, Schecker & Hopf (2011) und Beichner (1994).	7
Abbildung 2.2. Modell des multimedialen Lernens. Verändert nach Mayer (2005, 2014a).....	12
Abbildung 2.3. Formen der Motivationsregulation entlang des Kontinuums der Selbstbestimmung. Verändert nach Brandstätter, Schüler, Puca & Lozo (2013).	14
Abbildung 2.4. Verbindungen zwischen dem Player Enjoyment of Need Satisfaction Modell (PENS), Malones Theorie der intrinsisch motivierenden Instruktion und dem Game-Flow Modell. Eigene Abbildung nach Daten von Ryan, Rigby & Przybylski (2006), Malone & Lepper (1987) und Sweetser & Wyeth (2005).....	18
Abbildung 3.1. UML (Unified Modeling Language) basiertes Aktivitätsdiagramm (Carvalho 2017) zur Darstellung des Spielverlaufs von Graph Sketching.....	21
Abbildung 3.2. Userinterface von Graph Sketching (Rametsteiner 2017).	22
Abbildung 3.3. Verschiedene Typen von Level in Graph Sketching.	23
Abbildung 3.4. Formen von visuellem Feedback in Graph Sketching.	24
Abbildung 3.5. In Graph Sketching vorkommende Spielfiguren.	25
Abbildung 3.6. Frage fünf aus dem online Feedbackbogen zu Graph Sketching.....	26
Abbildung 4.1. Untersuchungsdesign der empirischen Studie bestehend aus einem Prätest, einem Posttest und einem Follow Up-Test.	28
Abbildung 4.2. Aufgabe 1 des Prätests zur Feststellung der Schülervorstellung „Graph as Picture Error“. In Anlehnung an das Testitem 17 des Kinematics Concept Tests von Lichtenberger et al. (2017).....	30
Abbildung 4.3. Aufgabe 2 des Prätests zur Feststellung der Schülervorstellung "Slope / Height Confusion". In Anlehnung an eine Aufgabe von McDermott, Rosenquist & van Zee (1987).	31
Abbildung 4.4. Aufgabe 3 des Prätests. Die Fragen 1 bis 5 wurden aus der Diplomarbeit von Gaida (2017) übernommen und erheben affektive Aspekte.....	31
Abbildung 4.5. Aufgabe 1 des Posttests zur Feststellung der Schülervorstellung „Slope / Height Confusion“. Entspricht dem Testitem 11 aus dem Kinematics Concept Test von Lichtenberger et al. (2017).	32
Abbildung 4.6. Aufgabe 2 des Posttests zur Feststellung der Schülervorstellung „Graph as Picture Error“. Entspricht dem Testitem 8 aus dem Test of Understanding Graphs in Kinematics von Beichner (1994).	33
Abbildung 4.7. Aufgabe 3 des Posttests. In Anlehnung an das Testitem 12 aus dem Kinematics Concept Test von Lichtenberger et al. (2017).	33
Abbildung 4.8. Aufgabe 4 des Posttests. Entspricht dem Testitem 11 aus dem Test of Understanding Graphs in Kinematics von Beichner (1994).	34
Abbildung 4.9. Aufgabe 5 des Posttests.....	35
Abbildung 4.10. Aufgabe 5 des Follow Up-Tests.....	35
Abbildung 6.1. Überlagerungen der ersten gezeichneten Versuche (links) und der endgültig abgegebenen Bewegungsdiagramme (rechts) für Level 2 (obere Reihe) und Level 7 (untere Reihe). 47	47

Abbildung 6.2. Überlagerung der erfolgreichen Lösungen mit voller Punktezahl der Schülerinnen und Schüler bei Level 11 (Einsammeln zweier Münzen, links) und bei Level 13 (Einsammeln einer Münze und gleichzeitiges Ausweichen eines Gegners, rechts).....	48
---	----

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1. Schwierigkeiten beim Umgang mit Bewegungsdiagrammen, die mit physikalischen Konzepten (links) und realen Vorgängen (rechts) zusammenhängen. Daten von McDermott, Rosenquist & van Zee (1987).	6
Tabelle 3.1. Kompatibilität von Graph Sketching mit einigen bekannten Browsern.....	20
Tabelle 3.2. Nummer, Geschlecht, Alter, Vorwissen, Gesamtbewertung, Bewertung des optischen Designs, eingeschätzter Wissenszuwachs und Bewertung der Instruktionen von den acht Testpersonen aus der Testphase.	27
Tabelle 4.1. Zusammensetzung der Stichprobe.....	29
Tabelle 6.1. Hypothesentest zu der Korrelation zwischen den pro Spielzeit und Level erreichten Punkten und den richtig gelösten Aufgaben beim Posttest.	46
Tabelle 6.2. Hypothesentests zu der Korrelation zwischen der Bewertung des optischen Designs und der Schulstufe, der Nutzung von Computerspielen und dem Geschlecht.....	48
Tabelle 6.3. Hypothesentests zu der Korrelation zwischen dem Spielspaß und der Schulstufe, der Einstellung der Schülerinnen und Schüler zum Fach Physik und der Nutzung von Computerspielen.	49
Tabelle 6.4. Hypothesentests zu den richtigen Antworthäufigkeiten der Schülerinnen und Schüler beim Posttest.	50
Tabelle 6.5. Hypothesentests zu den auf den Posttest erreichten Punkten der einzelnen Klassen, der Mädchen und Buben und dem Vergleich der auf den Posttest erreichten Punkte mit dem aus der Literatur abgeleiteten Wert.	52
Tabelle 6.6. Hypothesentest zu den auf den Posttest und Follow Up-Test erreichten Punkten.....	52
Tabelle 6.7. Hypothesentest zu der Häufigkeit des Graph and Picture Errors beim Prä- und Posttest.....	53
Tabelle 6.8. Hypothesentest zu der Häufigkeit der Slope / Height Confusion beim Prä- und Posttest.....	53

11 Diagrammverzeichnis

Diagramm 3.1. Anzahl der bearbeiteten Level, durchschnittliche pro Level aufgewandte Zeit und Verwendung einiger der angebotenen Tools.....	27
Diagramm 5.1. Prätest A3: Mittelwerte von Interesse, Beliebtheit des Faches und Motivation nach Klassen und Geschlecht.....	36
Diagramm 5.2. Prätest A3: Mittelwerte der Computerkenntnisse und -verwendung nach Klassen und Geschlecht.....	37
Diagramm 5.3. Prätest A1: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.	38
Diagramm 5.4. Prätest A1: Häufigkeit des Graph as Picture Errors.....	38
Diagramm 5.5. Prätest A2: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.	39
Diagramm 5.6. Prätest A2: Häufigkeit der Slope / Height Confusion.	39

Diagramm 5.7. Posttest A1: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.....	39
Diagramm 5.8. Posttest A1: Häufigkeit der Slope / Height Confusion.....	39
Diagramm 5.9. Posttest A2: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.....	40
Diagramm 5.10. Posttest A3: Häufigkeit des Graph as Pictures Errors.....	40
Diagramm 5.11. Posttest A3: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.	41
Diagramm 5.12. Posttest A4: Antworthäufigkeiten nach Klassen und Geschlecht.	41
Diagramm 5.13. Posttest A5: Spielspaß, Klarheit der Instruktionen, Schwierigkeitsgrad, optisches Design und eingeschätzter Wissenszuwachs nach Klassen und nach Geschlecht.	41
Diagramm 5.14. Follow Up-Test A1: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.....	42
Diagramm 5.15. Follow Up-Test A1: Häufigkeit der Slope / Height Confusion.....	42
Diagramm 5.16. Follow Up-Test A2: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.....	43
Diagramm 5.17. Follow Up-Test A2: Häufigkeit des Graph as Picture Errors.	43
Diagramm 5.18. Follow Up-Test A3: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.....	43
Diagramm 5.19. Follow Up-Test A4: Häufigkeiten der Antworten nach Klassen und Geschlecht.....	43
Diagramm 5.20. Follow Up-Test A5: Bewertung des Wiederspielwertes durch die Schülerinnen und Schüler.....	44
Diagramm 5.21. Mittelwerte der Spielzeit.....	44
Diagramm 5.22. Mittelwerte der Zeit pro Level.....	44
Diagramm 5.23. Mittelwerte der bearbeiteten Level.	45
Diagramm 5.24. Anteil an Kindern, die mindestens 50 % der Level mit v(t)-Diagrammen bearbeitet haben.....	45
Diagramm 5.25. Mittlere Anzahl an Versuchen pro Level.	45
Diagramm 5.26. Mittlere Zeit zum Anfertigen der Diagramme.....	45
Diagramm 5.27. Mittelwerte der pro Level erreichten Punkte nach Klassen und Geschlecht.	45
Diagramm 6.1. Vergleich der Mittelwerte des angegebenen Spielspaßes von Schülerinnen und Schülern mit negativen (1 und 2) und positiven (3 und 4) Ausprägungen der erhobenen affektiven Aspekte und der Nutzung von Computerspielen.	49
Diagramm 6.2. Vergleich der Häufigkeit der richtigen Antwortraten beim Posttest mit den aus der Literatur abgeleiteten Werten.	51
Diagramm 6.3. Box-Plots der auf den Posttest erreichten Punkte nach Klassen und Geschlecht.....	51
Diagramm 6.4. Box-Plots der auf den Posttest (jeweils links) und den Follow Up-Test (jeweils rechts) erreichten Punkte im Vergleich.....	52
Diagramm 6.5. Häufigkeit des Graph as Picture Errors beim Prä- (dunkel, links) und Posttest (hell, rechts) im Vergleich mit der 3A.....	53
Diagramm 6.6. Häufigkeit des Graph as Picture Errors beim Prä- (dunkel, links), Post- (hell, mittig) und Follow Up-Test (sehr hell, rechts) im Vergleich ohne der 3A.....	53
Diagramm 6.7. Auftreten der Slope / Height Confusion beim Prä- (dunkel, links) und Posttest (hell, rechts) im Vergleich mit der 3A.....	53
Diagramm 6.8. Auftreten der Slope / Height Confusion beim Prä- (dunkel, links), Post- (hell, mittig) und Follow Up-Test (sehr hell, rechts) im Vergleich ohne der 3A.....	53

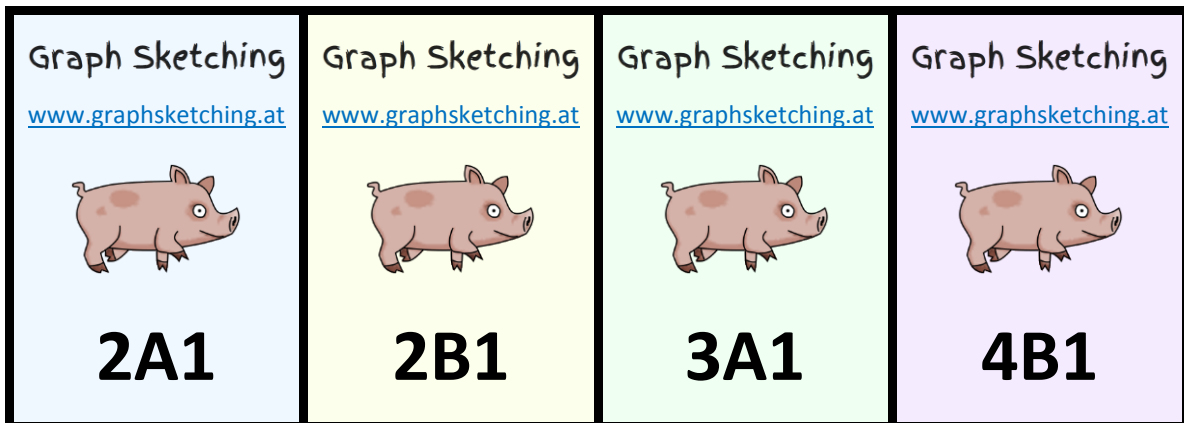
12 Anhang

A Mit dem online Feedbackbogen erhobene Daten

Nummer	Gesamtbewertung - Kommentar	Designbewertung - Kommentar	Wissenszuwachs - Kommentar	Inhalt - Kommentar	Was war unklar?	Änderungsvorschläge	Zusätzliches Feedback
1	keine Antwort	supersüß!	Zeitdiagramme	super	keine Antwort	vi eine einfache einföhrung	ich bin wohl zu böd für physik... aber man hat eine Ahnung von neuen Themenbereichen
2	Das Spiel hat mir gut gefallen - es erklärt Graphen auf eine spielerisch lustige Art & Weise und ist bessere als viele andere mir geläufigen Spiele (wie z.B. HoN)	Das Design ist ausgeklügelt und einleuchtend. Alle Funktionen sind klar erkennbar und durch entsprechende Icons oder Beschreibung sofort auffindbar - ohne große Einarbeitung/Anleitung. Einzig der Mistkübel löscht in späteren Levels sowohl x als auch y Graph, was mich anfangs verwirrt hat.	keine Antwort	Ich hätte mir noch eine Background-Story zum Schwein gewünscht.	Dass der Mistkübel beide Weg Graphen löscht sowie das Umstellen von Freihand zu geradlinig zeichnen war mir anfangs nicht sofort klar.	Mehr Levels.	Wann gibt es Version 2?
3	keine Antwort	keine Antwort	Katzen können fliegen	Nicht 100% schlüssige Storyline	Welche Instruktionen?	More explosions!!	Besseres "combat system" und Characterentwicklung
4	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort	Genauere Erklärung zur Funktionsweise	Ich glaube es wird ein hohes physikalisches/mathematisches Vorwissen der SuS vorausgesetzt
5	keine Antwort	keine Antwort	ja	keine Antwort	ja	keine Antwort	sehr gut dargestellt
6	alles hängt	keine Antwort	der Hubschrauber ist eine Katze	keine Antwort	keine Antwort	es sollte nicht so oft hängen bleiben, ob das mein computer ist?	keine Antwort
7	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort	keine Antwort
8	allgemein interessant, tw. wäre genauere Anleitung gut für Unterföhre; mich stört, dass das Video immer gleich losspleit und dass ich es nicht per Tastatur starten kann. Beispieldemo zu Beginn wäre toll; Anleitung während des Spiels noch mal einblendbar wäre gut	Design des Spiels: gut; Design der Anleitung und dieses Feedbackbogens: Layout ist nicht optimal und man muss scrollen	das x(t) für die horizontale Bewegung steht, y(t) für die vertikale und v(t) das Ganze mit Metern/sek. verbindet und wie es im Diagramm aussieht, wenn die Figur vorwärts/rückwärts geht oder auf-/absteigt	sehr anschaulich, aber ev. mehr Hilfestellung/Erklärung anbieten (kommt natürlich auch auf Zeitpunkt des Einsatzes und auf Vorwissen der Spielenden an)	Ich wusste laut Anleitung zwar, dass ich die Bewegung nachzeichnen sollte, aber nicht, wie genau und was z.B. x(t) usw. ist. Aber ich habe es im Laufe des Spiels mehr oder weniger herausgefunden.	s.o., also (1) pro Kapitel bzw. Thema eine Videodemo einbauen; (2) Anleitung wieder einblendbar machen; (3) ev. User das Video selbst starten lassen und es per Knopfdruck startbar machen (wegen der Übungen, bei denen man die Figur zieht); (4) ev. Gesamtpunkte auch einblenden bzw. Level 1 von X	Die Idee und auch die prinzipielle Umsetzung finde ich gut, ein paar Verfeinerungen sind sicherlich noch möglich, z.B. die Feinheit der Steuerung/Erfassung anpassen....ansonsten: (1) Anleitung: Wissen die Schüler/innen, was ein "UJ" ist?; (2) Anleitung, Erklärung Spielfeld: "Das Grid zeigt die Entfernungen für welchen Browser das Spiel optimiert ist; (4) vielleicht wären noch Erklärungen einbaubar, wenn jemand nicht von selbst zur korrekten Lösung kommt (es soll ja motivierend sein)

Tabelle: Offene Antworten und Kommentare der 8 Testpersonen.

B Kärtchen mit Usercodes



C Elterninformation mit Einverständniserklärung nach Gaida (2017)

Sehr geehrte Erziehungsberechtigte!

Mein Name ist Markus Rametsteiner und ich bin Student an der Universität Wien. In diesem Semester möchte ich mein Lehramtsstudium in den Fächern Physik und Biologie mit einer Diplomarbeit abschließen.

Meine Diplomarbeit beinhaltet einen empirischen Teil, in dem die Wirksamkeit von einem von mir entwickelten Lernspiel zum Thema „Anfertigen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen“ (www.graphsketching.at) überprüft wird.

Für diesen empirischen Teil der Arbeit werden die Schülerinnen und Schüler das Lernspiel bearbeiten und drei Fragebögen zur Wirksamkeit des Lernspiels ausfüllen. Die Fragebögen werden zu verschiedenen Zeitpunkten (vor dem Lernspiel, nach dem Lernspiel und rund 4 Wochen später) getestet. Pro Termin sind dabei zirka 15 Minuten eingeplant.

Die Fragebögen werden anonym auszufüllen sein und die erhobenen Daten dienen nur dem empirischen Teil meiner Diplomarbeit. Die Ergebnisse der Fragebögen beeinflussen keineswegs die Note Ihres Kindes.

Ich bitte Sie den unten angeführten Abschnitt auszufüllen und der Klassenlehrerin / dem Klassenlehrer zukommen zu lassen.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

-
- Ich stimme zu, dass mein Kind _____
an der empirischen Studie zur Überprüfung der Wirksamkeit eines digitalen Lernspiels
(www.graphsketching.at) teilnehmen darf.

Unterschrift des Erziehungsberechtigten: _____

Nummer: _____

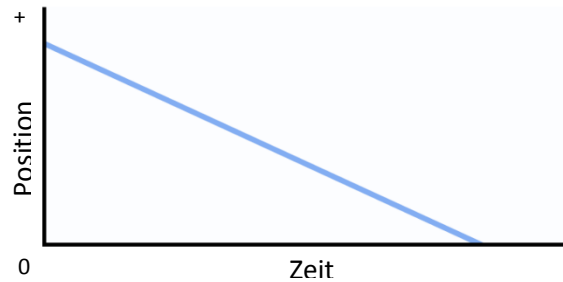
D Prätest

Prä-Test zu Bewegungsdiagrammen

Aufgabe 1

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt. Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegung des Körpers am besten?

- Der Körper steht die ganze Zeit still.
- Der Körper bewegt sich die ganze Zeit vorwärts (positive Richtung).
- Der Körper bewegt sich die ganze Zeit rückwärts (negative Richtung).
- Der Körper rollt einen schiefen Hang hinunter.



Wie erklärst du deine Entscheidung?

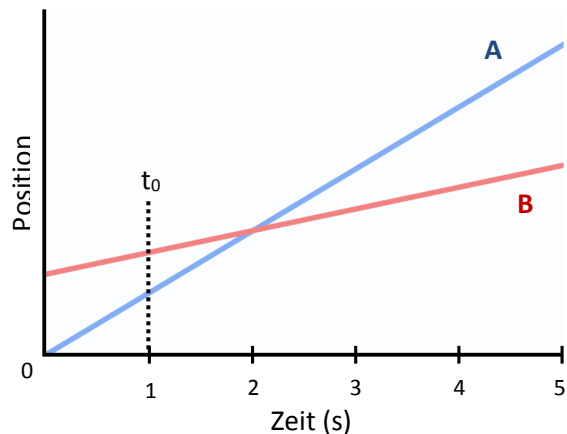
Aufgabe 2

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm von zwei Körpern A und B dargestellt.

A) Welcher Körper hat zum Zeitpunkt $t_0 = 1$ s die größere Geschwindigkeit?

- Körper A.
- Körper B.

Wie erklärst du deine Entscheidung?



B) Sind beide Körper irgendwann gleich schnell?

- Ja.
- Nein.

C) Falls ja, wann?

Aufgabe 3

Diese Aufgabe beinhaltet keine Fragen zum physikalischen Wissen, sondern allgemeine Fragen über dich und zum Fach Physik. Kreuze für die Beantwortung der Fragen Zutreffendes an!

Geschlecht: männlich weiblich

		Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
1.	Das Fach Physik hat für mich einen großen Stellenwert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Das Fach Physik gehört zu meinen Lieblingsfächern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Ich lerne Physik, damit ich eine gute Note bekomme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Im Fach Physik lerne ich etwas Wichtiges für das Leben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Ich bin interessiert an den Anwendungen der Physik im Alltag.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Ich habe einen Computer zuhause.	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein
		Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
7.	Ich kenne mich gut mit Computern aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Ich verwende Computer in der Schule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Ich spiele in meiner Freizeit Computerspiele.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Ich surfe in meiner Freizeit im Internet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nummer: _____

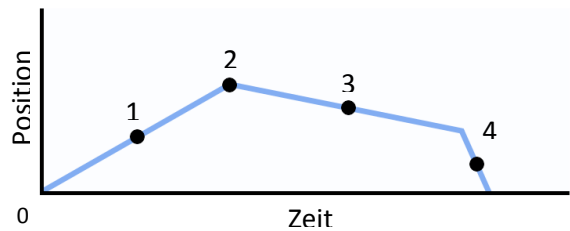
E Posttest

Post-Test zu Bewegungsdiagrammen

Aufgabe 1

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt. Wann hat der Körper die höchste Geschwindigkeit?

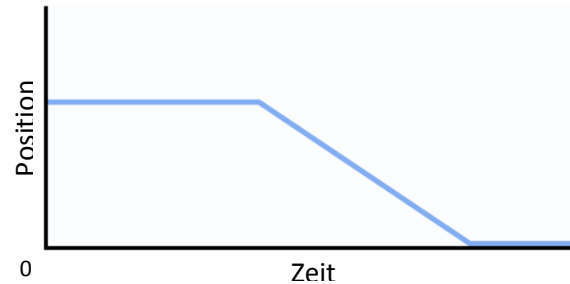
- Bei Punkt 1.
- Bei Punkt 2.
- Bei den Punkten 1 und 2.
- Bei Punkt 3.
- Bei Punkt 4.



Aufgabe 2

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt.

Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegung des Körpers am besten?

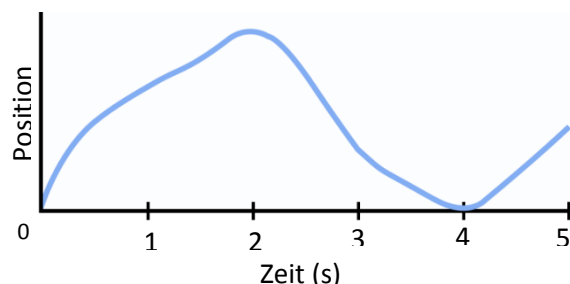


- Der Körper rollt auf einer ebenen Fläche. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich zunächst nicht. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit. Dann wird er langsamer und bleibt stehen.
- Der Körper bewegt sich zunächst nicht. Dann bewegt er sich zurück und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich entlang einer ebenen Fläche. Dann bewegt er sich einen Hügel hinunter und bewegt sich weiter.

Aufgabe 3

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines sich bewegenden Körpers dargestellt. Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegungsrichtung des Körpers am besten?

(vorwärts = positive Richtung, rückwärts = negative Richtung)

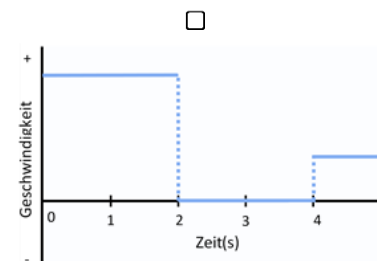
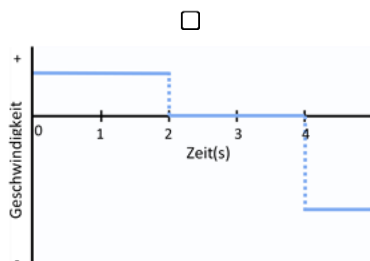
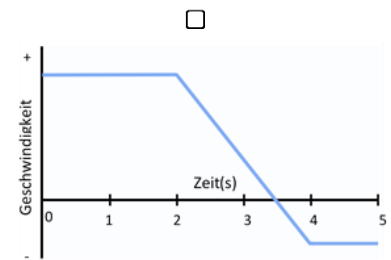
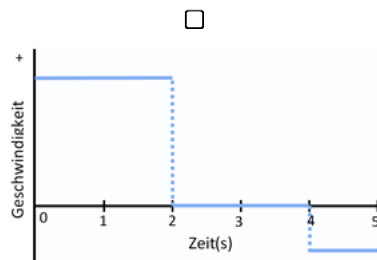
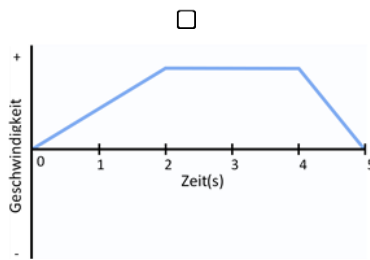
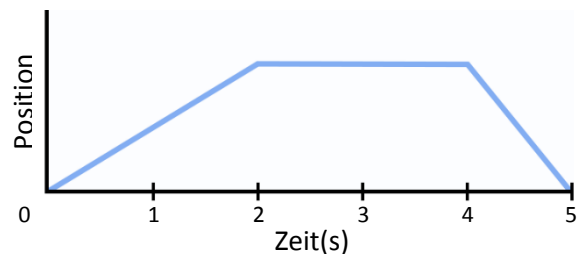


- Der Körper bewegt sich immer nach vorne.
- Der Körper bewegt sich bis $t = 2$ s vorwärts, dann bewegt er sich rückwärts.
- Der Körper bewegt sich bis $t = 4$ s vorwärts, dann bewegt er sich rückwärts.
- Zuerst bewegt sich der Körper vorwärts (bis $t = 2$ s), dann rückwärts und schließlich (von $t = 4$ s) wieder vorwärts.
- Der Körper bewegt sich immer rückwärts.

Aufgabe 4

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt.

Welches der folgenden Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme beschreibt die Bewegung des Körpers am besten?



Aufgabe 5

Diese Aufgabe beinhaltet keine Fragen zum physikalischen Wissen, sondern Fragen über das eingesetzte Lernspiel „Graph Sketching“. Kreuze für die Beantwortung der Fragen Zutreffendes an!

	Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
1. Das Spiel hat mir Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich wusste immer, was zu tun war.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Das Spiel war zu schwer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Das Spiel war zu leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Das Spiel hat mir optisch gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich habe etwas beim Spielen gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Was würdest du an dem Spiel ändern?

Nummer: _____

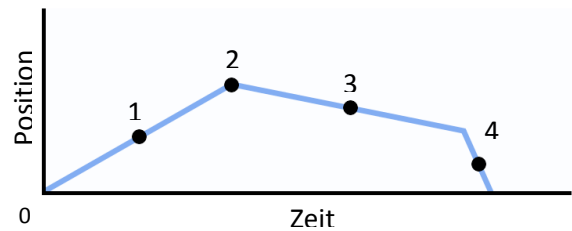
F Follow Up-Test

Follow Up-Test zu Bewegungsdiagrammen

Aufgabe 1

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt. Wann hat der Körper die höchste Geschwindigkeit?

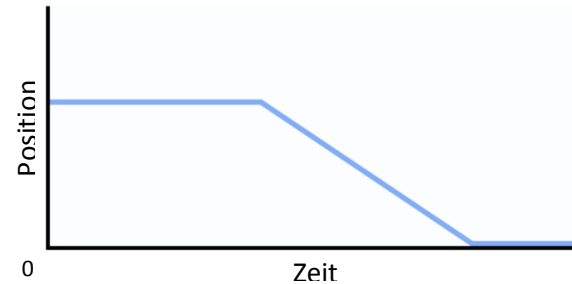
- Bei Punkt 1.
- Bei Punkt 2.
- Bei den Punkten 1 und 2.
- Bei Punkt 3.
- Bei Punkt 4.



Aufgabe 2

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt.

Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegung des Körpers am besten?

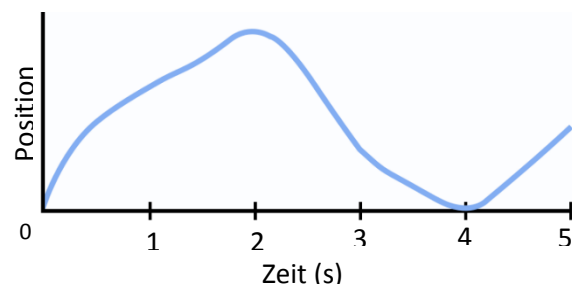


- Der Körper rollt auf einer ebenen Fläche. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich zunächst nicht. Dann rollt er einen Hügel hinunter und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit. Dann wird er langsamer und bleibt stehen.
- Der Körper bewegt sich zunächst nicht. Dann bewegt er sich zurück und bleibt schließlich stehen.
- Der Körper bewegt sich entlang einer ebenen Fläche. Dann bewegt er sich einen Hügel hinunter und bewegt sich weiter.

Aufgabe 3

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines sich bewegendes Körpers dargestellt. Welcher der folgenden Sätze beschreibt die Bewegungsrichtung des Körpers am besten?

(vorwärts = positive Richtung, rückwärts = negative Richtung)

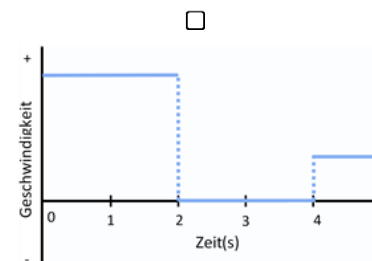
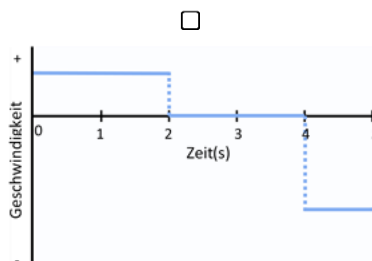
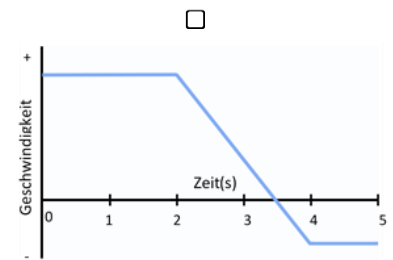
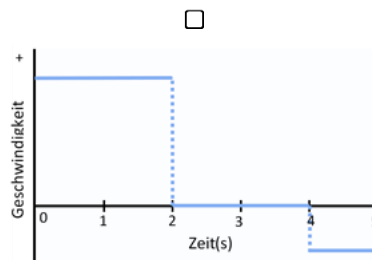
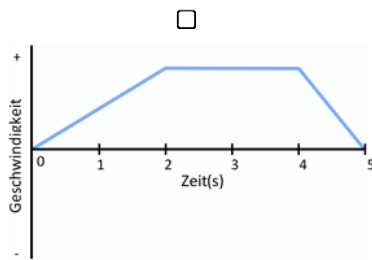
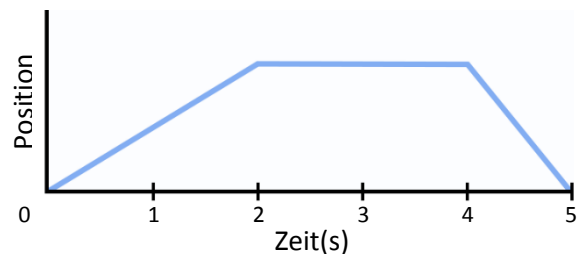


- Der Körper bewegt sich immer nach vorne.
- Der Körper bewegt sich bis $t = 2$ s vorwärts, dann bewegt er sich rückwärts.
- Der Körper bewegt sich bis $t = 4$ s vorwärts, dann bewegt er sich rückwärts.
- Zuerst bewegt sich der Körper vorwärts (bis $t = 2$ s), dann rückwärts und schließlich (von $t = 4$ s) wieder vorwärts.
- Der Körper bewegt sich immer rückwärts.

Aufgabe 4

Rechts ist ein Position-Zeit-Diagramm eines Körpers dargestellt.

Welches der folgenden Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme beschreibt die Bewegung des Körpers am besten?



Aufgabe 5

Diese Aufgabe beinhaltet keine Fragen zum physikalischen Wissen, sondern Fragen über das eingesetzte Lernspiel „Graph Sketching“. Kreuzt für die Beantwortung der Fragen Zutreffendes an!

Stimmt gar nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt eher	Stimmt ganz genau
------------------------	-------------------------	----------------	-------------------------

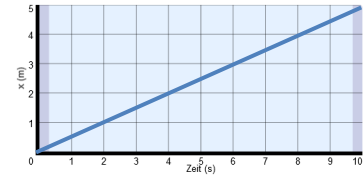
- | | | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Ich würde das Spiel gerne nochmals spielen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

G Beschreibung der 24 Level von Graph Sketching

Nachfolgend werden die einzelnen Level von Graph Sketching kurz beschrieben. Neben dem hier überall dargestellten Schweinchen werden in der aktuellen Version von Graph Sketching auch andere Spielfiguren verwendet.

Level 1

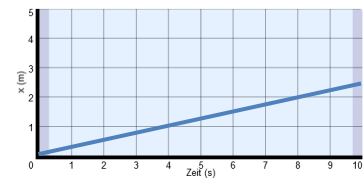
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Es muss eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in positiver x -Richtung in einen $x(t)$ -Graphen übersetzt werden.

Level 2

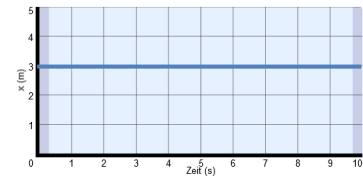
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Es muss eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in positiver x -Richtung in einen $x(t)$ -Graphen übersetzt werden. Im Vergleich zu Level 1 ist die Geschwindigkeit nun allerdings nur halb so groß. Man sieht: je flacher der Graph ist, desto langsamer ist die Bewegung.

Level 3

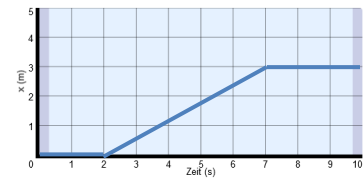
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Es muss eine Bewegung mit Geschwindigkeit = 0 in einen $x(t)$ -Graphen übersetzt werden – die Spielfigur bewegt sich in diesem Falls nicht. Man sieht: bleibt die Position gleich, so erhält man eine waagrechte Linie und die Geschwindigkeit ist 0.

Level 4

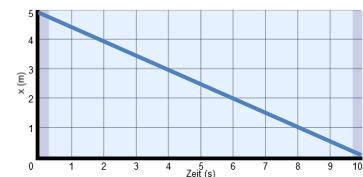
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Eine Kombination von Level 1 - 2 und Level 3.

Level 5

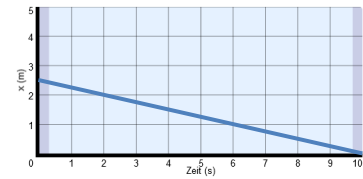
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Es muss eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in negativer x -Richtung in einen $x(t)$ -Graphen übersetzt werden. Man sieht: die Spielfigur bewegt sich von links nach rechts (von „vorne nach hinten“), wenn der Graph eine negative Steigung aufweist.

Level 6

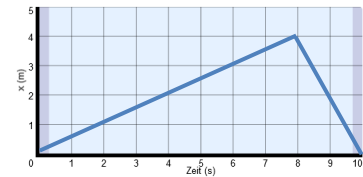
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Es muss eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in negativer x -Richtung in einen $x(t)$ -Graphen übersetzt werden. Im Vergleich zum vorherigen Level ist die Geschwindigkeit nun aber nur halb so groß. Man sieht: je flacher der Graph ist, desto langsamer ist die Bewegung.

Level 7

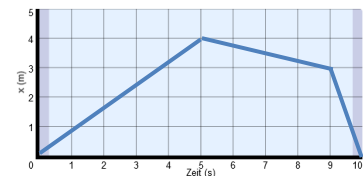
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Eine Kombination von Level 1 - 2 und Level 5 - 6.

Level 8

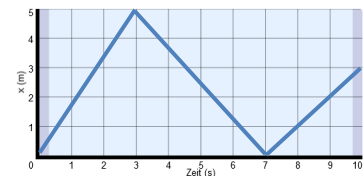
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachgehen



Beschreibung / Intention: Eine Kombination von Level 1 - 2 und Level 5 - 6.

Level 9

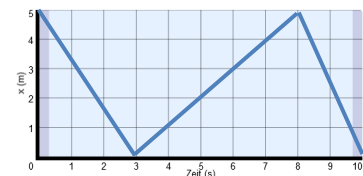
Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachgehen



Beschreibung / Intention: Eine Kombination von Level 1 - 2 und Level 5 - 6.

Level 10

Typ: $x(t)$ -Diagramm
Modus: Bewegung nachzeichnen



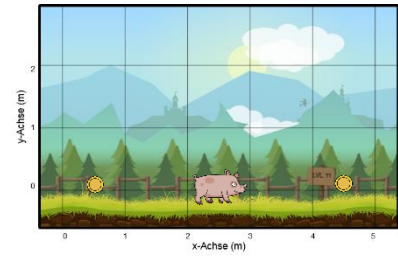
Beschreibung / Intention: Eine Kombination von Level 1 - 2 und Level 5 - 6.

In den folgenden Level 11 bis 15 geht es um das Einsammeln von Münzen und Ausweichen von Gegnern – die offene Gestaltung der Aufgaben ermöglicht eine Vielzahl an unterschiedlichen Lösungen, bei denen die zuvor thematisierten Konzepte (Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit) angewendet werden müssen und somit gefestigt werden sollen.

Level 11

Typ: x(t)-Diagramm
Modus: Münzen sammeln

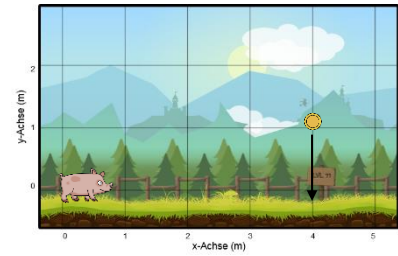
Beschreibung / Intention: Mit einer mittig platzierten Spielfigur muss eine Münze links von ihr und eine Münze rechts von ihr eingesammelt werden. Da dazu eine Strecke von mindestens 1,5 Spielweltweiten überwunden werden muss, sind auch die möglichen Geschwindigkeiten eingeschränkt.



Level 12

Typ: x(t)-Diagramm
Modus: Münzen sammeln

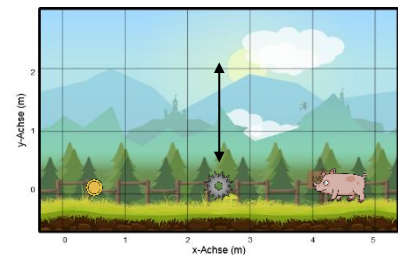
Beschreibung / Intention: Es soll eine Münze eingesammelt werden, die nur zu einem Zeitpunkt an einem bestimmten Ort erreichbar ist. Nun muss die Spielfigur entweder genau zum richtigen Zeitpunkt bei der Münze ankommen, oder unter ihr auf sie warten.



Level 13

Typ: x(t)-Diagramm
Modus: Münzen sammeln / Gegnern ausweichen

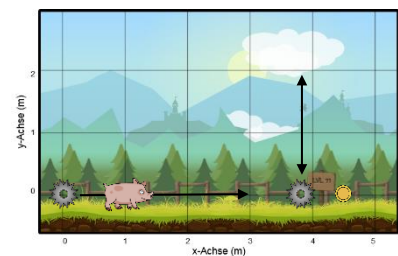
Beschreibung / Intention: Ein Gegner versperrt den Weg zu der Münze, die eingesammelt werden soll. Der Weg wird nur kurz freigegeben – in dieser Zeitspanne muss die Spielfigur den Ort des Gegners schnell passieren.



Level 14

Typ: x(t)-Diagramm
Modus: Münzen sammeln / Gegnern ausweichen

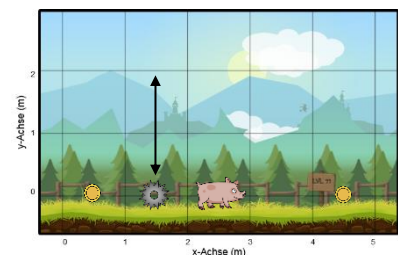
Beschreibung / Intention: Die Geschwindigkeit wird von zwei Gegnern eingeschränkt – um die Münze (lebend) zu erreichen muss vor einem Gegner davongelaufen werden, der andere bildet wieder eine kurzzeitig offene Schranke.



Level 15

Typ: x(t)-Diagramm
Modus: Münzen sammeln / Gegnern ausweichen

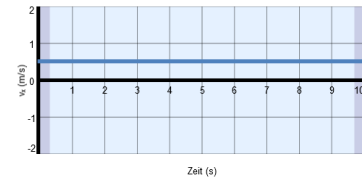
Beschreibung / Intention: Mit einer mittig platzierten Spielfigur müssen wieder 2 Münzen erreicht werden. Ein Gegner bildete dabei wieder eine Schranke vor einer der Münzen.



Die folgenden Level 16 bis 24 befassen sich mit Geschwindigkeit-Zeit-Diagrammen. Zuerst (Level 16 bis 19) sollen vorgegebene Bewegungen wieder nachgezeichnet werden, danach (Level 20 bis 24) geht es wieder um das Einsammeln von Münzen und Ausweichen von Gegnern.

Level 16

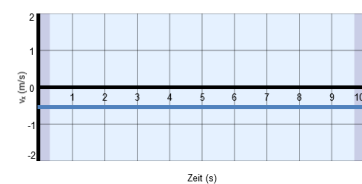
Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
 Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Es muss eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in positiver x-Richtung in einen $v_x(t)$ -Graphen übersetzt werden.

Level 17

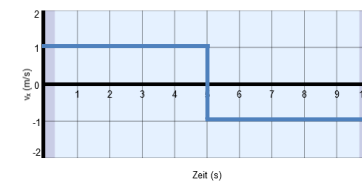
Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
 Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Es muss eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in negativer x-Richtung in einen $v_x(t)$ -Graphen übersetzt werden.

Level 18

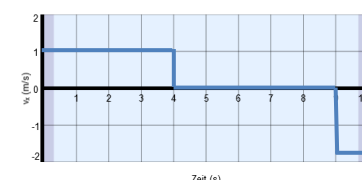
Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
 Modus: Bewegung nachzeichnen



Beschreibung / Intention: Eine Kombination von Level 17 und Level 18.

Level 19

Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
 Modus: Bewegung nachgehen

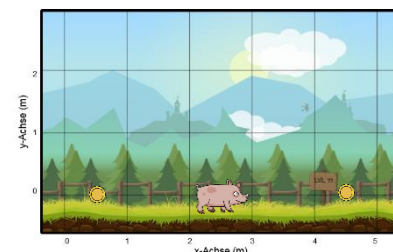


Beschreibung / Intention: Eine Kombination von Level 17 und Level 18 – außerdem sieht man, dass bei einer Geschwindigkeit von 0 m/s keine Positionsänderung stattfindet.

Level 20

Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
 Modus: Münzen sammeln

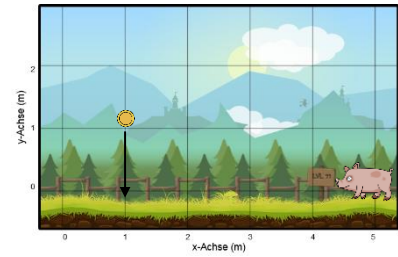
Beschreibung / Intention: Mit einer mittig platzierten Spielfigur muss eine Münze links von ihr und eine Münze rechts von ihr eingesammelt werden.



Level 21

Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
Modus: Münzen sammeln

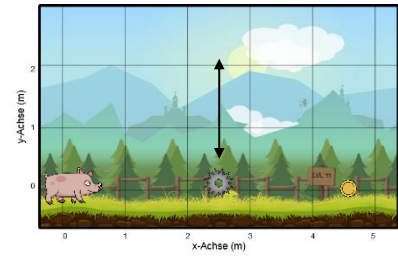
Beschreibung / Intention: Es soll eine Münze eingesammelt werden, die nur zu einem Zeitpunkt and einem bestimmten Ort erreichbar ist. Die Spielfigur muss entweder genau zum richtigen Zeitpunkt bei der Münze ankommen, oder unter ihr auf sie warten.



Level 22

Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
Modus: Münzen sammeln / Gegnern ausweichen

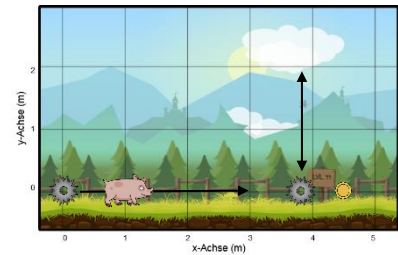
Beschreibung / Intention: Ein Gegner versperrt den Weg zu der Münze, die eingesammelt werden soll. Der Weg wird nur kurz freigegeben – in dieser Zeitspanne muss die Spielfigur die Position des Gegners schnell passieren.



Level 23

Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
Modus: Münzen sammeln / Gegnern ausweichen

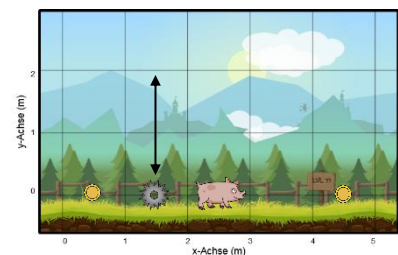
Beschreibung / Intention: Die Geschwindigkeit wird von zwei Gegnern eingeschränkt – um die Münze (lebend) zu erreichen muss vor einem Gegner davongelaufen werden, der andere bildet wieder eine kurzzeitig offene Schranke.



Level 24

Typ: $v_x(t)$ -Diagramm
Modus: Münzen sammeln / Gegnern ausweichen

Beschreibung / Intention: Mit einer mittig platzierten Spielfigur müssen wieder 2 Münzen erreicht werden. Ein Gegner bildete dabei wieder eine Schranke vor einer der Münzen.



H Kurzzusammenfassung und Abstract

Kurzzusammenfassung

Das Konstruieren und Interpretieren von Graphen zählt zu den wichtigsten Fähigkeiten, die Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht lernen. Dennoch treten bei dem Zeichnen und Analysieren von Kinematik-Graphen oft Fehlvorstellungen auf. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde auf der Grundlage von fachdidaktischen und lerntheoretischen Überlegungen ein digitales, webbasiertes Lernspiel mit dem Titel Graph Sketching (aufrufbar unter www.graphsketching.at) zum Anfertigen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen entwickelt. Eine in einer NMS durchgeführte Studie mit einem Prä-, Post- und Follow Up-Test Design zeigt, dass das Lernspiel selbst auf sonst eher schwer zu begeisternde Schülerinnen und Schüler motivierend wirkt, Kinder mit einer guten Einstellung zum Physikunterricht aber mehr Spaß beim Spielen haben. Bezogen auf die Schulstufe wird das Serious Game vor allem in den zweiten Klassen positiv bewertet. Nach der Intervention mit Graph Sketching erreichen die an der Studie teilnehmenden Schülerinnen und Schüler vergleichbar viele Punkte auf vier ausgewählte Beispiele zu Bewegungsdiagrammen, wie laut Literaturwerten nach einem einführenden Kinematikunterricht erwartet werden können. Die häufig auftretende Schülervorstellung Slope / Height Confusion wird dabei nach dem Spielen weniger oft festgestellt als davor. Bezogen auf die Fehlvorstellung Graph as Picture Error kann dagegen keine Verringerung beobachtet werden.

Abstract

The construction and interpretation of graphs is one of the most important skills that students learn in physics lessons. Yet there are a lot of misconceptions concerning the creation and analysis of kinematics graphs. In the course of this diploma thesis, the digital, web-based learning game Graph Sketching (available at www.graphsketching.at) was developed. During gameplay, students need to draw motion diagrams in order to move a character through different levels. A study in an NMS shows that the learning game has a motivating effect on students who are otherwise rather difficult to inspire. Especially younger pupils in the second grade enjoy playing the game. After the intervention with Graph Sketching, the students participating in the study achieve the same number of points on four selected test items, as other studies report for pupils attending an introductory kinematics lesson. Also, the frequently occurring misconception Slope / Height Confusion is detected less often after playing the game. On the other hand, there is no apparent reduction of the misconception Graph as Picture Error.