

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik,
eingereicht der Hessischen Lehrkräfteakademie
- Prüfungsstelle Frankfurt am Main -.

**Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“
im Physikunterricht im Bereich der Mechanik**

Steffen Peter Filsinger

Gutachter:

Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Medien und deren Einsatz im Physikunterricht	2
2.1	Medienbegriff	3
2.2	Medien im schulischen Unterricht	3
2.3	Klassische Medien im Physikunterricht	4
2.4	Neue Medien im Physikunterricht	5
2.4.1	Neue Medien und multimediales Lernen	5
2.4.2	Einsatz im Physikunterricht	7
2.4.3	Videoanalyse	8
2.4.4	Virtuelle Welten	11
2.4.5	Computerspiele	12
3	Minecraft	14
3.1	Entwicklung des Computerspiels „Minecraft“	15
3.2	Überblick über das Computerspiel „Minecraft“	15
3.3	Spielstart und grundlegende Spielmechanismen	18
3.4	Einsatz von Minecraft im schulischen Unterricht	21
4	Einsatzmöglichkeiten von Minecraft im Bereich der Mechanik	22
4.1	Einordnung der Thematik in den Physikunterricht	23
4.2	Physikalischer Hintergrund	24
4.2.1	Kinematische Größen	25
4.2.2	Die Newtonschen Axiome	26
4.2.3	Energie und Energieerhaltung	28
4.2.4	Impuls und Impulserhaltung	29

4.3	Einsatzmöglichkeiten	30
4.3.1	Technische Spezifikationen	31
4.3.2	Überlegungen zu den grundlegenden Spieleinstellungen	32
4.3.3	Videoaufnahme und Videoanalyse in Minecraft	34
4.3.4	Spielerische Beschreibung von Bewegungen	40
4.3.5	Beschreibung von Bewegungen durch Diagramme	46
4.3.6	Experimente zur Geschwindigkeit und Beschleunigung	54
4.3.7	Experimente zu Wurfbewegungen	67
4.3.8	Experimente zu den Themen „Impuls“ und „Energie“	78
4.4	Diskussion der Einsatzmöglichkeiten	90
5	Fazit	94
6	Literaturverzeichnis	96
7	Abbildungsverzeichnis	103
8	Tabellenverzeichnis	104
9	Eidesstattliche Erklärung	105
Anhang		106

1 Einleitung

Das Spielen von Computerspielen oder das *Streamen* von Spielkommentierungen über Plattformen wie „YouTube“ oder „Twitch“ erfreut sich heutzutage besonders bei Kindern und Jugendlichen einer großen Beliebtheit (Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb, 2017). So beträgt die Spieldauer bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 12 bis 19 Jahren in Deutschland eigenen Schätzungen nach unter der Woche durchschnittlich 84 Minuten pro Tag, während am Wochenende durchschnittlich 109 Minuten pro Tag mit digitalen Spielen verbracht werden (Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb, 2017). Ein Computerspiel, das sowohl in den verschiedenen Altersgruppen als auch bei den unterschiedlichen Geschlechtern einen sehr hohen Grad an Beliebtheit und Bekanntheit aufweist, ist das Computerspiel „Minecraft“ (Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb, 2017).

Aufgrund dessen wird im Rahmen der Bildungsforschung der Einsatz von Computerspielen zu Bildungszwecken kontrovers diskutiert. Mittlerweile gibt es beispielsweise eine Vielzahl an sogenannten *serious games*, die explizit zum Einsatz für Bildungszwecke programmiert wurden (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Des Weiteren wurden im schulischen Kontext einige Unterrichtskonzepte entwickelt, die die Nutzung von Computerspielen als Medium zur Gestaltung des schulischen Unterrichts beschreiben (Nebel, Schneider & Rey, 2015). Grundlage eines solchen Einsatzes ist es in diesem Zusammenhang immer, dass die Motivation der Lernenden beim Spiel auf den schulischen Unterricht übertragen und das multimediale Lernen der Schülerinnen und Schüler gefördert wird (Mayer, 2002; Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010).

Da es sich beim Computerspiel „Minecraft“ um eines der beliebtesten und bekanntesten Spiele der letzten Jahre handelt, wäre es naheliegend, dieses im Rahmen des schulischen Unterrichts zur Förderung der Motivation und des multimedialen Lernens auf Seiten der Schülerinnen und Schüler zu nutzen. Hierbei bietet dessen Spielprinzip und die offene Spielwelt insbesondere für den Einsatz im Physikunterricht eine Vielzahl an denkbaren Einsatzmöglichkeiten im Bereich der klassischen Mechanik. So könnten beispielsweise Bewe-

gungsabläufe im Computerspiel untersucht oder Experimente zu verschiedenen physikalischen Größen in der virtuellen Welt durchgeführt werden.

Die vorliegende wissenschaftliche Hausarbeit befasst sich aufgrund dessen mit der Fragestellung: „*Welche Einsatzmöglichkeiten bietet das Computerspiel „Minecraft“ für den Physikunterricht im Bereich der Mechanik?*“

Zur Bearbeitung dieser Fragestellung erfolgt zunächst ein Überblick über den Einsatz von klassischen und Neuen Medien im Physikunterricht, wobei ein Schwerpunkt auf dem Einsatz des Computers im Rahmen von Computerspielen und dem digitalen Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse liegt. Im Anschluss daran werden die Entwicklung des Computerspiels „Minecraft“, grundlegende Spielmechanismen sowie der aktuelle Forschungsstand bezüglich des Einsatzes von Minecraft im schulischen Kontext dargestellt. Nach dieser theoretischen Grundlegung wird das physikalische Teilgebiet der klassischen Mechanik sowie dessen Bedeutung für den schulischen Unterricht dargelegt, und es erfolgt eine Beschreibung der unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden. In diesem Zusammenhang liegt ein besonderer Schwerpunkt auf dem Themengebiet der Kinematik sowie dem methodischen Einsatz des Messwerterfassungsverfahrens der Videoanalyse. Abschließend wird eine umfassende didaktische und methodische Diskussion der verschiedenen Einsatzmöglichkeiten vorgenommen sowie ein Fazit in Bezug auf die Fragestellung gezogen.

2 Medien und deren Einsatz im Physikunterricht

Im folgenden Kapitel erfolgt eine kurze Darstellung des Medienbegriffs im schulischen Kontext sowie ein Überblick über den Einsatz von klassischen und Neuen Medien innerhalb des Physikunterrichts. Des Weiteren wird auf die Nutzung des Neuen Mediums „Computer“ im schulischen Physikunterricht eingegangen, wobei thematische Schwerpunkte auf dem multimedialen Lernen, dem Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse sowie Computerspielen liegen.

2.1 Medienbegriff

In der heutigen Gesellschaft wird der „Medienbegriff“ in den verschiedensten Zusammenhängen verwendet, sodass in unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen oftmals ein unterschiedliches Verständnis in Bezug zur Thematik „Medien“ vorherrscht. So ist es beispielsweise möglich, auf der Grundlage der alltäglich verwendeten Sprache eine Vielzahl an Medien wie Zeitungen, Bilder oder Computer zu nennen, welche jedoch im direkten Vergleich miteinander in Teilen deutliche Verschiedenheiten aufweisen (Schaumburg & Prasse, 2019).

Aufgrund dessen wurden von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unterschiedlicher Fachgebiete Definitionen entwickelt, die versuchen, den „Medienbegriff“ zu beschreiben. Der Physikdidaktiker Girwidz (2009a) bezeichnet Medien beispielsweise allgemein als „Mittler, die Informationen übertragen können“ (S. 205), wohingegen der Medienpädagoge Winkler Medien als „Maschinen der gesellschaftlichen Vernetzung“ ansieht (Winkler, 2008, S. 11). Anhand dieser Definitionen wird ersichtlich, dass der „Medienbegriff“ auch im wissenschaftlichen Diskurs auf verschiedene Weise interpretiert werden kann. Im Vergleich der unterschiedlichen Auffassungen wird hingegen deutlich, dass Medien als „Träger und Vermittler von Signalen in kommunikativen Zusammenhängen“ angesehen werden können (Schaumburg & Prasse, 2019, S. 17).

2.2 Medien im schulischen Unterricht

Medien als „Träger und Vermittler von Signalen“ sind insbesondere für den schulischen Unterricht von großer Bedeutung, da diese die Kommunikation zwischen Lehrkräften und Lernenden über unterschiedliche Inhalte ermöglichen (Schaumburg & Prasse, 2019).

Soll beispielsweise im Physikunterricht die Thematik der Beschleunigung behandelt werden, kann dies mit Hilfe eines Experimentes, eines Videos, eines Arbeitsblattes, eines Buches oder einer Kombination von verschiedenen Medien geschehen. Welche der zuvor genannten Medien sich für diese Aufgabe am besten eignen, ist hierbei von der Lehrkraft, der Lerngruppe, den fachlichen Inhalten und dem jeweiligen Lernziel abhängig. Eine geeignete Wahl des Me-

diums unter Berücksichtigung der zuvor genannten Faktoren kann somit zur Förderung von fachlichen und überfachlichen Kompetenzen im schulischen Unterricht beitragen (Girwidz, 2009a). Unterrichtsmedien stellen daher ein von Lehrkräften spezifisch eingesetztes Mittel der Unterrichtsgestaltung dar, die im Rahmen der didaktischen Aufbereitung komplexer Inhalte zum Erreichen eines Lernziels genutzt werden können (Schaumburg & Prasse, 2019).

Unterrichtsmedien können anhand verschiedenster Aspekte wie technische, informationspsychologische oder didaktisch-methodische Aspekte klassifiziert werden. Eine im schulischen Kontext oftmals angewandte Unterscheidung stellt die Unterteilung in klassische Medien und Neue Medien dar, bei der Medien anhand ihres Grades an Interaktivität, Multimedialität und der Aktualität unterteilt werden (Girwidz, 2009a; Girwidz, 2009b).

2.3 Klassische Medien im Physikunterricht

Bei klassischen Unterrichtsmedien handelt es sich nach Girwidz (2009b) vorwiegend um analoge Medien, die bei der Nutzung durch Anwendende wie Lehrkräfte oder Lernende nur ein geringes Maß an Multimedialität und Möglichkeit zur direkten Interaktion mit der Anwenderin oder dem Anwender bieten. Typische klassische Unterrichtsmedien stellen daher Wandtafeln, Projektoren, Dokumentenkameras, Arbeitsblätter, Schulbücher sowie Filme und Videos dar, bei denen die Interaktion mit dem Medium vorwiegend von Seiten des Anwendenden verläuft (Girwidz, 2009a; Girwidz, 2009b).

Die Relevanz von klassischen Medien im schulischen Physikunterricht wurde durch eine Studie von Wenzel und Wilhelm (2015) untersucht. Bei dieser Studie wurden 163 Physik-Lehrkräfte des gymnasialen Bildungszweiges aus dem Raum Frankfurt und Würzburg zum Thema „Mediennutzung im Unterricht“ befragt. Innerhalb eines Online-Fragebogens sollten die Lehrkräfte angeben, wie häufig sie die klassischen Medien „Tafel oder Whiteboard“, „Arbeitsblatt“ und „Schulbuch“ in ihrem Physikunterricht nutzen. Hierbei wurde zwischen einer häufigen Nutzung von mindestens einmal pro Woche, einer mittleren

Nutzung von einmal bis mehrmals pro Monat und einer seltenen Nutzung von weniger als einmal im Monat unterschieden (Wenzel & Wilhelm, 2015a).

Im Rahmen dieser Studie gaben 85 Prozent der Lehrkräfte an, dass sie eine Tafel oder ein Whiteboard mindestens einmal pro Woche im Physikunterricht nutzen. Auch die klassischen Medien „Schulbuch“ (67 Prozent) und „Arbeitsblatt“ (59 Prozent) werden von einem Großteil der Lehrkräfte mindestens einmal pro Woche innerhalb ihres Physikunterrichts genutzt (Abbildung 1) (Wenzel & Wilhelm, 2015a).

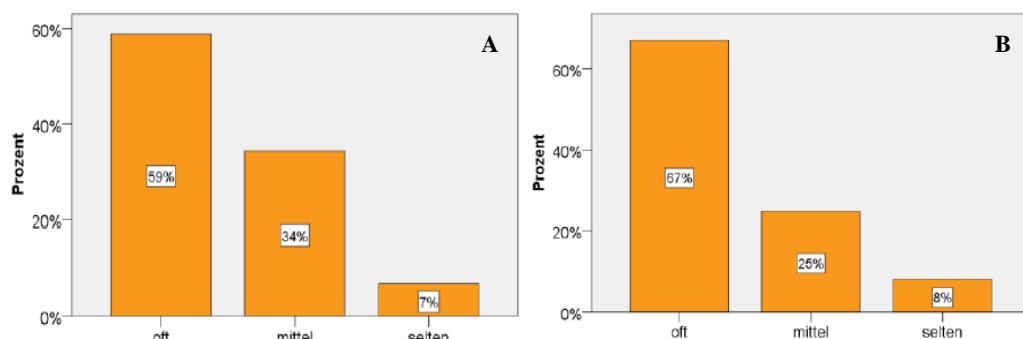


Abbildung 1: Prozentuale Einsatzhäufigkeit (N=163) der Medien „Arbeitsblatt“ (A) und „Schulbuch“ (B) im Physikunterricht (Wenzel & Wilhelm, 2015a, S. 3).

Die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Studie lassen darauf schließen, dass klassische Medien wie die Tafel, das Schulbuch oder auch das Arbeitsblatt von großer Bedeutung für den heutigen Physikunterricht sind, da diese von den Lehrkräften häufig im Unterricht verwendet werden (Wenzel & Wilhelm, 2015a). Diese Ergebnisse stimmen auch mit den Ergebnissen einer Unterrichtsfach unspezifischen Studie mit 93 Lehrkräften in der deutschen Schweiz überein, bei der klassische Medien wie die Tafel und das Schulbuch zu den am häufigsten im Unterricht genutzten Medien gehören (Moser, 2006). Schlussendlich wird aus diesen beiden Studien erkennbar, dass die klassischen Medien im heutigen Schulunterricht einen großen Stellenwert einnehmen.

2.4 Neue Medien im Physikunterricht

2.4.1 Neue Medien und multimediales Lernen

Der Begriff „Neue Medien“ lässt sich auf die stetig fortschreitende Entwicklung der digitalen Technologie zurückführen und wird ebenso wie der Medienbegriff in einer Vielzahl von unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet

(Girwidz, 2009b). Ein aktuelles Beispiel hierfür stellt der politische Diskurs zum Digitalpakt dar, bei dem die Rolle von Neuen Medien im schulischen Unterricht diskutiert wird (Hischer, 2018).

Aus Sicht des Physikdidaktikers Girwidz (2009b) handelt es sich bei Neuen Medien um Medien, die ein hohes Maß an Interaktivität, Aktualität und Multimedialität aufweisen. Dies bedeutet beispielsweise, dass durch das Medium Informationen in Form von unterschiedlichsten Darstellungsweisen veranschaulicht werden und ein hohes Maß an Interaktion zwischen dem Medium und dem Anwendenden möglich ist (Girwidz, 2009b). Aufgrund dessen handelt es sich bei Neuen Unterrichtsmedien vorwiegend um computerbasierte Systeme wie Desktop-Computer, Laptops, Smartphones und Tablets. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese computerbasierten Systeme in Kombination mit Anwendungen betrieben werden müssen, die „über die Möglichkeiten klassischer Medien hinausgehen“ (Wenzel, 2018, S. 4). So darf beispielsweise nicht von der Nutzung eines Neuen Mediums ausgegangen werden, wenn ein Computer ausschließlich zum Lesen von Texten eingesetzt wird, da dies ebenfalls durch ein Buch oder ein Arbeitsblatt möglich gewesen wäre. Die computergestützte Recherche von Informationen im Internet und die Auftragung dieser Daten in Form einer digitalen *Concept-Map* hingegen würde einer Nutzung des Computers als Neuem Medium entsprechen (Wenzel, 2018).

Aus lernpsychologischer Sicht können Neue Medien genutzt werden, um multimediales Lernen zu ermöglichen. Multimediales Lernen tritt dann ein, wenn sich eine mentale Vorstellung über eine Thematik aus den medial dargebotenen Bildern und Wörtern entwickelt (Mayer, 2002). Dies kann insbesondere durch den Einsatz von Neuen Medien erreicht werden, welche die Eigenschaften Multimodalität, Multicodierung und Interaktivität aufweisen. So kann durch die Integration verschiedener Sinnesbereiche (Multimodalität), die vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten (Multicodierung) und das individuelle Feedback der Software (Interaktivität) eine tiefgreifende Auseinandersetzung mit der behandelten Thematik ermöglicht werden. Weiterhin kann sich der Einsatz von Neuen Medien positiv auf die Motivation der Lernenden auswirken, wie in Kapitel 2.4.5 „Computerspiele“ näher erläutert wird (Girwidz, 2009c).

In Bezug zum Physikunterricht ist multimediales Lernen von besonderer Bedeutung, da häufig komplexe Inhalte thematisiert werden, die auf Grundlage von nur einer Darstellungsform meist schwierig nachzuvollziehen sind. Durch den Einsatz von Neuen Medien und somit auch vielfältigen Darstellungsformen „können abstrakte Objekte, Modelle und Prozesse auf ihre repräsentationsinvarianten Strukturen hin abstrahiert werden“ (Girwidz, 2009c, S. 639).

2.4.2 Einsatz im Physikunterricht

Die Bedeutung von Neuen Medien für den schulischen Physikunterricht wurde durch mehrere Studien von Trefzger, Gröber, Wenzel und Wilhelm untersucht. In der von Wenzel und Wilhelm durchgeführten Studie (2015a), bei der 163 Physik-Lehrkräfte des gymnasialen Bildungszweiges aus dem Raum Frankfurt und Würzburg befragt wurden, erfolgte neben der Erhebung zur Nutzung von klassischen Medien auch eine Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Neuen Medien wie Computern, Smartphones und Tablets im Physikunterricht.

Im Rahmen dieser Untersuchung gaben 59 Prozent der Lehrkräfte an, einen Computer mindestens einmal pro Woche innerhalb ihres Unterrichts zu nutzen. 28 Prozent der Lehrkräfte erklärten zudem, einen Computer mindestens einmal im Monat zu verwenden, und 12 Prozent gaben an, einen Computer weniger als einmal im Monat oder noch nie im Physikunterricht genutzt zu haben (Abbildung 2) (Wenzel & Wilhelm, 2015a). Im Bezug zum Einsatz der Medien „Smartphone oder Tablet“ erklärten 80 Prozent der Lehrkräfte, dass diese im Physikunterricht weniger als einmal im Monat oder noch nie verwendet wurden (Abbildung 2). Zehn Prozent der Lehrkräfte gaben an, ein Smartphone oder Tablet häufig im Physikunterricht zu nutzen (Abbildung 2) (Wenzel & Wilhelm, 2015a).

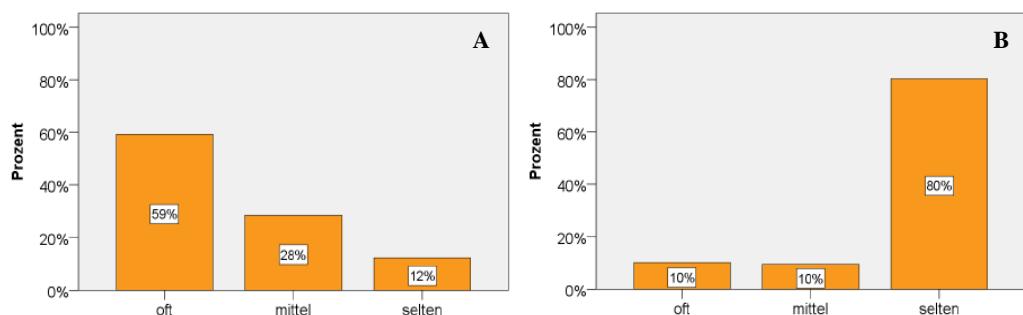


Abbildung 2: Prozentuale Einsatzhäufigkeit (N=163) der Medien „Computer“ (A) sowie „Smartphone oder Tablet“ (B) im Physikunterricht (Wenzel & Wilhelm, 2015a, S. 3-4).

Die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Studie lassen darauf schließen, dass insbesondere das Medium „Computer“ von Bedeutung für den heutigen Physikunterricht ist, da dieses von Lehrkräften im Unterricht ähnlich häufig genutzt wird wie die klassischen Medien „Arbeitsblatt“ oder „Schulbuch“. Smartphones und Tablets hingegen werden heute im Physikunterricht von den Lehrkräften nur im geringen Maße genutzt (Wenzel & Wilhelm, 2015a).

Da es jedoch eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten für Computer gibt, wurde in Studien von Gröber und Wilhelm (2006), Wilhelm und Trefzger (2010) und Wenzel und Wilhelm (2015a) untersucht, in welcher Art und Weise Computer innerhalb des Physikunterrichts verwendet werden. Im Rahmen dieser Befragungen konnten sieben unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten innerhalb des Physikunterrichts identifiziert werden. Bei diesen handelt es sich um die „Videoanalyse von Bewegungen“, „Simulationen“, „Modellbildungsprogramme“, „digitale Messwerterfassungen“, „interaktive Bildschirmexperimente“ und das „Internet als Informations- oder Kommunikationsmedium“ (Wilhelm & Trefzger, 2010, S. 1-3). Unter diesen Anwendungsmöglichkeiten stellen Simulationen durch Applets und das Internet als Informationsmedium die am häufigsten verwendeten Nutzungsformen dar. In den letzten Jahren haben Anwendungsmöglichkeiten wie die Videoanalyse durch einen steigenden Bekanntheitsgrad jedoch einen starken Zuwachs an Nutzerinnen und Nutzern erhalten (Wenzel & Wilhelm, 2015a).

Aus diesen Studien wird deutlich, dass der Einsatz des Computers im Physikunterricht hauptsächlich auf Seiten der Lehrkraft erfolgt, wohingegen die Lernenden Computer nur selten verwenden (Wenzel & Wilhelm, 2015a). Dieses Nutzungsverhalten könnte mit der Ausstattung der Klassen- und Fachräume zusammenhängen, da beispielsweise im Jahr 2006 im Bundesland Rheinland-Pfalz erst 53 Prozent der Physikräume mit einem Computer ausgestattet waren. Eine Nutzung von Computern durch die Lernenden wäre daher vermutlich nur in dafür eingerichteten Computerräumen denkbar (Gröber & Wilhelm, 2006).

2.4.3 Videoanalyse

Eine mögliche Anwendung von Neuen Medien im Physikunterricht stellt die computergestützte Messwerterfassung durch Videoanalysen dar. Hierbei han-

delt es sich um ein optisches Messverfahren, bei dem die Bewegung eines Objektes anhand von Videoaufnahmen untersucht werden kann (Gröber, Poth & Wilhelm, 2005). Die Untersuchung erfolgt mit Hilfe einer Videoanalysesoftware, die das Objekt erkennt, verfolgt und auf der Grundlage eines Maßstabs, eines Koordinatensystems und der Bildfrequenz den Ort in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt (Abbildung 3) (Benz & Wilhelm, 2008).

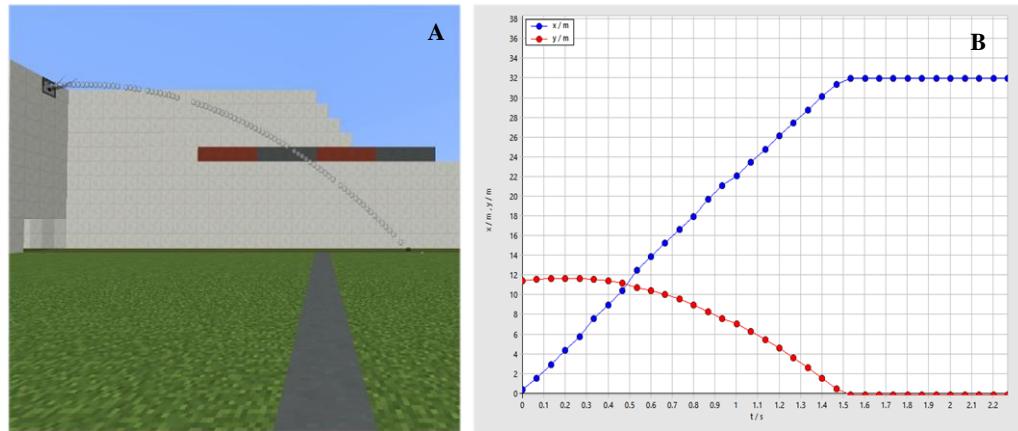


Abbildung 3: Darstellung der Bewegung eines im Computerspiel „Minecraft“ geschossenen Schneeballs als Stroboskopbild (A) sowie des über Videoanalyse ermittelten Ort-Zeit-Diagramms (B).

Aus diesen durch die Analysesoftware ermittelten Daten lassen sich zudem Informationen über weitere kinematische Größen wie die Geschwindigkeit oder die Beschleunigung des Objektes gewinnen. Auch sind automatische Analysen von mehreren bewegten Objekten möglich, sodass beispielsweise die Veränderung der kinematischen Größen von Objekten bei Stoßprozessen untersucht werden können (Benz & Wilhelm, 2008).

Zur Durchführung von Videoanalysen gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen wie *measure dynamics*, *Digitale Video Analyse* (DIVA), *Easy Video Analysis* (EVA) oder *Viana*. Die einzelnen Anwendungen unterscheiden sich hierbei vorwiegend in der Funktionalität, der Kompatibilität zu verschiedenen Betriebssystemen und den Kosten der Software. So kann die Analyse eines Videos in Abhängigkeit von der verwendeten Software am Computer, am Smartphone oder Tablet erfolgen, wobei oftmals zwischen kostenlosen oder kostenpflichtigen Anwendungen ausgewählt werden kann (Nordmeier, Schummel & Schwarzhans, 2016; Wilhelm, 2008). Bei der Anwendung *measure dynamics* handelt es sich beispielsweise um eine Videoanalysesoftware mit hohem Funktionsumfang, die ausschließlich für die Nutzung

am Computer vorgesehen ist. Diese ist sowohl als vollwertige Demolizenz als auch als käufliche Lizenz zu erhalten (Benz & Wilhelm, 2008). Die kostenlose *open-source* Anwendung *Viana* hingegen ist für den Gebrauch am Computer (*Viana.NET*) und für den Gebrauch am Tablet (*Viana*) vorgesehen. Insbesondere die Möglichkeit zur Kombination der Aufnahme- und Analysefunktion in einer gemeinsamen Anwendung für das Tablet ist für die Anwendung im Physikunterricht interessant (Nordmeier, Schummel & Schwarzhans, 2016).

Das digitale Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse eröffnet Physik-Lehrkräften eine Vielzahl neuer Möglichkeiten innerhalb des schulischen Physikunterrichts. So eignet sich das Verfahren besonders zur Auswertung von Experimenten innerhalb des Kinematik- und Dynamik-Unterrichts und stellt somit eine Alternative zum klassischen sensorgestützten Verfahren im Mechanik-Unterricht dar (Nordmeier, Schummel & Schwarzhans, 2016).

Zudem lassen sich durch das Verfahren der Videoanalyse alltägliche Bewegungsabläufe untersuchen, da die Analyse zweidimensionaler Bewegungen durch die Analysesoftware leicht durchführbar ist (Wilhelm, 2008). Dies ermöglicht die Entwicklung neuer Konzepte für den Physikunterricht, die sich stärker an der Lebenswelt der Lernenden orientieren (Mück & Wilhelm, 2009). So wurden beispielsweise Unterrichtskonzepte für den Einsatz von Videoanalysen im Kontext „Freizeitpark“ oder „Sportbewegungen“ (Abbildung 4) entworfen und ein Lehr-Lern-Labor zum Thema „Videoanalyse von Zweidimensionalen Bewegungen“ entwickelt (Eberlein & Wilhelm, 2011; Mück & Wilhelm, 2009; Schüttler & Wilhelm, 2011).

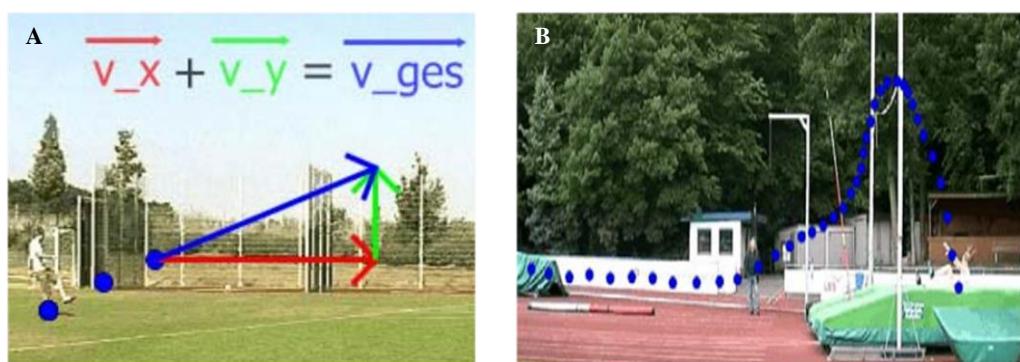


Abbildung 4: Einsatzmöglichkeiten von Videoanalysen zum Thema „Sportbewegungen“. Es kann die Vektoraddition am Beispiel einer Fußballflanke (A) thematisiert oder die Bahnkurve eines Stabhochspringers (B) analysiert werden (Mück & Wilhelm, 2009, S. 20-25).

Abschließend ist anzumerken, dass die Nutzung von Videoanalysen nicht ausschließlich auf den Mechanik-Unterricht beschränkt ist, da auch Konzepte wie die „Auswertung von Modellgasen mittels Videoanalyse“ entwickelt wurden, die auf Modellexperimenten basieren (Wilhelm, Geßner & Benz, 2009).

Neben diesen thematischen Aspekten ermöglicht der Einsatz von Videoanalysen Lehrkräften zudem ein gezieltes Eingehen auf Fehlkonzepte der Lernenden sowie eine Visualisierung von wenig anschaulichen physikalischen Größen wie der Geschwindigkeit oder der Beschleunigung. Weiterhin kann durch die Kombination von Experimenten „mit dynamisch ikonischer Repräsentation“ und dem Erstellen von „Graphen“ in Echtzeit die Fähigkeit der Lernenden zum Umgang mit Graphen gefördert werden, was für den Physikunterricht und die Wissenschaft von großer Relevanz ist (Wilhelm, 2008, S. 2). Das Verfahren der Videoanalyse bietet somit eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für Lehrkräfte und die Lernenden, sodass der Einsatz von Videoanalyse innerhalb des Physikunterrichts förderlich für die Motivation und das Lernen der Schülerinnen und Schüler sein könnte.

2.4.4 Virtuelle Welten

Eine weitere Anwendung von Neuen Medien im Physikunterricht stellt die Nutzung von Simulations- oder Modellbildungs-Software dar. Mit Hilfe dieser Software können physikalische Prozesse in oftmals eigens dafür programmierten virtuellen Welten simuliert und modifiziert werden, sodass am Computer, am Smartphone oder am Tablet virtuelle Experimente erstellt und durchgeführt werden können (Zang & Wilhelm, 2013). So ist es mit Hilfe von Simulationsbaukästen wie dem kostenlosen *Algodoo* oder dem kostenpflichtigen *Yenka* beispielsweise möglich, die Funktion eines Regensors auf Grundlage der Totalreflexion zu entdecken (Wenzel & Wilhelm, 2015b). Zudem kann bei der Durchführung eines Experimentes in einem Simulationsbaukasten eine Modifikation von physikalischen Größen wie der Masse, der Geschwindigkeit oder der Wellenlänge erfolgen, sodass physikalische Zusammenhänge analysiert und quantitative Aussagen getroffen werden können, ohne etwas berechnen zu müssen (Zang & Wilhelm, 2013).

2.4.5 Computerspiele

Neben dem Einsatz von virtuellen Welten, die explizit zur Simulation von physikalischen Prozessen programmiert wurden, besteht ebenfalls die Möglichkeit, Computerspiele für den Physikunterricht zu nutzen. Hierbei handelt es sich oftmals um zwei- oder dreidimensionale Welten, die von der Anwenderin oder dem Anwender mit einem bestimmten Ziel oder einer Aufgabe erkundet werden können, wobei der Anwendende den Regeln des jeweiligen Spiels unterworfen ist (Meyer, 2011; Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010).

Die Grundidee des Einsatzes von Spielen im Unterricht ist es, „die Motivation des Spielens zur Aneignung von Wissen einzusetzen“ (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010, S. 185-186). Dies ist insbesondere für den Einsatz von Computerspielen relevant, da Kinder und Jugendliche viel Zeit und auch teilweise Geld für die Unterhaltung durch Computerspiele aufwenden. Im Jahr 2014 beispielsweise verbrachten Kinder und Jugendliche im Alter von 10 bis 18 Jahren in ihrer Freizeit durchschnittlich 104 Minuten pro Tag mit dem Spielen am Computer, mit einer Spielekonsole oder dem Smartphone (Bitkom, 2014).

Diese hohe Motivation auf Seiten der Kinder und Jugendlichen liegt in Bezug zum schulischen Unterricht oftmals nicht vor, sodass durch die bildungswissenschaftliche und fachdidaktische Forschung unterschiedlichste Konzepte zur Erhöhung der Motivation der Lernenden entwickelt wurden (Gabriel, 2013). Einer dieser Ansätze stellt das Konzept der *Gamification* dar, bei dem Elemente digitaler Spiele „auf Kontexte und Aktivität, die nicht als Spiel gelten“, übertragen werden, um die Motivation bei diesen Kontexten und Aktivitäten zu erhöhen (Gabriel, 2013, S. 261). So gibt es im Rahmen von physikdidaktischer Forschung beispielsweise Ansätze zur Gestaltung von Experimentieranleitungen nach dem Vorbild von Missionen (*Quests*) aus Computerspielen, um die Motivation der Lernenden zur Durchführung und Auswertung eines Experiments zu erhöhen (Mézes & Erb, 2011).

Eine andere Möglichkeit, die Motivation auf Seiten der Lernenden zu erhöhen, stellt die direkte Einbindung von Computerspielen in den schulischen Unterricht dar. In diesem Zusammenhang muss jedoch zwischen den unterschiedli-

chen Arten von Computerspielen differenziert werden, da beispielsweise *serious games* primär das Anliegen haben, Wissen zu vermitteln, während Computerspiele anderer Bereiche vorwiegend der Unterhaltung dienen (Auer, 2015).

Im Bereich der *serious games* gibt es Unterrichtskonzepte zum Einsatz von Computerspielen im Physikunterricht, die in direktem Zusammenhang mit den physikalischen Thematiken oder den im Unterricht behandelten Phänomenen stehen. Beispiele für solche Computerspiele mit einem physikalischen Hintergrund sind die Spiele *Genius - Unternehmen Physik*, *Crazy Machines* oder das Spiel *Ludwig*, dessen Einsatz bereits im schulischen Unterricht erprobt wurde (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Hierbei müssen die Lernenden zusammen mit dem Roboter Ludwig die Welt erkunden (Abbildung 5) und alternative Energieformen zur Reparatur seines Raumschiffes entdecken und untersuchen (Auer, 2015; Wernbacher, Pfeiffer, Wagner & Hofstätter, 2012).



Abbildung 5: Roboter Ludwig auf der Suche nach alternativen Energieformen für seinen Schiffsantrieb (Wernbacher, Pfeiffer, Wagner & Hofstätter, 2012, S. 3).

Zum Einsatz von Computerspielen im Physikunterricht, die primär der Unterhaltung der Anwenderin oder des Anwenders dienen und auch oftmals keinen direkten Bezug zur Naturwissenschaft „Physik“ aufweisen, gibt es bisher nur wenige Unterrichtskonzepte. Ein Ansatz hierfür stellt die Untersuchung des Tablet-Spiels *Poolbillard* mit Hilfe von Videoanalyse dar. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden Videoaufnahmen zu verschiedenen Spielzügen beim digitalen Poolbillard aufgenommen und daraufhin durch die Videoanalysesoftware *measure dynamics* untersucht (Abbildung 6).

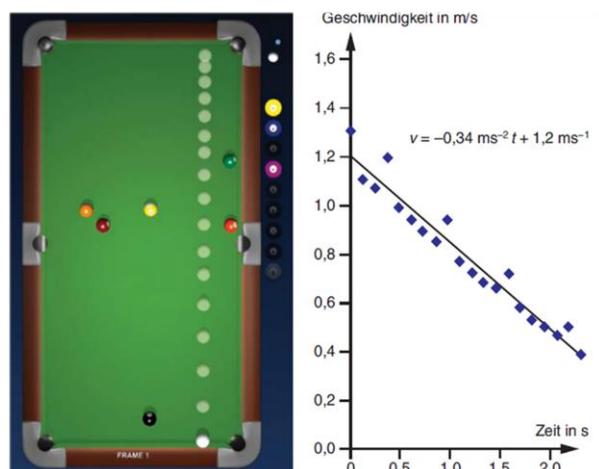


Abbildung 6: Stroboskopbild einer im Computerspiel *Poolbillard* angestoßenen Billardkugel sowie das mit Hilfe von *measure dynamics* erstellte und ausgewertete Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm dieser Bewegung (Vogt, Kuhn & Braun, 2016, S. 18).

dung 6). Auf Grundlage der Analyse der Videos konnte daraufhin beispielsweise der Reibungskoeffizient der Billardkugeln abgeschätzt oder die kinetische Energie einer Kugel beim Stoß untersucht werden. Schlussendlich ist es durch die hieraus resultierenden Ergebnisse möglich, das Computerspiel mit den realen Prozessen zu vergleichen und die Programmierung des Spiels zu bewerten (Vogt, Kuhn & Braun, 2016).

Der Einsatz von Computerspielen im Unterricht kann eine Vielzahl positiver Effekte wie eine Erhöhung der Motivation, die Förderung der Selbstständigkeit der Lernenden oder eine Stärkung der Klassengemeinschaft mit sich bringen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass durch das Spiel Neues gelernt und Gelerntes angewandt und vertieft werden kann (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass insbesondere zeitaufwendige Computerspiele in Konkurrenz zu anderen Medien stehen und der Einsatz von Computerspielen im Vergleich zu klassischen Medien somit einen didaktischen und methodischen Mehrwert aufweisen muss (Petko, 2008).

3 Minecraft

Innerhalb des nachfolgenden Kapitels erfolgt ein kurzer Überblick über die Entwicklung des Computerspiels „Minecraft“ sowie das grundlegende Spielprinzip und dessen Spielmechanismen. Im Anschluss daran wird der aktuelle Forschungsstand bezüglich des schulischen Einsatzes von Minecraft dargelegt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird in den nachfolgenden Abschnitten ausschließlich auf die Java-Edition des Computerspiels eingegangen, da diese auf einem Computer gespielt werden kann, welcher in einem Großteil der Schulen in ausreichender Anzahl vorhanden sein sollte. Weiterhin bietet die Minecraft-Java-Edition der Anwenderin oder dem Anwender größtmögliche Freiheiten, sodass beispielsweise auch Modifikationen am Spiel vorgenommen werden können.

3.1 Entwicklung des Computerspiels „Minecraft“

Bei Minecraft handelt es sich um ein Computerspiel mit dem Leitgedanken „ein Spiel über Blöcke und Abenteuer“, das unter der Leitung des schwedischen Entwicklers Markus Persson und seiner Firma MOJANG entwickelt wurde (MOJANG, 2019a). Die erste käufliche Vollversion des Spiels (Version 1.0) wurde für den Gebrauch am Computer im Jahr 2011 veröffentlicht, wobei bereits im Jahr 2009 die Alpha-Version des Computerspiels über einen Browser oder den Computer spielbar war (Short, 2012). Im Jahr 2014 wurde Minecraft vom Hauptaktionär Markus Persson an die Firma Microsoft-Studios verkauft, da dieser wegen der steigenden Nutzerzahlen keine Firma mit einer solch globalen Bedeutung leiten wollte (MOJANG, 2014). Heute wird das Computerspiel „Minecraft“ von ungefähr 91 Millionen aktiven Spielerinnen und Spielern auf unterschiedlichen Plattformen gespielt und liegt für den Computer als erweiterte Vollversion 1.13 vor (Seidl, 2018).

Ursprünglich wurde das Spiel „Minecraft“ als Java-Edition für den Computer entwickelt, wobei im Laufe der letzten Jahre Versionen für einen Großteil der anderen Plattformen wie Playstation, X-Box oder das Smartphone veröffentlicht wurden. Derzeit wird auf der Website des Computerspiels damit geworben, dass es sich bei Minecraft mit ungefähr 154 Millionen verkauften Lizzenzen um das weltweit am meisten gekaufte Computerspiel handelt, wobei eine Lizenz für die Java-Edition des Spiels aktuell 23,95 Euro kostet (MOJANG, 2019b; Seidl, 2018).

3.2 Überblick über das Computerspiel „Minecraft“

Das Computerspiel „Minecraft“ ist ein Open-World-Computerspiel, in dem die Spielerin oder der Spieler eine dreidimensionale, aus Blöcken aufgebaute virtuelle Welt in Form eines menschenähnlichen Avatars erkunden und gestalten kann. Im Spielverlauf werden durch das Spiel keinerlei Handlungen oder Missionen vorgeschrieben, da die virtuelle Welt ausschließlich auf die Aktionen der Spielerin oder des Spielers reagiert (Lastowka, 2011). Somit entscheidet

der Spielende selbstständig, was das Ziel beim Minecraft-Spielen sein soll (MOJANG, 2019a).

Zum Spielen des Computerspiels „Minecraft“ in der Java-Edition 1.13 wird ein Laptop oder Desktop-Computer benötigt, der die minimalen Systemvoraussetzungen aus Tabelle 1 erfüllt. Je nach Größe der bespielten Welt und dem Einsatz von zusätzlichen Modifikationen ist ein System mit einem Arbeitsspeicher von 8 GB und einer SSD-Festplatte mit mindestens 4 GB zu empfehlen (MOJANG, 2019c). Diese Systemvoraussetzungen sollten jedoch fast alle aktuell käuflichen Computer ab einer Preisklasse von 350 Euro erfüllen. Sollten dennoch Unsicherheiten wegen der beschriebenen Systemvoraussetzungen bestehen, ist es möglich, eine kostenlose Testversion auf der offiziellen Minecraft-Website herunterzuladen.

Tabelle 1: Hardware und Software, die ein Laptop oder Desktop-PC mindestens benötigt, um die aktuelle Minecraft-Java-Edition 1.13 ausführen zu können (MOJANG, 2019c).

Minimale Systemvoraussetzungen für die Minecraft-Java-Edition

Prozessor (CPU)	Arbeitsspeicher (RAM)	Grafikkarte (GPU)	Festplatte (HDD)	Betriebssystem (OS)
Intel-Core i3 3,2 GHz AMD A8 3,1 GH	≥ 4 GB	Intel HD Graphics 4000 Nvidia GeForce 400 AMD Radeon HD 7000	> 1 GB	Windows 7 macOS 10.9

Die Java-Edition des Computerspiels verfügt über einen Einzelspieler- und einen Mehrspielermodus, die beide im Hauptmenü ausgewählt werden können (Abbildung 7A). Im Einzelspielermodus kann alleine auf einer Minecraft-Welt gespielt werden, während im Mehrspielmodus viele Spielerinnen und Spieler auf einer Welt gemeinsam agieren können. Hierbei gibt es die Möglichkeit, Minecraft gemeinsam über das lokale Netzwerk oder das Internet zu spielen. Das gemeinsame Spielen im lokalen Netzwerk kann ermöglicht werden, indem die Einzelspielerwelt eines Accounts dem lokalen Netzwerk geöffnet wird, sodass andere Accounts in diesem Netzwerk auf diese Welt zugreifen können. Für das gemeinsame Spiel im Internet hingegen wird ein Server benötigt, der beispielsweise kostenpflichtig durch Minecraft zur Verfügung gestellt werden kann. Auch besteht die Möglichkeit, einen eigenen Server einzurichten oder auf einen der vielen öffentlichen kostenlosen Minecraft-Server zuzugreifen (MOJANG, 2019a/b).

Das Computerspiel „Minecraft“ kann in verschiedenen Spielmodi gespielt werden, wobei der Überlebensmodus und der Kreativmodus die gebräuchlichsten Spielmodi darstellen. (MOJANG, 2019a/b). Im Überlebensmodus findet sich der Avatar in einer zufällig generierten Welt wieder, in der dieser versuchen muss, zu überleben. So muss der Avatar beispielsweise Nahrung suchen, um nicht zu verhungern, die Landschaft erkunden, um nicht durch äußere Einflüsse wie Blitze oder Lava getötet zu werden, und sich vor in der Nacht auftauchenden Monstern verteidigen. Im Kreativmodus hingegen kann der Avatar nicht sterben und sich zusätzlich zum Laufen noch fliegend fortbewegen. Weiterhin stehen dem Spielenden alle Ressourcen in unbegrenzter Anzahl zur Verfügung, sodass in diesem Modus das Erschaffen von Bauwerken im Vordergrund steht (MOJANG, 2019a; Wimmer & Wiemker, 2017).

Neben der klassischen Java-Version von Minecraft kann das Spiel durch eine Vielzahl von im Internet frei verfügbaren Modifikationen (*mods*) erweitert werden, die neue Funktionen oder Gegenstände dem Spiel hinzufügen (Koller & Koller, 2016). Einige Beispiele hierfür wären die Modifikationen *Thermal Expansion* und *Redstone Flux* vom Entwicklerteam *TeamCoFH* oder *Minecraft Money* vom Entwickler *BinaryCPG*. Mit diesen Modifikationen würde dem Spiel beispielsweise ein auf Maschinen basierendes System zur Umwandlung und Nutzung von Energie sowie



Abbildung 7: Hauptmenü der Java-Edition des Computerspiels „Minecraft“ (A) sowie ein Ausschnitt einer neu generierten Minecraft-Welt (B) mit einem Spieler-Avatar.

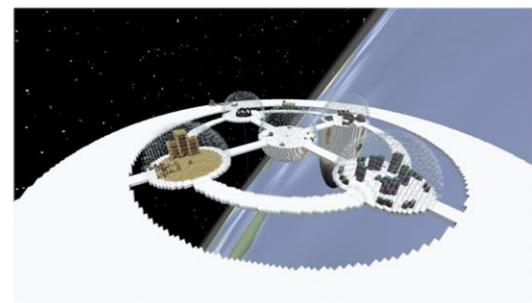


Abbildung 8: Screenshot einer im Rahmen des modpacks FTB-Continuum gebauten Raumstation (FTB, 2018).

ein Währungssystem hinzugefügt werden. Als Alternative zum Zusammenstellen und Download von einzelnen Modifikationen ist es ebenfalls möglich, eine in Bezug zu einem speziellen Thema wie Raumfahrt vorgefertigte Auswahl an Modifikationen (*modpacks*) (Abbildung 8) über spezielle Mine-craft-Launcher wie *Feed The Beast* zu installieren.

3.3 Spielstart und grundlegende Spielmechanismen

Vor dem Starten der Java-Edition des Computerspiels „Minecraft“ ist es notwendig, die Software auf dem Computer zu installieren sowie einen Minecraft-Account anzulegen. Anschließend kann der Minecraft-Launcher geöffnet werden, in den die zuvor angelegten Account-Daten eingefügt werden müssen (Abbildung 9A). Nach dem erfolgreichen Login erfolgt eine Überleitung zur nächsten Menüansicht, bei der das Spiel gestartet, Einstellungen verändert oder Spielprofile angelegt werden können (Abbildung 9B). Beim erstmaligen Starten des Spiels ist es erforderlich, ein neues Spielprofil zu erstellen und in diesem Zusammenhang auch die Version auszuwählen, in der Minecraft gestartet werden soll (Abbildung 9C). Anschließend kann das Spiel gestartet werden, woraufhin sich der Minecraft-Launcher schließt und die Anwendung „Minecraft“ in einem neuen Fenster geöffnet wird.

Im Minecraft-Hauptmenü kann zwischen den Menüeinträgen „Einzelspieler“, „Mehrspieler“, „Minecraft Realms“, „Optionen“ und „Spiel beenden“ ausgewählt werden (Abbildung 7A). Bei der Option „Minecraft Realms“ handelt es



Abbildung 9: Darstellung des klassischen Minecraft-Launchers vor (A) und nach (B) dem Login sowie der Optionen, die ausgewählt werden können, um ein neues Profil (C) zu erstellen.

sich um das kostenpflichtige Mehrspielerangebot der Firma *MOJANG*, bei dem auf einem Server mit bis zu zehn Personen gleichzeitig gespielt werden kann. Unter dem Menüpunkt „Optionen“ können Spieloptionen wie die Sprache, die maximale Bildrate, die Auflösung oder die Steuerung angesehen und verändert werden. Unter dem Menüeintrag „Einzelspieler“ kann eine Spiel-Welt in Minecraft erstellt werden, wobei in diesem Zusammenhang eine Auswahl des gewünschten Spielmodus erfolgen muss. Die Spiel-Welten werden in Minecraft durch die Software erstellt und können vor Beginn des Spiels noch zusätzlich durch die Anwenderin oder den Anwender modifiziert werden. Innerhalb des Spiels erfolgt die Steuerung des Avatars mit Hilfe der Maus und der Tastatur. Zur Fortbewegung dienen die Tasten W, A, S und D, während die Interaktion mit der Umgebung und den Gegenständen durch die beiden Maustasten möglich ist. Die genauen Funktionen der einzelnen Tasten können unter dem Menüpunkt „Optionen“ nachgelesen und verändert werden.

Drei wesentliche Komponenten, die das Spiel „Minecraft“ ausmachen, sind das Abbauen von Rohstoffen und Blöcken wie „Eisenerz“ oder „Sand“ (*mining*), das Fertigen von Werkzeugen oder Gegenständen wie „Spitzhaken“ (*crafting*) sowie das Bauen von Gebäuden und Strukturen (*building*). Im Überlebensmodus startet die Spielerin oder der Spieler in der Regel ohne Rohstoffe und Werkzeuge, während im Kreativmodus alle Werkzeuge und Rohstoffe in unbegrenzter Anzahl verfügbar sind (Ducan, 2011).

Wird das Spiel im Überlebensmodus gestartet, so muss die Spielerin oder der Spieler zu Beginn Blöcke ohne Werkzeuge abbauen und sammeln. Im Spiel ist die Anzahl der mit der Hand abbaubaren Blöcke beschränkt, sodass im weiteren Spielverlauf auf Werkzeuge zum Abbau von Blöcken wie Eisen-erz zurückgegriffen werden muss. Zu Beginn ist es beispielsweise möglich, Holzblöcke ohne Werk-zeuge abzubauen und aufzusam-meln. Steinblöcke hingegen werden mit der Hand nur sehr langsam



Abbildung 10: Screenshot aus dem Spiel „Minecraft“, bei dem Steine und Kies mit einer Holz-Spitzhacke abgebaut werden.

abgebaut und können nicht aufgesammelt werden. Um auch Steinblöcke schnell abbauen und aufzusammeln zu können, ist es notwendig, aus Holzblöcken durch die Verwendung einer Werkbank Werkzeuge wie eine Spitzhacke zu fertigen. Mit Hilfe dieser Holz-Spitzhacke können nun eine Vielzahl anderer Rohstoffe wie Steine, Eisenerz oder Kohle (Abbildung 10) abgebaut und aufgesammelt werden. In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass für unterschiedliche Rohstoffe und Blöcke unterschiedliche Werkzeuge benötigt werden. Beispielsweise muss zum Abbau von Diamanten mindestens eine Spitzhacke aus Eisen genutzt werden, wohingegen zum Abbau von Obsidian eine Spitzhacke aus Diamanten benötigt wird (Ducan, 2011).

In der aktuellen Minecraft-Java-Edition 1.13 gibt es mittlerweile über 250 unterschiedliche Blöcke sowie mehr als 300 verschiedene Objekte, die im Spiel gefunden oder hergestellt werden können (Abbildung 11A). Zur Herstellung dieser Blöcke und Objekte wird in den meisten Fällen eine Werkbank benötigt, die einen quadratischen Bereich mit neun Feldern beinhaltet. In diesem Bereich können verschiedenste Materialien und Rohstoffe kombiniert werden, sodass ein Werkzeug oder ein Gegenstand aus dem rechtsliegenden Bereich entnommen werden kann (Abbildung 11). Hierbei muss beachtet werden, dass für jeden Gegenstand und jedes Werkzeug eine charakteristische Kombination aus Materialien benötigt wird. So müssen zur Herstellung einer Holz-Spitzhacke beispielsweise drei Holzbretter und zwei Stöcke in Form eines großen T gelegt werden (Abbildung 11B). Zur Herstellung einer Stein-Spitzhacke hingegen müssen die Holzbretter durch Bruchstein ersetzt werden. Da es eine Vielzahl

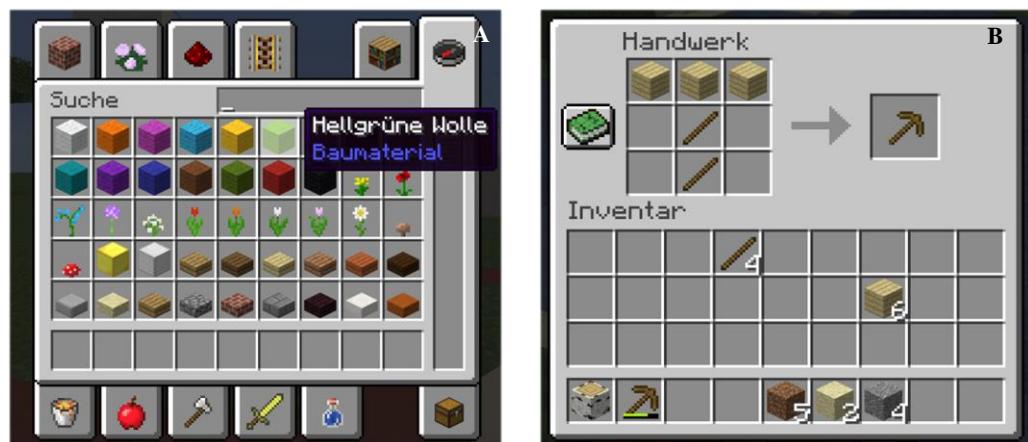


Abbildung 11: Kleiner Ausschnitt der in Minecraft nutzbaren Blöcke und Objekte (A) sowie das Interface einer Werkbank (B), in der Blöcke und Materialien zu verschiedenen Werkzeugen oder anderen Blöcken und Gegenständen kombiniert werden können.

von unterschiedlichen Objekten und Kombinationen gibt, kann zur Hilfe auch das Internet oder das auf der linken Seite befindliche Buch genutzt werden, in dem viele Kombinationen gespeichert sind (Abbildung 11B) (Ducan, 2011).

Die zuvor geschilderten Beschreibungen zum Spielstart und den unterschiedlichen Spielmechanismen stellen eine Zusammenfassung der für den anfänglichen Spielverlauf wichtigsten Informationen dar. Außerdem sollen diese eine Möglichkeit zur Orientierung für mit dem Computerspiel „Minecraft“ unerfahrene Anwendende bieten. Sollten weitere Fragen oder Unklarheiten in Bezug zu den Spieleinstellungen oder den Spielmechanismen bestehen, empfiehlt es sich, das Spiel einige Zeit selbstständig zu testen, Tutorials im Internet zu schauen oder in der online verfügbaren offiziellen Minecraft-Enzyklopädie (*Minecraft Wiki*) zu recherchieren.

3.4 Einsatz von Minecraft im schulischen Unterricht

Der Einsatz des Computerspiels „Minecraft“ ist auch für den schulischen Unterricht von großem Interesse, da die Möglichkeit zur Modifikation des Spiels und der Spielwelt der Anwenderin oder dem Anwender große Handlungsspielräume ermöglicht (Ducan, 2011; Heinz & Welsch, 2017). Weiterhin ist es von Vorteil, dass es sich bei Minecraft um ein Computerspiel handelt, das sowohl bei Schülerinnen als auch bei Schülern einen hohen Bekanntheits- und Beliebtheitsgrad innehaltet. So ergab beispielsweise eine mit 1078 Lernenden in Deutschland durchgeführte Studie, dass Minecraft im Gegensatz zu allen anderen Computerspielen gleichermaßen bei männlichen und weiblichen Lernenden beliebt ist (Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb, 2017).

Im Bildungskontext hat sich die vereinfachte Minecraft-Edition *Minecraft Education* als vorteilhaft erwiesen. Diese für Bildungsinstitutionen käufliche Version von Minecraft ist besonders auf den schulischen Unterricht ausgelegt, da durch die Administratorenrolle der Lehrkraft das „Spielgeschehen stets kontrolliert und gelenkt werden“ kann (Heinz & Welsch, 2017, S. 71). Weiterhin finden sich auf der Website der Education-Edition für verschiedene Schulfächer über 100 unterschiedliche Unterrichtsvorschläge sowie die passend aufbereiteten downloadbaren Minecraft-Welten (Heinz & Welsch, 2017). Beispiels-

weise gibt es für den Physikunterricht den von Dean Garza (2018) erstellten Kurs *Roller Coaster World*, in dem die Lernenden das Kräftekonzept und das zweite Newtonsche Axiom kennenlernen und verinnerlichen können. Ein weiterer Kurs, der für den Physikunterricht oder fächerübergreifende Projekte von Bedeutung sein könnte, ist der von Chris Fuge (2018) erstellte Kurs *Mission to Mars*, bei dem die Lernenden gemeinsam einen Flug auf den Mars und die Erschließung einer Kolonie planen und simulieren.

Neben diesen speziell für die *Minecraft Education Edition* entwickelten Kursen gibt es auch Unterrichtskonzepte, die sich auf die Java-Edition des Spiels beziehen. So gibt es für den Mathematikunterricht beispielsweise Vorschläge, wie Minecraft zur Förderung des räumlichen Vorstellungsvermögens und für den Geometrie-Unterricht genutzt werden könnte (Foerster, 2017). Im Biologieunterricht sind Konzepte vorhanden, in denen das Ökosystem von Minecraft und dessen Veränderung im Spielverlauf im Vordergrund steht (Nebel, Schneider & Rey, 2015). Für den Einsatz von Minecraft im Physikunterricht hingegen sind nur wenige, nicht ausgearbeitete Vorschläge bekannt (Short, 2012; Nebel, Schneider & Rey, 2015).

4 Einsatzmöglichkeiten von Minecraft im Bereich der Mechanik

Innerhalb dieses Kapitels erfolgt eine kurze Darstellung des physikalischen Themengebietes der klassischen Mechanik sowie dessen Bedeutung für den schulischen Physikunterricht. Außerdem wird thematisiert, welche Einstellungen des Computerspiels und der Aufnahme- und Analysesoftware vorgenommen werden können, um das Computerspiel im schulischen Unterricht in Kombination mit dem Verfahren der Videoanalyse zu nutzen. Im Anschluss daran werden die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels erläutert, wobei abschließend eine allgemeine Diskussion der Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ erfolgt.

Die *measure dynamics*-Projekt-Dateien sowie die zugehörigen Videoaufnahmen, auf die in den nachfolgenden Kapiteln verwiesen wird, lassen sich über die im Anhang angegebene Verknüpfung zu einem *Cloud*-Speicher betrachten und herunterladen. Des Weiteren kann über diesen *Cloud*-Speicher auch auf die Datei der Minecraft-Welt zugegriffen werden, durch die im Computerspiel die entwickelten Experimente genauer betrachtet werden können.

4.1 Einordnung der Thematik in den Physikunterricht

Die klassische Mechanik ist eine für die Fachwissenschaft „Physik“ bedeutende Thematik, die sich mit der Beschreibung von Körpern unter dem Einfluss verschiedenster Kräfte und den daraus resultierenden Bewegungen befasst. So werden im Rahmen der klassischen Mechanik oftmals alltägliche oder natürliche Phänomene wie Stoßprozesse zwischen Objekten, die Anziehung von Planeten, Schwingungen oder Flugbahnen von Kugeln thematisiert (Pohl, 2017; Wilhelm, 2016).

Die Relevanz dieses Themengebiets für den Physikunterricht wird durch die hessischen Kerncurricula der Sekundarstufe I und II verdeutlicht. Innerhalb des hessischen Kerncurriculums für die Sekundarstufe I wird der Themenbereich der klassischen Mechanik vorwiegend durch die Inhaltsfelder „Fortbewegung und Mobilität“ sowie „Technik im Dienst des Menschen“ repräsentiert (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 25). Hierbei wird die Bedeutung des Themas damit begründet, dass „Kraft wandelnde Systeme [...] die natürlichen Grenzen des Menschen“ erweitern und „in einer von Mobilität geprägten Gesellschaft [...] Grundbegriffe der Bewegung wie Weg, Zeit und Geschwindigkeit essentiell“ sind (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 25). Weiterhin finden sich grundlegende Konzepte der Fachwissenschaft „Physik“, die im Bereich der klassischen Mechanik von großer Bedeutung sind, in den dort beschriebenen Basiskonzepten „Wechselwirkungen“ und „Energie“ wieder (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 18). So lassen sich im Rahmen des Mechanik-Unterrichts in der Sekundarstufe I zum Beispiel physikalische Größen zur Beschreibung von Bewegungen, Kräfte und Kräftegleichgewichte, mecha-

nische Energieformen oder auch Stoßprozesse thematisieren (Hessisches Kultusministerium, 2010a).

In der Sekundarstufe II ist das Themengebiet der klassischen Mechanik nach dem hessischen Kerncurriculum (2016) nach vorwiegend für den Physikunterricht in der Einführungsphase von Bedeutung. Im Themenfeld „Mechanik“ sollen Bewegungen und deren Beschreibung, die Newtonschen Axiome, Erhaltungssätze, der waagerechte Wurf sowie Kreisbewegungen im Physikunterricht behandelt werden (Hessisches Kultusministerium, 2016). Weiterhin finden sich auch in den Basiskonzepten „Felder und Kräfte“ sowie „Erhaltungsgrößen“ wesentliche Konzepte der Fachwissenschaft „Physik“ wie die Energieerhaltung und die Newtonschen Axiome wieder (Hessisches Kultusministerium, 2016).

Der schulische Mechanik-Unterricht behandelt somit vorwiegend Phänomene und Thematiken, die die Lernenden Tag für Tag in ihrer Alltagswelt erleben oder beobachten können. Die Thematik „Bewegung“ ist beispielsweise ein zentraler Bestandteil der meisten Sportarten und Computerspiele, wobei das geschickte Bewegen in diesem Zusammenhang oftmals Aspekte wie das Gewinnen des Spiels mit sich bringt (Mück & Wilhelm, 2009; Petko, 2008).

Aufgrund dessen verfolgt der schulische Mechanik-Unterricht einerseits das Ziel, den Lernenden eine sinnvolle Einordnung und physikalische Deutung von Vorgängen aus deren Alltag zu ermöglichen. Andererseits soll der schulische Mechanik-Unterricht den Schülerinnen und Schülern einen Einblick in „die Erklärungsmacht des Zweiten Newton'schen Gesetzes als Kern einer großen physikalischen Theorie und als Beispiel für die Modellierung in der Wissenschaft Physik“ ermöglichen (Wilhelm & Hopf, 2016, S. 44).

4.2 Physikalischer Hintergrund

Die klassische Mechanik lässt sich in die Fachgebiete der Kinematik und der Dynamik unterteilen. In diesem Zusammenhang erfolgt oftmals eine differenzierte Betrachtung zwischen der Beschreibung einer Bewegung und der Ursache für diese Bewegungsänderung. Während in der Kinematik Bewegungen vorwiegend quantitativ anhand von Trajektorien und den zugehörigen Bewe-

gungsgleichungen beschrieben werden, erfolgt in der Dynamik eine Betrachtung der vorherrschenden Kräfte, die die Ursache für die jeweiligen Bewegungsänderungen des Körpers darstellen (Lüdde, o. D.).

4.2.1 Kinematische Größen

Die Bewegung eines Körpers in einem Bezugssystem kann quantitativ durch die drei kinematischen Größen sowie die zugehörigen Bewegungsgleichungen beschrieben werden. Bei diesen kinematischen Größen handelt es sich um den Ortsvektor $\vec{r}(t)$, die Geschwindigkeit $\vec{v}(t)$ und die Beschleunigung $\vec{a}(t)$ des betrachteten Körpers (Demtröder, 2018; Pohl, 2017). Zudem wird bei der Beschreibung von Bewegungen häufig vereinfachend angenommen, dass es sich bei dem betrachteten Körper um einen Massenpunkt handelt, woraufhin die Ausdehnung des Körpers vernachlässigt werden kann (Nolting, 2013).

Der Ortsvektor $\vec{r}(t)$ eines Körpers beschreibt dessen Position innerhalb eines fest definierten Bezugssystems in Abhängigkeit von der vergangenen Zeit (Demtröder, 2018). Da es sich beim Ortsvektor $\vec{r}(t)$ um eine vektorielle Größe handelt, die sich vorwiegend auf Bewegungsvorgänge in einer dreidimensionalen Welt bezieht, besteht dieser aus drei Komponenten (Formel 1). Wird eine Bewegung jedoch auf einer zweidimensionalen Ebene oder in einer eindimensionalen Gerade beschrieben, können die jeweiligen vektoriellen Komponenten des Ortsvektors gleich 0 gesetzt werden, sodass diese in der quantitativen Betrachtung nicht berücksichtigt werden müssen (Lüdde, o. D.).

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Die zweite kinematische Größe zur Beschreibung von Bewegungen stellt die Geschwindigkeit $\vec{v}(t)$ dar. Diese beschreibt die Änderung des Ortes eines Massenpunktes in einem bestimmten Zeitintervall. Hierbei wird oftmals zwischen der mittleren und der momentanen Geschwindigkeit unterschieden. Die mittlere Geschwindigkeit eines Massenpunktes beschreibt die durchschnittliche Geschwindigkeit, die der Massenpunkt während eines Bewegungsabschnittes in-

nehatte (Demtröder, 2018). Die Momentan-Geschwindigkeit hingegen stellt die Geschwindigkeit des Massenpunktes zu einem bestimmten Zeitpunkt dar (Lüdde, o. D). Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen wird oftmals durch die stetige Verkleinerung des Zeitintervalls zwischen zwei Messungen veranschaulicht. Schlussendlich folgt aus der Grenzwertbetrachtung, dass die Momentan-Geschwindigkeit eines Massenpunktes zu einem Zeitpunkt t der ersten zeitlichen Ableitung des Ortsvektors des Massenpunktes entspricht (Formel 2) (Pohl, 2017).

$$\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (2)$$

Die Änderung der Geschwindigkeit eines Massenpunktes in Abhängigkeit von der Zeit wird durch die physikalische Größe der Beschleunigung $\vec{a}(t)$ beschrieben. Bei dieser kinematischen Größe kann wie auch bei der Geschwindigkeit zwischen der mittleren und der momentanen Beschleunigung unterschieden werden (Nolting, 2013). Die mittlere Beschleunigung eines Massenpunktes stellt die durchschnittliche Änderung der Geschwindigkeit des Körpers in einem definierten Zeitintervall dar. Als momentane Beschleunigung hingegen wird die Beschleunigung, die ein Körper zu einem bestimmten Zeitpunkt aufweist, bezeichnet. Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen kann ebenfalls durch die Verkleinerung des Messzeitraumes zu infinitesimal kleinen Zeitintervallen veranschaulicht werden. Aus der Grenzwertbetrachtung folgt somit, dass die momentane Beschleunigung eines Körpers der ersten zeitlichen Ableitung der Geschwindigkeit und der zweiten zeitlichen Ableitung des Ortsvektors entspricht (Formel 3) (Lüdde, o. D).

$$\vec{a}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \quad (3)$$

4.2.2 Die Newtonschen Axiome

Die grundlegenden Konzepte der klassischen Mechanik wurden vom englischen Physiker Isaac Newton entwickelt und in seiner Veröffentlichung *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1678) dargestellt. In dieser beschreibt Newton, dass eine Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers

stets durch die Einwirkung einer Kraft bedingt ist (Demtröder, 2018). Ausgehend von dieser Annahme formulierte Newton die drei Newtonschen Axiome, welche die Grundlage der klassischen Mechanik darstellen (Lüdde, o. D.).

Das erste Newtonsche Axiom besagt, dass ein Körper sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, wenn keine Kraft auf diesen wirkt (Formel 4). Ein ruhender Körper stellt hierbei keine Ausnahme dar, da auch in diesem Fall die Geschwindigkeit des Körpers konstant ist. Das erste Newtonsche Axiom wird auch oftmals als Trägheitsprinzip bezeichnet (Lüdde, o. D.).

$$\vec{F} = 0 \leftrightarrow \frac{d\vec{v}}{dt} = 0 \quad (4)$$

Das zweite Newtonsche Axiom besagt, dass die zeitliche Änderung des Impulses eines Körpers genauso groß ist wie die Kraft, die auf diesen Körper wirkt (Formel 5) (Lüdde, o. D.). Hierbei wird oftmals davon ausgegangen, dass keine zeitliche Änderung der Masse vorliegt, sodass alternativ formuliert werden kann, dass ein Körper der Masse m , auf den eine Kraft wirkt, in die Richtung dieser Kraft beschleunigt wird. Das zweite Newtonsche Axiom wird auch als Aktionsprinzip bezeichnet (Nolting, 2013).

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \vec{p} = \frac{d}{dt} (m * \vec{v}) = \frac{d}{dt} m * \vec{a} \quad (5)$$

Das dritte Newtonsche Axiom wird Wechselwirkungsprinzip genannt. Dieses besagt, dass Kräfte immer paarweise vorliegen. Zwei Körper, die sich in einer Wechselwirkung miteinander befinden, üben somit aufeinander betragsmäßig gleich große, aber entgegengesetzte Kräfte aus (Formel 6) (Lüdde, o. D.).

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (6)$$

Auf der Grundlage der zuvor beschriebenen kinematischen Größen und der Newtonschen Axiome ist es möglich, die Trajektorie eines bewegten Körpers zu bestimmen. Sind die Anfangsbedingungen wie der Ortsvektor und die Geschwindigkeit des Körpers sowie die auf den Körper wirkende Kraft bekannt, kann die Bewegung des Körpers vollständig durch die jeweilige Bewegungsgleichungen beschrieben werden (Nolting, 2013).

4.2.3 Energie und Energieerhaltung

In der klassischen Mechanik sind hinsichtlich der Beschreibung von Bewegungen und den Ursachen für diese Bewegungsänderung auch Begriffe wie die kinetische Energie, die potentielle Energie und die mechanische Arbeit von großer Bedeutung (Demtröder, 2018).

Um einen Körper in einem konservativen Kraftfeld von einem Punkt (x_1) zu einem anderen Punkt (x_2) zu bewegen, muss an diesem durch Krafteinwirkung mechanische Arbeit (W) verrichtet werden. Aus der umgeformten Bewegungsgleichung des Körpers (Formel 7 & 8) folgt für die mechanische Arbeit, dass diese dem Produkt aus der auf den Körper wirkenden Kraft und der Ortsänderung des Körpers entspricht (Formel 9) (Nolting, 2013).

$$F * dx = m * \frac{dv}{dt} * dx \quad \left| \int_{t_1}^{t_2} \right. \quad (7)$$

$$F * (x_2 - x_1) = \frac{1}{2} m * v_2^2 - \frac{1}{2} m * v_1^2 \quad (8)$$

$$W = F * (x_2 - x_1) \quad (9)$$

Nachdem an einem ruhenden Körper mechanische Arbeit verrichtet wurde, wird dieser in Bewegung versetzt. Die Energie, die der Körper aufgrund seiner Bewegung innehaltet, wird auch kinetische Energie genannt. Sie entspricht der mechanischen Arbeit, die aufgewendet werden muss, um diesen Körper vom einen in den anderen Bewegungszustand zu transferieren (Formel 8). Die kinetische Energie eines Körpers hängt von dessen Masse und Geschwindigkeit ab (Formel 9) (Demtröder, 2018).

$$E_{Kin} = \frac{m}{2} * v^2 \quad (9)$$

Ein Körper, der sich in einem Kraftfeld wie dem Schwerkraftfeld der Erde befindet, ist zudem potentiell in der Lage, mechanische Arbeit an anderen Körpern zu verrichten (Demtröder, 2018). In diesem Zusammenhang wird auch oftmals von der potentiellen Energie (U) des Körpers gesprochen. Die potentielle

Energie eines Körpers ergibt sich aus der Kraft, die auf diesen Körper wirkt, in Abhängigkeit vom Ort des Körpers (Formel 10) (Lüdde, o. D.).

$$U = - \int F dx \quad (10)$$

Die mechanische Gesamtenergie eines Körpers setzt sich aus der potentiellen und der kinetischen Energie dieses Körpers zusammen (Formel 11). In einem konservativen Kraftfeld ist die Summe aus der kinetischen und der potentiellen Energie konstant, wobei die unterschiedlichen Energieformen ineinander umgewandelt werden können. Die mechanische Gesamtenergie bleibt bei konservativen Kräften somit erhalten (Demtröder, 2018).

$$E = E_{Kin} + U = \frac{m}{2} * v^2 + U(x_j) \quad (11)$$

$$\frac{dE}{dt} = 0 \quad \text{mit } F = -\frac{dU}{dx} \quad (12)$$

4.2.4 Impuls und Impulserhaltung

In der ursprünglichen Formulierung von Newtons Veröffentlichung *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1678) beschreibt dieser eine physikalische Bewegungsgröße, die das Produkt aus der Masse und der Geschwindigkeit eines Körpers darstellt (Formel 13). Heute wird diese Bewegungsgröße in der Fachwissenschaft „Physik“ als Impuls eines Körpers bezeichnet, wobei dieser ein Maß für den Bewegungszustand des Körpers darstellt (Pohl, 2017).

$$\vec{p} = m * \vec{v} \quad (13)$$

Eine Kraft, die über einen definierten Zeitraum auf einen Körper wirkt, wird als Kraftstoß bezeichnet. Dieser Kraftstoß führt der modernen Formulierung des zweiten Newtonschen Axioms nach zu einer Änderung des Impulses des angestoßenen Körpers (Formel 14). Wirkt hingegen keine Kraft auf diesen Körper, so erfolgt auch keine Änderung des Impulses. Der Impuls eines Körpers, auf den keine Kraft wirkt, ist somit konstant (Demtröder, 2018).

$$\int F dt = d\vec{p} \quad (14)$$

Eine weitere Konsequenz, die sich aus den Newtonschen Axiomen ergibt, ist das Konzept der Impulserhaltung. In einem abgeschlossenen System, in dem keine äußeren Kräfte auf Körper wirken, ist die zeitliche Änderung des Gesamtimpulses gleich 0 (Formel 15) (Lüdde, o. D.). Der Gesamtimpuls innerhalb eines abgeschlossenen Systems bleibt somit erhalten (Formel 16) (Pohl, 2017).

$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = \frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0 \quad (15)$$

$$\Rightarrow \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \text{const} \quad (16)$$

Hinsichtlich der direkten Wechselwirkungen von Körpern sind die physikalischen Größen der mechanischen Energie und des Impulses sowie die jeweiligen Erhaltungskonzepte von großer Bedeutung. Beim Stoß zwischen zwei Körpern ändert sich deren Impuls und oftmals auch deren kinetische Energie, wobei der Gesamtimpuls des abgeschlossenen Systems erhalten bleibt (Demtröder, 2018). In diesem Zusammenhang kann zwischen elastischen und inelastischen Stößen unterschieden werden. Bei einem elastischen Stoß liegen ausschließlich konservative interne Kräfte vor, sodass die gesamte mechanische Energie vor und nach dem Stoß erhalten bleibt (Lüdde, o. D.). Liegen bei der Wechselwirkung zwischen den Körpern hingegen auch dissipative Kräfte wie zum Beispiel Reibungskräfte vor, wird ein Teil der mechanischen Energie in andere Energieformen wie Wärmeenergie umgewandelt (Demtröder, 2018).

4.3 Einsatzmöglichkeiten

Nachfolgend soll dargestellt werden, welche unterschiedlichen Möglichkeiten bestehen, das Computerspiel „Minecraft“ im Physikunterricht im Bereich der Mechanik einzusetzen. Hierbei erfolgt ein Schwerpunkt auf entdeckenden und spielerischen Methoden sowie auf dem Einsatz des Messwerterfassungsverfahrens der Videoanalyse, da diese sich insbesondere für den schulischen Einsatz im Kinematik-Unterricht eignen.

4.3.1 Technische Spezifikationen

Die in den nachfolgenden Kapiteln dargestellten Einsatzmöglichkeiten von Minecraft im Physikunterricht wurden durch den gemeinsamen Einsatz von zwei unterschiedlichen Computer-Systemen entwickelt. Bei diesen handelt es sich um einen Laptop (System 1) und einen Desktop-Computer (System 2), die gleichermaßen zur Interaktion im Spiel, zur Aufnahme von Videos sowie der Videoanalyse verwendet wurden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Systemspezifikationen der beiden Computersysteme, die für Interaktionen im Computerspiel „Minecraft“, zur Aufnahme von Videos sowie zur Videoanalyse verwendet wurden.

Spezifikationen des Laptops (System 1)

Prozessor (CPU)	Arbeitsspeicher (RAM)	Grafikkarte (GPU)	Festplatte (SSD)	Betriebssystem (OS)
Intel Pentium N4200 1,1 GHz	4 GB	Intel HD Graphics 505	100 GB	Windows 10

Spezifikationen des Desktop-Computers (System 2)

Prozessor (CPU)	Arbeitsspeicher (RAM)	Grafikkarte (GPU)	Festplatte (SSD)	Betriebssystem (OS)
Intel-Core i5-4690 K 3,5 GHz	8 GB	Nvidia GeForce GTX 980	250 GB	Windows 10

Aus der Erprobung beider Systeme wird deutlich, dass das Spielen des Computerspiels „Minecraft“ sowohl auf dem leistungsstarken Desktop-Computer (System 2) als auch auf dem leistungsschwächeren Laptop (System 1) ohne größere Einschränkungen hinsichtlich des Spielflusses möglich ist. In diesem Zusammenhang sind ausschließlich Unterschiede in der dargestellten Bildfrequenz, der nutzbaren Sichtweite im Spiel sowie dem nutzbaren Grafikmodus erkennbar. Diese Aspekte lassen sich jedoch an die Ausstattung des Systems anpassen, sodass auch bei der Nutzung des schwächeren Systems (System 1) die Bildfrequenz bei mindestens 20 fps liegt und somit ein annähernd fließender Spielfluss möglich ist. Auf dem stärkeren System (System 2) hingegen kann selbst bei den höchsten Grafikeinstellungen eine durchschnittliche Bildfrequenz von 80 fps erreicht werden, wobei keinerlei Einschränkungen im Spielfluss erkennbar sind.

In Bezug zur Aufnahme von internen Spielvideos sowie der Analyse von Videos mit Hilfe der Software *measure dynamics* können beide Systeme ebenfalls genutzt werden. Hierbei kommt es jedoch beim schwächeren System in Teilen zu längeren Wartezeiten, da der Prozessor stark beansprucht wird.

Hinsichtlich des möglichen Einsatzes von Minecraft sowie der Nutzung von Videoanalysesoftware im Physikunterricht ist es daher zu empfehlen, ein Computersystem zu nutzen, dessen Hardware-Spezifikation über den Mindestvoraussetzungen des Computerspiels und der Videoanalysesoftware liegt. Hierdurch können längere Wartezeiten sowie eine verminderte Qualität der Grafik reduziert werden, welche im schulischen Einsatz beispielsweise zu Ungeduld und Unzufriedenheit bei den Lernenden führen können.

4.3.2 Überlegungen zu den grundlegenden Spieleinstellungen

Im Rahmen der Entwicklung von Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ für den Physikunterricht wurde auf die Nutzung des spielinternen Überlebensmodus verzichtet, da das Bauen und Durchführen von Experimenten und nicht das Überleben in der Spielwelt im Vordergrund stehen soll.

Durch den Einsatz des Kreativmodus müssen die Lernenden keine zeitaufwendige Suche nach Rohstoffen durchführen und können stattdessen auf eine unbegrenzte Anzahl an Blöcken und Gegenständen zum Entwurf und der Durchführung von Experimenten zurückgreifen. In diesem Zusammenhang empfiehlt sich eine Kombination aus dem Kreativmodus und einer Welt mit dem Welttyp „Flachland“, da die Lernenden hierdurch beim Bau und der Durchführung der Experimente nicht durch unebenes und schwer bebaubares Gelände wie Berge, Flüsse oder Meere eingeschränkt werden.

Die Entscheidung, ob der Einzelspieler- oder der Mehrspielermodus des Computerspiels „Minecraft“ im Unterricht genutzt werden sollte, ist abhängig vom Lernziel der jeweiligen Unterrichtssequenz, den Kompetenzen, die in dieser Unterrichtssequenz gefördert werden sollen, sowie den technischen Rahmenbedingungen.

So könnte der Einsatz des Mehrspielermodus beispielsweise die soziale Kompetenz der Lernenden fördern, da die Schülerinnen und Schüler gemeinsam Aufgaben erfüllen, Experimente gestalten, durchführen, auswerten und evaluieren können (Hessisches Kultusministerium, 2011). In diesem Zusammenhang besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass die Lernenden sich beim gemeinsamen Spiel gegenseitig ablenken oder andere Ziele neben dem eigentlichen Arbeitsauftrag verfolgen. Dies kann im Mehrspielermodus jedoch leicht durch die Lehrkraft kontrolliert und reguliert werden, da diese durch die gemeinsame Spielwelt einen guten Überblick über die Handlungen aller Schülerinnen und Schüler im Spiel hat. Im Einzelspielermodus hingegen können die Lernenden sich individuell auf den jeweiligen Arbeitsauftrag konzentrieren, wobei das Risiko der Ablenkung durch die vorliegende Spielwelt ebenfalls besteht. Im Gegensatz zum Mehrspielermodus ist in diesem Fall eine Kontrolle der Handlungen der Lernenden im Spiel durch die Lehrkraft schwerer möglich, da diese die individuellen Welten der Schülerinnen und Schüler ebenfalls über den Bildschirm oder eine entsprechende Software betrachten müsste.

Der Einsatz des Mehrspielermodus im Physikunterricht ist neben den zuvor beschriebenen Aspekten auch von der technischen Ausstattung der Schule abhängig. In diesem Zusammenhang ist zusätzlich zu den für das Computerspiel benötigten Computern ein funktionsfähiges lokales Netzwerk notwendig, durch das die einzelnen Computer miteinander vernetzt sind. Ein solches Netzwerk kann durch einen LAN-Switch oder durch einen W-LAN-Router aufgebaut werden, wobei Netzwerke dieser Art in den meisten schulischen Computerräumen bereits vorhanden sein sollten. Besteht in den schulischen Räumen bereits ein solches Netzwerk zwischen den einzelnen Computern, ist das Spielen des Computerspiels „Minecraft“ im Mehrspielermodus ohne großen Aufwand möglich. So kann die Lehrkraft beispielsweise eine Einzelspielerwelt dem lokalen Netzwerk öffnen, woraufhin die Schülerinnen und Schüler gemeinsam auf dieser Welt im Mehrspielermodus spielen können. Die hierfür notwendigen Veränderungen der Spieleinstellungen sowie der allgemeine Ablauf im Spielmenü werden in Abbildung 12 und 13 verdeutlicht.

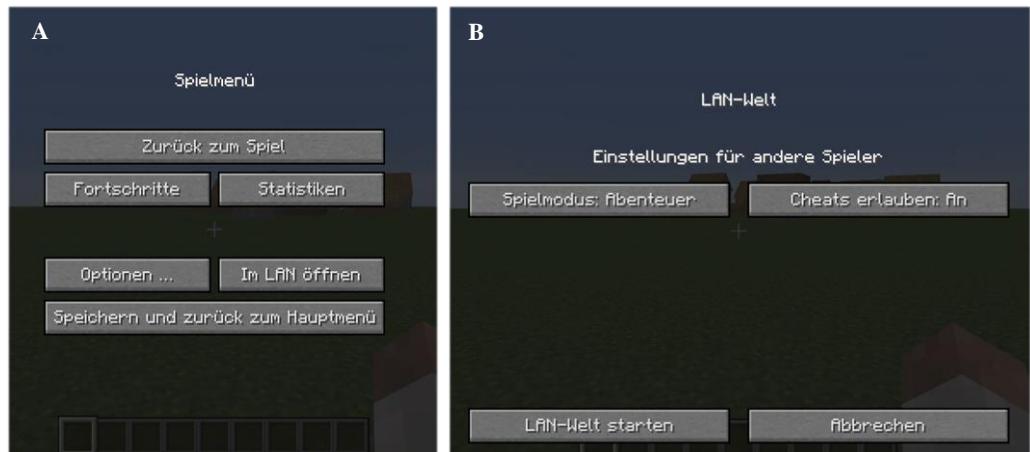


Abbildung 12: Überblick über den spielerischen Ablauf (A) sowie die möglichen Veränderungen der Spieleinstellung einer Minecraft-Einzelspielerwelt (B), die dem lokalen Netzwerk geöffnet wird.



Abbildung 13: Überblick über das Interface (A) sowie die Kommandozeile (B) im Spiel, wenn eine Einzelspielerwelt dem lokalen Netzwerk geöffnet wird und daraufhin eine Spielerin oder ein Spieler diesem Spiel beitritt.

4.3.3 Videoaufnahme und Videoanalyse in Minecraft

Ein Schwerpunkt der im Rahmen dieser Ausarbeitung entwickelten Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ stellt die Videoanalyse von Bewegungen dar. Im Rahmen von klassischer Videoanalyse werden Videos der zu untersuchenden Bewegungen mit Hilfe einer Videokamera aufgenommen, welche daraufhin auf den Computer übertragen und somit durch die Analysesoftware untersucht werden können (Wilhelm, 2008). Im Hinblick auf die Analyse von Bewegungen aus dem Computerspiel „Minecraft“ ist es daher notwendig, eine Videoaufnahme des Spielgeschehens vorzunehmen und diese daraufhin durch eine Analysesoftware zu untersuchen.

Neben der eher unpraktischen Aufnahme des Bildschirmbildes mit Hilfe einer Videokamera gibt es eine Vielzahl von weiteren Möglichkeiten, Videoaufnahmen von Computerspielen vorzunehmen. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Aufnahme-Software wie *ShadowPlay*, die als *Overlay* für die verschiedenen Spiele dienen (Abbildung 14). Dies hat den Vorteil, dass nach dem Starten der Software und des Computerspiels eine Aufnahme des Spielgeschehens direkt innerhalb des Computerspiels mit Hilfe einer Tastenkombination gestartet und beendet werden kann. Es ist somit nicht notwendig, die Aufnahme vor Beginn des Spiels zu starten, den vollständigen Spielverlauf aufzuzeichnen und das so entstandene Video daraufhin zu kürzen.

Aufnahmeprogramme, die eine direkte Aufzeichnung des Spielgeschehens ermöglichen, sind kostenfrei im Internet verfügbar und bereits in Teilen auf dem Computer vorinstalliert. So ist es beispielsweise mit Hilfe einer im Windows-Betriebssystem (Windows 10) integrierten Aufnahmesoftware möglich, kurze Aufzeichnungen des Spielgeschehens vorzunehmen. Eine Alternative mit mehr Einstellungsmöglichkeiten stellt die Software *ShadowPlay* dar, über die annährend alle Rechner mit einer NVIDIA-Grafikkarte verfügen. Diese ermöglicht eine komfortable Aufnahme des Spielgeschehens sowie eine einfache und intuitive Veränderung der jeweiligen Aufnahmeeinstellungen (Abbildung 14).

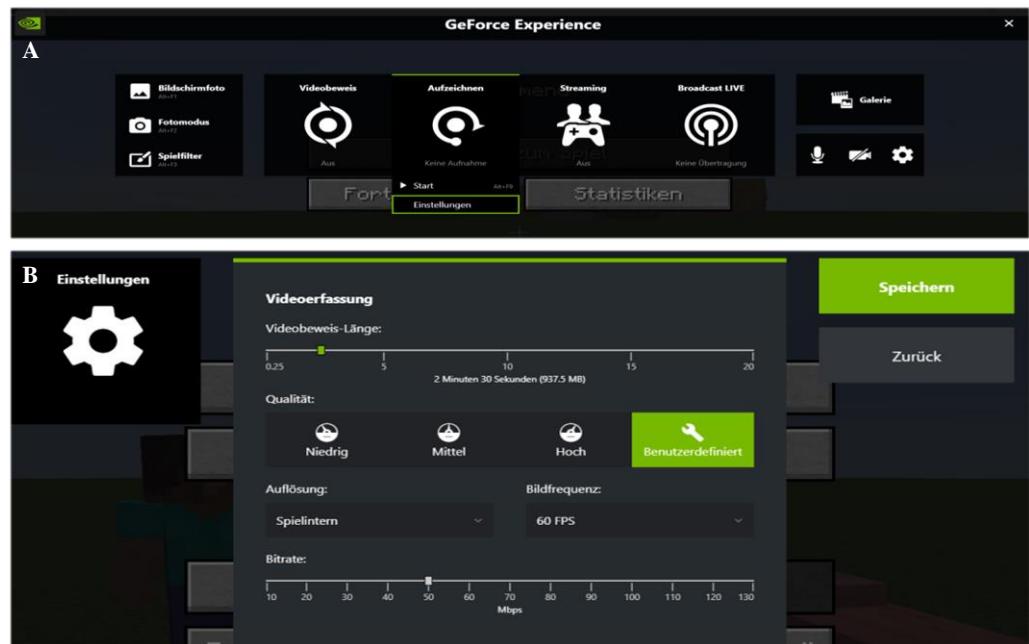


Abbildung 14: Überblick über das Interface (A) der Software *ShadowPlay*, die auf annährend allen Rechnern mit einer NVIDIA-Grafikkarte kostenfrei verfügbar ist, sowie die möglichen Einstellungsoptionen (B), die für die Videoaufnahme des Spielgeschehens modifiziert werden können.

Kostenfreie und im Internet verfügbare Alternativen zur Software *ShadowPlay*, die einen ähnlichen Funktionsumfang aufweisen, stellen *Overwolf* und *LoLo Game Recorder* dar. Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurden Aufnahmen des Spielgeschehens in Minecraft sowohl mit Hilfe der Software *ShadowPlay* als auch der Software *Overwolf* vorgenommen.

Zur Untersuchung von Bewegungen durch Videoanalysesoftware wie *measure dynamics* müssen einige grundsätzliche Aspekte bezüglich der Videoaufnahme berücksichtigt werden (Benz & Wilhelm, 2008). So sollte bei der Aufnahme des Videos beispielsweise beachtet werden, dass die Aufnahme senkrecht zur Ebene, in der die Bewegung stattfindet (Abbildung 15), vorgenommen wird, da es andernfalls zu Verzerrungen oder unbrauchbaren Ergebnissen bei der Analyse kommen kann (Wilhelm, 2008). Zudem sollte sich bei der Aufnahme des Videos das zu untersuchende Objekt deutlich vom Hintergrund (Abbildung 15) abheben, da sonst gegebenenfalls keine oder nur eine stark fehlerbehaftete Analyse möglich ist (Sauer, 2013). Des Weiteren ist es notwendig, dass sich innerhalb des Aufnahmefensters ein Maßstab mit bekannter Länge befindet, da andernfalls die Berechnung von physikalischen Größen wie dem Ort oder der Geschwindigkeit auf der Grundlage einer unpassenden Skalierung erfolgt (Abbildung 15) (Sauer, 2013).



Abbildung 15: Schematische Darstellung der wichtigsten Aspekte, die bei der Aufnahme von Videos mit dem Ziel der Videoanalyse berücksichtigt werden sollten sowie einer beispielhaften Positionierung des Avatars im Computerspiel „Minecraft“.

Im Bezug zum Computerspiel „Minecraft“ lassen sich die zuvor beschriebenen Aspekte wie ein neutraler Hintergrund oder ein Maßstab bei der Videoaufnahme leicht berücksichtigen (Abbildung 15). Hierbei erlangt insbesondere der variable Aufbau der Welt aus kubischen Blöcken an Bedeutung, da die Spielwelt auf einem metrischen System beruht. So entspricht die Kantenlänge eines kubischen Blockes einem Meter, woraus folgt, dass annährend alle Blöcke als Maßstab genutzt werden können. Weiterhin ist es möglich, aus einer großen Auswahl von Blöcken eine neutrale Fläche als Hintergrund der Bewegung zu erstellen und diese durch den Einsatz von farbigen Blöcken so zu modifizieren, dass zusätzlich ein gut erkennbarer Maßstab im Aufnahmefenster vorliegt (Abbildung 15). Für die Bewegung eines hellen Objektes würde sich daher ein Hintergrund aus dunklen Blöcken wie „Blaue Keramik“ eignen, während für ein dunkles Objekt ein Hintergrund aus hellen Blöcken wie „Quarzblock“ zu bevorzugen wäre. Der Aspekt der senkrechten Videoaufnahme zur Bewegungsebene ist durch den Einsatz von farbigen Blöcken ebenfalls leichter umsetzbar. Hierbei können zur Ausrichtung des Aufnahmefensters Strecken aus farbigen Blöcken gebaut werden, die neben dem Horizont als Orientierungsmöglichkeit bei der Positionierung des Aufnahmefensters dienen können (Abbildung 15).

Ein weiterer Aspekt, der insbesondere bei der Videoaufnahme des Computerspiels „Minecraft“ berücksichtigt werden muss, ist die Perspektive, aus der die Videoaufnahme durchgeführt werden kann. In Minecraft selbst erfolgt die Darstellung der Spielwelt vorwiegend durch die Augen des Avatars im *first-person-view*, sodass ausschließlich Bewegungen aufgenommen werden können, die im Sichtbereich des Avatars stattfinden. Eine Aufnahme der Bewegung des Avatars, die der Perspektive des *third-person-view* entspricht, kann nur mit Hilfe von speziellen Modifikationen wie dem *Camera Studio Mod* oder durch die Nutzung des Mehrspielermodus erfolgen. Im Mehrspielermodus wäre es somit möglich, dass ein Avatar die zu untersuchende Bewegung ausführt, während der andere Avatar diese Bewegung aus dem *first-person-view* über die jeweilige Aufnahmesoftware aufzeichnet.

Der Einsatz des Mehrspielermodus zur Aufnahme von Bewegungen hat daher den Vorteil, dass eine Vielzahl weiterer Bewegungsabläufe aufgezeichnet werden kann, die im Einzelspielermodus nur schwer beobachtbar gewesen wären. Des Weiteren könnte durch das gemeinsame Erstellen einer Aufnahme des Spielgeschehens die soziale Kompetenz der Lernenden gefördert werden, da diese miteinander kooperieren müssen, um beispielsweise ein Experiment gemeinsam zu gestalten, durchzuführen und aufzuzeichnen.

Nach der erfolgreichen Aufnahme eines Bewegungsablaufes kann die Videoaufzeichnung mit Hilfe von Videoanalysesoftware wie beispielsweise *measure dynamics* oder *Viana* untersucht werden (Benz & Wilhelm, 2008). Da es sich bei *measure dynamics* um eine leistungsfähige Videoanalysesoftware für den Computer handelt, die einerseits kostenfrei verfügbar ist und andererseits eine Vielzahl an Möglichkeiten auch bezüglich der nutzbaren Dateiformate bietet, wurden die nachfolgenden Untersuchungen von Bewegungsabläufen auf Grundlage dieser Anwendung durchgeführt.

Vor dem Beginn der eigentlichen Untersuchung muss die Video-Datei der Aufzeichnung von der Videoanalysesoftware *measure dynamics* geöffnet werden. Hierbei ist das Format der Video-Datei weitestgehend unerheblich, da mit Hilfe der integrierten Anwendung *convideo* eine Vielzahl von Dateiformaten in das für *measure dynamics* benötigte Video-Format umgewandelt werden kann (Sauer, 2013). Nach dem Öffnen der Videoaufnahme erfolgt die Vorbereitung des Videos unter dem Menüpunkt „Skalierung“. Unter diesem Menüpunkt (Abbildung 16) wird für das vorliegende Video ein Maßstab definiert und ein Koordinatensystem festgelegt. Weiterhin kann auch die Bildrate des Videos geändert werden, was insbesondere für Hochgeschwindigkeitsaufnahmen von Bedeutung sein kann (Sauer, 2013).

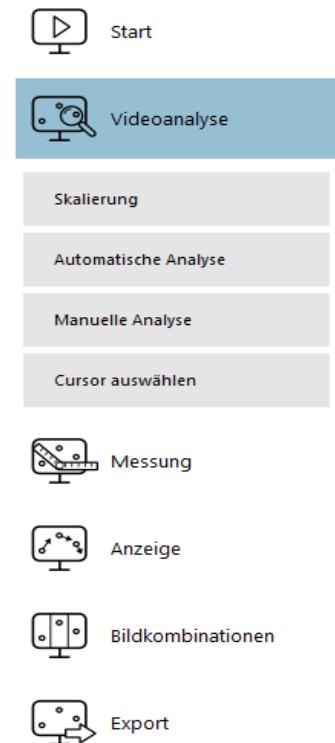


Abbildung 16: Überblick über die Menüführung der Videoanalysesoftware *measure dynamics*.

Im Anschluss an diese Vorbereitungen kann die eigentliche Videoanalyse des Bewegungsablaufes erfolgen. Diese kann wahlweise als automatische oder manuelle Analyse durchgeführt werden.

Bei der automatischen Analyse wird nach der Auswahl des bewegten Objektes dessen Position zu unterschiedlichen Zeitpunkten automatisch durch die Software ermittelt. Die Ermittlung kann hierbei über unterschiedliche Analysemodi wie beispielweise die Bewegungserkennung oder die Farberkennung erfolgen, wobei diese an die Video-Aufzeichnung angepasst und miteinander kombiniert werden können (Abbildung 17). Bei der manuellen

Automatische Videoanalyse Einstellungen	
Videoanalyse	Videoanalyse
Voruntersuchung	Empfehlung: Keine Empfehlung möglich
Bewegungserkennung	Analyse Modus:
Farberkennung	<input type="checkbox"/> Bewegungserkennung
Mustererkennung	<input type="checkbox"/> Mustererkennung
	<input type="checkbox"/> Farberkennung
	Auswahl:
	Keine

Abbildung 17: Überblick über die modifizierbaren Einstellungen zur automatischen Videoanalyse.

Analyse hingegen muss die Position des bewegten Objektes in jedem Bild der Aufzeichnung manuell durch die Anwenderin oder den Anwender festgelegt werden (Sauer, 2013).

Nachdem die Untersuchung des bewegten Objektes mit der Videoanalysesoftware durchgeführt wurde, werden unter den Menüpunkten „Videoanalyse“ oder „Anzeige“ die ermittelten Daten für den Ort, die Zeit, die Geschwindigkeit sowie die Beschleunigung des Objektes in tabellarischer Form angegeben (Abbildung 18). Zudem besteht die Möglichkeit, auf der Grundlage der in der Tabelle vorliegenden Größen andere physikalische Größen wie den Impuls oder die kinetische Energie des Objektes zu ermitteln. Des Weiteren können die Messwerte, die durch die Videoanalyse bestimmt wurden, auch graphisch in Form eines Diagramms wiedergegeben werden (Sauer, 2013). So ist es beispielsweise möglich, den Ort oder die Geschwindigkeit des bewegten Objektes in Abhängigkeit von der Zeit darzustellen (Abbildung 18). Dies ist auch in Kombination mit einer synchron ablaufenden Videoaufzeichnung realisierbar, sodass Diagramme in Echtzeit erstellt werden können (Abbildung 18) (Benz & Wilhelm, 2008).



Abbildung 18: Überblick über die Darstellung der Messwerte, Diagramme sowie die Videoaufzeichnung nach der Durchführung einer Videoanalyse mit Hilfe der Software *measure dynamics*.

Die zuvor beschriebenen Arbeitsschritte zur Untersuchung einer Bewegung mit Hilfe der Videoanalysesoftware *measure dynamics* sollen einen Überblick über den prinzipiellen Ablauf einer Videoanalyse sowie die Verwendung der Analysesoftware ermöglichen. Sollten beim Einsatz der Videoanalysesoftware *measure dynamics* Unklarheiten bezüglich der genauen Durchführung oder den unterschiedlichen Einstellungen auftreten, besteht die Möglichkeit, eine im Internet frei verfügbare Anleitung heranzuziehen (Sauer, 2013). Des Weiteren finden sich in einer Vielzahl von physikdidaktischen Publikationen wie von Mück und Wilhelm (2009) Beispiele für die Anwendung von Videoanalyse im Physikunterricht.

4.3.4 Spielerische Beschreibung von Bewegungen

Das Beschreiben von Bewegungen ist sowohl im Anfangsunterricht in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II von großer Bedeutung. So werden beispielweise im schulischen Physikunterricht oftmals Größen zur Beschreibung von Bewegungen erarbeitet oder auch Ort-Zeit-Diagramme ausgewertet und interpretiert (Hessisches Kultusministerium, 2010a).

Spielerische Beschreibung von Bewegungen: Blindes Fangen

Im physikalischen Anfangsunterricht werden oftmals Spiele mit den Lernenden durchgeführt oder Videos von komplexen alltäglichen Bewegungen gezeigt, um mit den Schülerinnen und Schülern gemeinsam Größen zur Beschreibung von Bewegungen zu erarbeiten (Schüller & Wilhelm, 2008). Dies kann auch im Rahmen der Nutzung des Computerspiels „Minecraft“ erfolgen.

So ist es beispielweise möglich, die Lernenden das Spiel „Blindes Fangen“ in Minecraft spielen zu lassen (Schüller & Wilhelm, 2008). Hierbei werden Gruppen von den Lernenden gebildet, wobei diese die Rollen Fänger, Assistent des Fängers und Gejagter einnehmen können. Während des Spiels hat der Fänger eine eingeschränkte Sicht auf das Spielfeld und somit auf den Gejagten, sodass die Assistenten des Fängers diesem möglichst genau die Position des Gejagten beschreiben müssen. Hierdurch sollen die Lernenden Begriffe erarbeiten, die für die Beschreibung von Bewegungen relevant sind.

Dieses Vorgehen ist ebenfalls in Minecraft umsetzbar. In diesem Zusammenhang muss vor dem Beginn des Spiels durch die Lernenden oder die Lehrkraft ein Spielfeld abgegrenzt und aufgebaut werden. Dieses kann in seiner Größe und Struktur individuell von den Lernenden oder der Lehrkraft gestaltet werden, um den Schwierigkeitsgrad des Spiels durch Hindernisse wie Hügel, Spinnweben, Eis oder Flüsse zu erhöhen (Abbildung 19).



Abbildung 19: Beispielhafter Aufbau eines Spielfeldes mit Beobachtungsplattform, bei dem zur Erhöhung des Schwierigkeitsgrades Hindernisse wie Spinnweben, Flüsse oder Bäume integriert wurden.

Die verschiedenen Rollen, die von den Schülerinnen und Schülern im Rahmen des Spiels eingenommen werden können, lassen sich in Minecraft leicht umsetzen. Beispielsweise kann für die Assistenten des Fängers eine transparente Beobachtungsplattform (Abbildung 19) oberhalb des Spielfeldes gebaut werden, um diesen einen Überblick über das gesamte Spielfeld zu verschaffen. Dies ist jedoch nicht zwingend notwendig, da die Assistenten sich auch auf dem Spielfeld bewegen könnten.

Die Notwendigkeit zur Beschreibung der Position des Gejagten und die daraus resultierende Lenkung der Bewegung des Fängers kann auf zweierlei Wegen erreicht werden. Einerseits ist es möglich, den Sichtbereich des Fängers durch den spielinternen Befehl zur Statusveränderung „Blindheit“ (Abbildung 20) so stark einzuschränken, dass die Spielerin oder der Spieler von den Beschreibungen der Assistenten abhängig ist. Anderseits kann das Sichtfeld des Fängers auch unbeeinflusst bleiben, wobei der Gejagte durch einen spielinternen Befehl die Statusveränderung „Unsichtbarkeit“ (Abbildung 20) erhält. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass in diesem Fall die Beschreibung der Position des Gejagten durch den Gejagten selbst erfolgen muss, da die Assistenten des Fängers bei dieser Version keine Funktion innehaben.

```
/effect give Avatar-Name minecraft:blindness 60  
/effect give Avatar-Name minecraft:invisibility 60
```

Abbildung 20: Spielinterne Befehle für eine 60-sekündige Statusveränderung eines Avatars mit dem Effekt „Blindheit“ oder „Unsichtbarkeit“. Diese Befehle können durch die Eingabe in das Chat-Fenster (T) umgesetzt werden, wenn im LAN-Spiel „Cheats“ erlaubt sind.

Spielerische Beschreibung von Bewegungen: Hindernisparcours

Eine Alternative zur spielerischen Thematisierung von Bewegungen und den Größen, die diese beschreiben, stellt die Nutzung von Hindernisparcours dar. In diesem Zusammenhang kann in Minecraft beispielsweise ein Hindernisparcour durch die Lernenden oder die Lehrkraft gestaltet werden, der daraufhin von einem blinden Läufer und seinem Teampartner gemeinsam absolviert werden muss (Abbildung 21).

Die Einschränkung des Sichtfeldes des Läufers könnte wie auch bei dem Spiel „Blindes Fangen“ über einen spielinternen Befehl zur Statusveränderung erfol-

gen (Abbildung 20). Aufgrund des temporären Status der Blindheit müsste sich die Spielerin oder der Spieler bei dem Absolvieren des Hindernisparcours somit ausschließlich auf die Beschreibungen der Teampartnerin oder des Teampartners verlassen. Eine andere Möglichkeit, die Sicht des Läufers ohne die Nutzung der Kommandozeile einzuschränken, besteht darin, die Helligkeit des Spiels auf ein Minimum zu verringern. Dies kann erreicht werden, indem die Grafikeinstellungen des Läufers auf „Düster“ eingestellt werden und der Hindernisparcour in einem dunklen und aus schwarzen Blöcken aufgebauten Gebäude errichtet wird. Hierbei muss die Teampartnerin oder der Teampartner jedoch einen Nachtsicht-Trank nutzen, um in der Dunkelheit einen Überblick über den Parcour zu erlangen, da dessen Sicht ebenso stark eingeschränkt wird.

Für den Bau eines solchen Hindernisparcours könnten Abgründe, Höhenunterschiede, Abzweigungen und in die Leere laufende Pfade interessante Gestaltungselemente sein, da diese nur mit einer genauen Beschreibung der Teampartnerin oder des Teampartners durch den Läufer überwunden werden können (Abbildung 21). Außerdem könnten Blöcke wie „Spinnweben“, „Seelensand“ und „Eis“ bei dem Bau des Parcours eingesetzt werden, da diese die Bewegung des Avatars durch Effekte wie Verlangsamung beeinträchtigen.



Abbildung 21: Beispielhafter Aufbau eines kleinen Hindernisparcours mit Spinnweben in großer Höhe innerhalb des Computerspiels „Minecraft“.

Zudem besteht die Möglichkeit, dass der Hindernisparcour in mehrfacher Ausfertigung gebaut oder alternativ von verschiedenen Gruppen durchlaufen wird, sodass die Schülerinnen und Schüler im Rahmen eines Wettrennens versuchen, den Parcour in einer möglichst kurzen Zeit zu durchlaufen. In diesem Zusammenhang wäre es auch denkbar, den Hindernisparcour in großer Höhe zu bauen, woraufhin die Spielerin oder der Spieler nach dem Herunterfallen den gesamten Parcour erneut durchlaufen müsste, was einem großen Zeitverlust entsprechen würde (Abbildung 21).

Spielerische Beschreibung von Bewegungen: Güterloren

Eine dritte Möglichkeit, Größen zur Beschreibung von Bewegungen im Computerspiel „Minecraft“ zu thematisieren, stellt der Einsatz von Güterloren dar (Abbildung 22). Hierbei kann ein Schwerpunkt auf der Beschreibung des Fahrverlaufs der Güterlore liegen, wobei die Strecken von den Schülerinnen und Schülern ebenfalls selbstständig gestaltet werden könnten (Abbildung 22).

Die Gestaltung einer Strecke für Güterloren in Minecraft beruht im Wesentlichen auf den Prinzipien von klassischen Modelleisenbahnen. So benötigt eine Güterlore beispielsweise ein Schienennetzwerk, auf dem sich diese fortbewegen kann. Zur Fortbewegung durch Güterloren

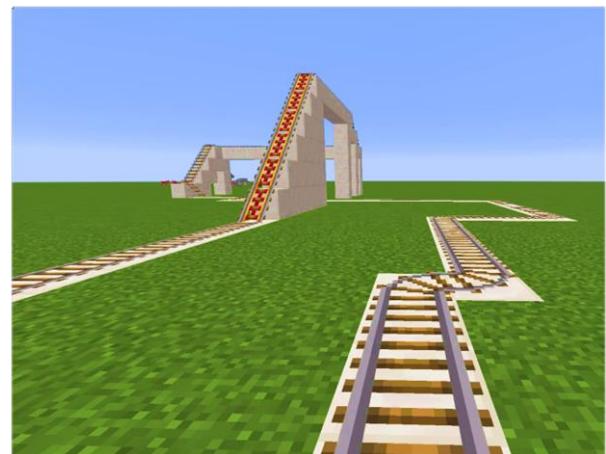


Abbildung 22: Beispielhafter Streckenverlauf einer Achterbahn im Computerspiel „Minecraft“.

werden rot-goldene Antriebsschienen benötigt, die nach ihrer Aktivierung eine Güterlore mit dem Avatar auf dem jeweiligen Streckenabschnitt beschleunigen, sodass die Güterlore Schrägen überwinden kann und auch auf gerader Strecke nicht langsamer wird (Abbildung 22).

Im Rahmen der Beschreibung von Bewegungen können durch den Einsatz von Güterloren Schülerinnen und Schüler die Bewegung einer Güterlore einerseits aus Sicht der Lore und andererseits aus Sicht eines externen Beobachters beschreiben (Abbildung 23). Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass die Lernenden selbstständig Streckenläufe erstellen und versuchen, diese möglichst detailliert in schriftlicher Form zu beschreiben. Auf der Grundlage dieser Beschreibung könnten andere Schülerinnen und Schüler daraufhin die im Spiel vorliegenden Streckenverläufe den jeweiligen Beschreibungen zuordnen.



Abbildung 23: Ausschnitt der Bewegung einer Güterlore als Serienbild aus der Sicht eines Fahrers.

Didaktische und methodische Überlegungen

Die zuvor beschriebenen Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ im Kontext der spielerischen Beschreibung von Bewegungen sollen den Lernenden einen Eindruck über die physikalischen Größen, die zur detaillierten Beschreibung von Bewegungen notwendig sind, vermitteln.

Die physikalischen Größen „Ort“, „Zeit“, „Tempo“ und „Richtung“ können insbesondere durch das „Blinde Fangen“ und den „Hindernisparcour“ erarbeitet werden, da die Schülerinnen und Schüler durch Aussagen wie „schneller“, „zu spät“, „rechts“, oder „zwei Blöcke zurück“ erkennen können, welche Größen zur Beschreibung von Bewegungen besonders wichtig sind. In diesem Zusammenhang wäre es denkbar, dass die Lernenden gemeinsam einen Hindernisparcour überwinden und parallel den Arbeitsauftrag bearbeiten, auf Größen zur Beschreibung von Bewegungen zu achten. Im Anschluss daran könnten die Ergebnisse im Plenum gesammelt und diskutiert werden und von den Schülerinnen und Schülern beim nochmaligen Absolvieren eines Hindernisparcours einbezogen werden. Ein solcher Einsatz könnte zur Förderung von Kompetenzen des Kompetenzbereichs „Kommunikation“ führen, da die Lernenden miteinander kommunizieren und hierbei physikalische Fachsprache verwenden (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Diese Aspekte werden ebenfalls bei der Nutzung von „Güterloren“ im Physikunterricht deutlich, wobei in diesem Zusammenhang der Schwerpunkt auf der schriftlichen Beschreibung der Bewegung sowie der Zuordnung der unterschiedlichen Schienennetzwerke liegt. Denkbar wäre hierbei, dass die Lernenden selbstständig ein Schienennetzwerk entwerfen und die durch die Güterloren durchgeführten Bewegungen schriftlich unter Einbezug der physikalischen Fachbegriffe festhalten, nachdem die physikalischen Größen zur Beschreibung von Bewegungen erarbeitet wurden. Durch das Verschriftlichen dieser Beschreibung könnte die überfachliche Schreibkompetenz der Lernenden sowie der fachliche Kompetenzbereich der „Kommunikation“ gefördert werden, da die Beschreibung von Bewegungen im Physikunterricht oftmals nur in mündlicher Form stattfindet (Hessisches Kultusministerium, 2011). Des Weiteren können durch den Einsatz von Güterloren auch verschiedene Bewegungsarten

veranschaulicht werden, wobei eine Klassifizierung von Bewegungsarten nur sinnvoll ist, wenn den Schülerinnen und Schülern das Konzept der Beschleunigung bekannt ist (Wilhelm, 2018a).

Im Bezug zur spielerischen Nutzung des Computerspiels „Minecraft“ im Physikunterricht ist es zudem notwendig, dass die Lehrkraft zwischen motivationalen, fachlichen, überfachlichen und zeitlichen Aspekten abwägt und entscheidet, in welchem Umfang das Computerspiel im Unterricht eingesetzt werden soll. So könnte der Bau eines Hindernisparcours und das Absolvieren des Parcours beispielsweise bereits so viel Zeit in Anspruch nehmen, dass fachliche Aspekte zur Beschreibung von Bewegungen nur in einem geringen Maß thematisiert werden könnten. Eine Möglichkeit, diesen zeitlichen Aufwand zu verringern, wäre die Vorbereitung der Bauten durch die Lernenden oder die Lehrkraft im Vorfeld, sodass hierfür im Unterricht keine zusätzliche Zeit benötigt wird. Des Weiteren könnten auch Videoaufnahmen von Bewegungen vorbereitet werden, sodass die Lernenden auf der Grundlage dieser Aufnahmen Arbeitsaufträge bezüglich der fachlichen Fragestellung bearbeiten. Bei dem Einsatz eines Videos würde der spielerische Charakter im Physikunterricht stark reduziert werden. Sollten das spielerische Bauen und Absolvieren des Parcours im Unterricht hingegen durchgeführt werden, kann dies förderlich für die Motivation und die soziale Kompetenz der Schülerinnen und Schüler sein, da diese im Spiel miteinander kooperieren müssen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen (Gee, 2013; Hessisches Kultusministerium, 2011).

4.3.5 Beschreibung von Bewegungen durch Diagramme

Im schulischen Physikunterricht werden sowohl im Anfangsunterricht als auch im Unterricht in der Sekundarstufe II oftmals Diagramme zur Beschreibung von Bewegungen herangezogen, wobei in diesen die kinematischen Größen wie der Ort, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Objektes in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt werden (Hessisches Kultusministerium, 2010a). Durch die Verwendung des Messwerterfassungsverfahrens der Videoanalyse können verschiedenste Bewegungen aus Minecraft untersucht und als Diagramm dargestellt werden (Mück & Wilhelm, 2009).

Beschreibung von Bewegungen durch Diagramme: Eindimensionale Bewegungen

Durch den Einsatz der Videoanalysesoftware *measure dynamics* kann eine Vielzahl unterschiedlicher eindimensionaler Bewegungen aus dem Computerspiel „Minecraft“ untersucht werden. So besteht beispielweise die Möglichkeit, die Bewegung einer Güterlore (Anhang B3-B4), eines bewegten Gegenstandes (Anhang B6) oder eines sich bewegenden Avatars (Anhang B1-B2) zu untersuchen (Abbildung 24).



Abbildung 24: Stroboskopaufnahme der eindimensionalen Bewegung eines Avatars (Anhang B1).

Die Bewegung eines Avatars stellt im Anfangsunterricht die naheliegendste Möglichkeit dar, da dessen Bewegung einerseits von den Lernenden leicht initiiert und aufgenommen werden kann und andererseits grundlegende Aspekte bezüglich Ort-Zeit-Diagrammen thematisiert werden können (Abbildung 25).

So können durch die Analyse der Bewegung eines Avatars beim Laufen beispielsweise Diagramme einfacher eindimensionaler Bewegungen aufgezeichnet werden, bei denen die Geschwindigkeit des Avatars konstant ist (Abbildung 25A). Hierdurch können die Schülerinnen und Schüler sich einerseits mit dem Umgang mit Diagrammen vertraut machen und andererseits erkennen, dass eine gleichmäßige Ortsänderung des Avatars mit einer Geraden im Diagramm einhergeht. Des Weiteren können

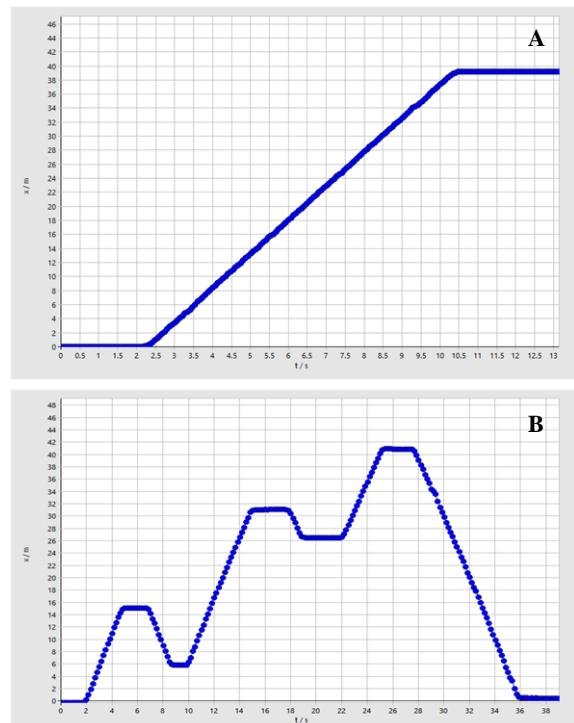


Abbildung 25: Darstellung des Ortes eines Avatars in Abhängigkeit von der Zeit im Rahmen einer einfachen eindimensionalen (A) sowie einer komplexeren eindimensionalen (B) Bewegung (Anhang B1-B2).

auch komplexere eindimensionale Bewegungen analysiert werden, bei denen sich der Avatar nicht nur vorwärts, sondern auch rückwärts bewegt und somit am Ende der Bewegung bei seinem ursprünglichen Ausgangspunkt landet (Abbildung 25B).

Neben den Bewegungen, die eine konstante Geschwindigkeit aufweisen, besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Bewegungen beschleunigter Körper zu untersuchen (Abbildung 26). Hierzu eignen sich in Minecraft insbesondere Bewegungen fallender Objekte, auf die im nächsten Kapitel genauer eingegangen wird.

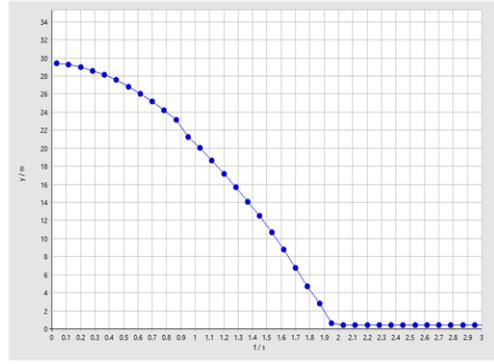


Abbildung 26: Darstellung der Höhe eines fallenden Blockes in Abhängigkeit von der vergangenen Zeit (Anhang G15).

Ein weiterer Diagrammtyp, der im Unterricht oftmals neben den zuvor beschriebenen Ort-Zeit-Diagrammen behandelt wird, sind Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme. Diese können ebenfalls auf Grundlage der durch die Videoanalyse ermittelten Messwerte in graphischer Form dargestellt werden (Abbildung 27).

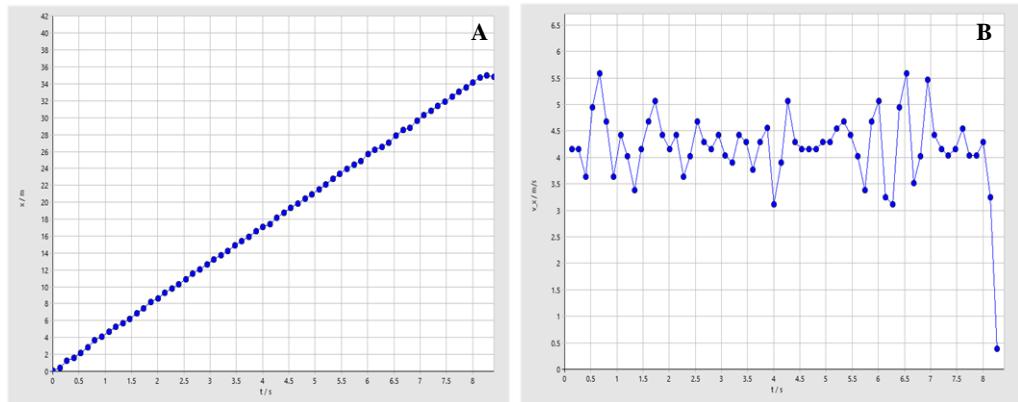


Abbildung 27: Darstellung des durch *measure dynamics* ermittelten Ortes eines Avatars in Abhängigkeit von der Zeit (A) sowie dessen Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit (B) (Anhang G1).

Aus dem Vergleich des Ort-Zeit-Diagramms und des Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms einer gleichmäßigen Bewegung kann deutlich werden, dass eine gleichmäßige Änderung des Ortes gleichbedeutend mit einer konstanten Geschwindigkeit des Objektes ist (Lüdde, o. D.). Dies wird im Spiel „Minecraft“ näherungsweise durch die beiden Diagramme in Abbildung 27 ersichtlich, wobei die ermittelte Geschwindigkeit des Objektes einigen Schwankungen unter-

liegt. Gründe für diese Schwankungen können Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Avatars oder Fehler bei der Bestimmung der Objektposition sein.

Der physikalischen Theorie nach dürfte auf den gleichmäßig bewegten Körper keine Beschleunigung wirken, da sich dessen Geschwindigkeit während der Bewegung nicht ändert (Lüdde, o. D.). Dies kann näherungsweise durch das Beschleunigung-Zeit-Diagramm der bereits zuvor beschriebenen Bewe-

gung verdeutlicht werden, wobei die Beschleunigung des Avatars aufgrund der vorliegenden Fehlerfortpflanzung noch größeren Schwankungen als die Geschwindigkeit unterliegt (Sauer, 2013). Sollte der Zusammenhang zwischen den einzelnen Diagrammen im schulischen Unterricht thematisiert werden, ist es daher notwendig, eine Fehlerdiskussion durchzuführen, die experimentellen Befunde mit den theoretischen Werten zu vergleichen und zudem das mathematische Verfahren der linearen Regression zu besprechen.

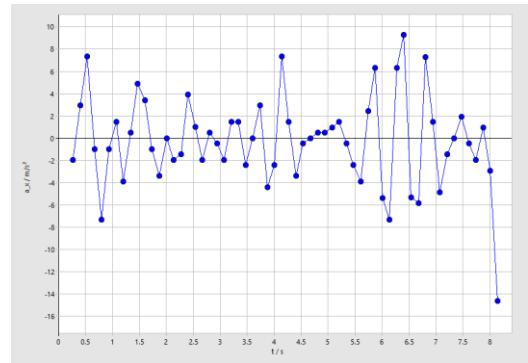


Abbildung 28: Darstellung der durch *measure dynamics* ermittelten Beschleunigung des Avatars in Abhängigkeit von der Zeit (Anhang G1).

Beschreibung von Bewegungen durch Diagramme: Zweidimensionale Bewegungen

Die zuvor betrachteten eindimensionalen Bewegungen stellen im Computerspiel „Minecraft“ Spezialfälle dar, da sich der Avatar im Spiel durch eine dreidimensionale Welt bewegt und Bewegungen nur selten in einer Dimension stattfinden. Zweidimensionale Bewegungen sind hingegen deutlich häufiger im Spielverlauf beobachtbar und auch in der Lebenswelt der Lernenden zu entdecken, sodass eine Untersuchung von zweidimensionalen Bewegungen durch Videoanalyse ebenfalls von großer Bedeutung für den Physikunterricht ist.

Zur Untersuchung von zweidimensionalen Bewegungen in Minecraft besteht ebenso wie bei der Betrachtung von eindimensionalen Bewegungen die Möglichkeit, zweidimensionale Bewegungen einer Güterlore (Anhang B3-B4), eines sich bewegenden Avatars (Anhang B5) oder eines geworfenen Gegenstandes (Anhang B6) zu untersuchen (Abbildung 29).

In diesem Zusammenhang muss bei der Aufzeichnung der zweidimensionalen Bewegung insbesondere auf die Aufnahmeperspektive geachtet werden, da es im Spiel leicht vorkommen kann, dass die Aufnahme nicht genau senkrecht zur Bewegungsebene vorgenommen wird. Gründe für eine fehlerhafte Ausrichtung der Aufnahmeperspektive können fehlende Orientierungsmöglichkeiten sowie Schwierigkeiten bei der Positionierung des Avatars beim Fliegen im spielinternen Kreativmodus sein. Diese Ausrichtungsschwierigkeiten können jedoch durch den Einsatz von in die Umgebung integrierten Orientierungsmöglichkeiten wie symmetrischen Mustern minimiert werden (Abbildung 29).

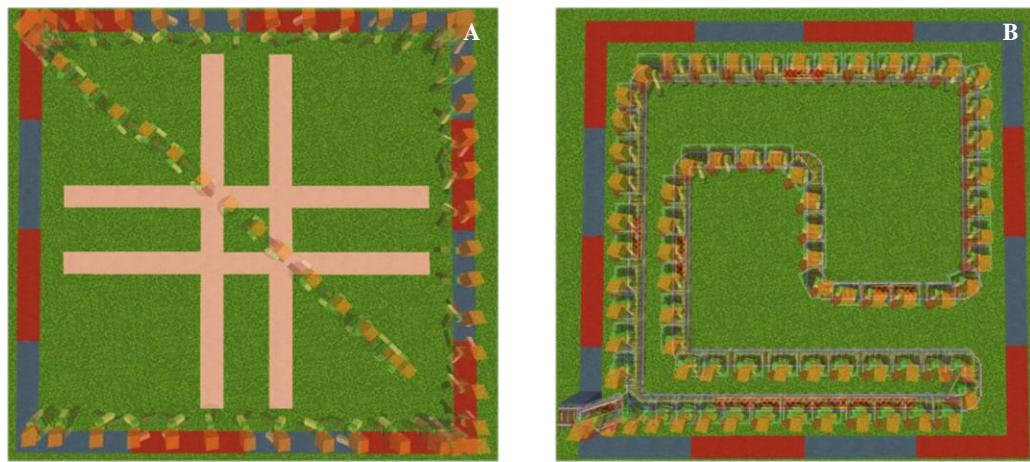


Abbildung 29: Stroboskopaufnahmen der zweidimensionalen Bewegung eines Avatars (Anhang B5) (A) und einer bewegten Güterlore (Anhang B4) (B), die aus der Sicht eines im Kreativmodus fliegenden Avatars aufgenommen wurden. Das in den Boden integrierte Kreuz und die quadratische Begrenzung des Feldes dienen der Ausrichtung des Sichtfensters sowie als Maßstab für die Videoanalyse.

Auf der Grundlage der durch die Videoanalysesoftware *measure dynamics* ermittelten Koordinaten des bewegten Objektes in Abhängigkeit von der Zeit kann das Ort-Zeit-Diagramm einer zweidimensionalen Bewegung erstellt werden (Abbildung 30). Hierbei kann wahlweise eine separierte oder gemeinsame Betrachtung der Ortsänderung des Objektes entlang der x-Koordinate und der y-Koordinate in Abhängigkeit von der Zeit erfolgen (Abbildung 30A). Außerdem besteht die Möglichkeit, die Anteile beider Dimensionen in Form eines x-y-Diagramms darzustellen, sodass die vollständige Bewegung des Körpers ohne Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs in Form eines Diagramms dargestellt werden kann (Abbildung 30B).

Für den schulischen Einsatz wäre es daher denkbar, dass die Lernenden die Ort-Zeit-Diagramme zweidimensionaler Bewegungen den entsprechenden Bewegungsaufnahmen oder x-y-Diagrammen zuordnen. Hierzu eignet sich auch

die Nutzung der Software *measure dynamics*, da die Punkte in den Ort-Zeit-Diagrammen zeitgleich zu der Position des Objektes in der ablaufenden Videoaufnahme wiedergegeben werden können (Benz & Wilhelm, 2008). Des Weiteren wäre es möglich, die Schülerinnen und Schüler selbstständig zweidimensionale Bewegungen aufnehmen zu lassen, aus den Aufnahmen die jeweiligen Ort-Zeit-Diagramme zu erstellen und diese dann von anderen Lernenden zuordnen zu lassen.

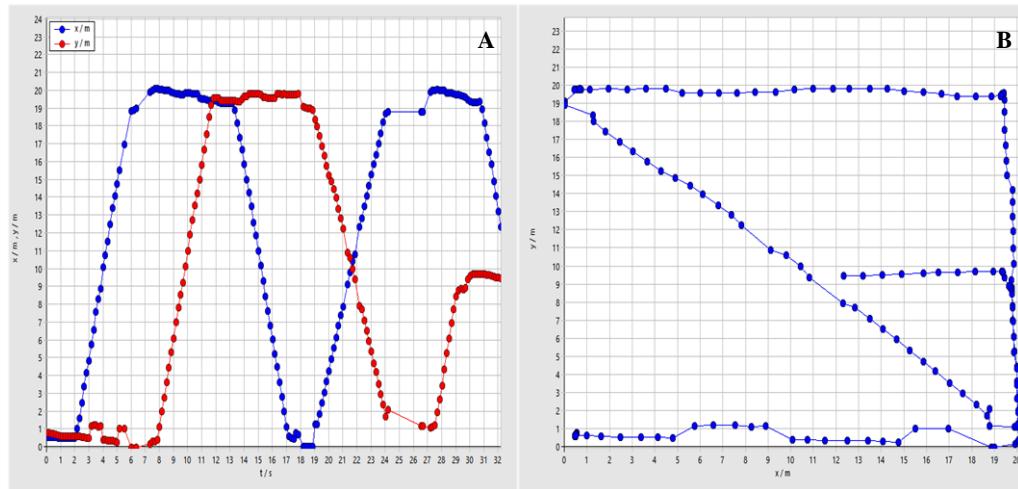


Abbildung 30: Ort-Zeit-Diagramm der zweidimensionalen Bewegung eines Avatars (Anhang B5) (A) mit unterschiedlich farbiger Darstellung der Anteile beider Dimensionen sowie eine Auftragung der Anteile beider Dimensionen als x-y-Diagramm (B).

Didaktische und methodische Überlegungen:

Die zuvor beschriebenen Einsatzmöglichkeiten von Minecraft im Kontext der Beschreibung von Bewegungen durch Diagramme sollen den Lernenden einerseits einen quantitativen Zugang zur Beschreibung von Bewegungen ermöglichen und andererseits einen Eindruck des vektoriellen Charakters der unterschiedlichen kinematischen Größen vermitteln. Des Weiteren könnten durch die Nutzung von Diagrammen im Physikunterricht die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der „Verwendung der Fach- und Symbolsprache“ gefördert werden (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Das Erstellen und Interpretieren von Diagrammen ist für die Fachwissenschaft „Physik“ von besonderer Bedeutung, da eine Vielzahl an Abhängigkeiten und Prozessen auch außerhalb des Bereichs der Mechanik in Form von Diagrammen dargestellt wird. So wird zur Messung von Temperaturverläufen die Temperatur oftmals in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt oder bei Röntgenpul-

verdiffraktogrammen die Intensität in Abhängigkeit vom Beugungswinkel ermittelt (Demtröder, 2018). Da das Erstellen und die Interpretation von Diagrammen spezifische kognitive Arbeitsmuster benötigt, die sich von alltäglichen Mustern stark unterscheiden, ist es notwendig, dass die Schülerinnen und Schüler bereits im schulischen Physikunterricht erste Grundlagen bezüglich des Umgangs mit Diagrammen erlernen (Girwidz, 2009a).

Eine Möglichkeit, die Kompetenzen der Lernenden hinsichtlich des Umgangs mit Diagrammen zu fördern, stellt der Einsatz von Diagrammen zur Beschreibung von Bewegungen im Physikunterricht dar. In diesem Zusammenhang ist es denkbar, dass die Lernenden im Computerspiel „Minecraft“ eindimensionale Bewegungen aufzeichnen und mit Hilfe von *measure dynamics* die zugehörigen Ort-Zeit-Diagramme erstellen. Diese Ort-Zeit-Diagramme könnten daraufhin durch die Software synchron mit der Videoaufzeichnung dargestellt werden, wodurch den Lernenden der Zusammenhang zwischen der konkret visuellen und der abstrakt grafischen Darstellung des Bewegungsablaufes zusätzlich verdeutlicht werden kann (Wilhelm, Geßner, Suleder & Heuer, 2003). Im Anschluss daran können auch komplexere eindimensionale Bewegungen im Unterricht thematisiert werden, bei denen das Stehenbleiben, das Zurückgehen oder Geschwindigkeitsänderungen des Avatars im durch Videoanalyse erstellten Ort-Zeit-Diagramm oder Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm deutlich werden können.

Im schulischen Physikunterricht werden oftmals nur eindimensionale Bewegungen betrachtet, was zu Fehlvorstellungen und Lernschwierigkeiten hinsichtlich der kinematischen Größen führen kann. Durch eine kombinierte Betrachtung von eindimensionalen und zweidimensionalen Bewegungen wäre es hingegen möglich, den Lernenden einerseits einen nicht zu komplexen Zugang zum Umgang mit Diagrammen zu ermöglichen und andererseits den vektoriellen Charakter der kinematischen Größen zu verdeutlichen (Tobias, 2010). Dies könnte im Physikunterricht beispielsweise umgesetzt werden, indem zu Beginn eines Unterrichtsvorhabens eine komplexe zweidimensionale Bewegung wie der Wurf eines Eies (Anhang B6) dargestellt wird und im Anschluss daran die beiden Komponenten der Bewegung gesondert betrachtet werden.

Hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ im Physikunterricht besteht außerdem die Möglichkeit, Videoanalysen von eindimensionalen und zweidimensionalen Bewegungen aus dem Spiel vorzunehmen. Hierbei wäre es denkbar, dass die Schülerinnen und Schüler selbstständig ein- oder zweidimensionale Bewegungen aufnehmen und diese in Form eines Ort-Zeit-Diagramms darstellen. Im Anschluss daran könnten diese Ort-Zeit-Diagramme von anderen Schülerinnen und Schülern genutzt werden, um die zuvor aufgenommene Bewegung zu beschreiben oder aus einer Auswahl von Bewegungsaufzeichnungen das Ort-Zeit- oder das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm der entsprechenden Bewegung zuzuordnen.

Eine weitere Möglichkeit zum Einsatz des Spiels im Mechanik-Unterricht ist es, die Schülerinnen und Schüler im Spiel eine zweidimensionale Bewegung durchführen zu lassen und diese Bewegung von anderen Lernenden auf Grundlage eines im Spiel vorgegebenen Spielbereichs beschreiben zu lassen. Hierdurch könnte der vektorielle Charakter des Ortes und auch der Geschwindigkeit verdeutlicht werden, da die Lernenden die zweidimensionalen Bewegungen nur durch genaue Angaben wie beispielsweise einen Block in x-Richtung und zwei Blöcke in y-Richtung detailliert beschreiben und nachvollziehen können. In diesem Zusammenhang würde sich auch der Einsatz des entsprechenden x-y-Diagramms anbieten, da hiermit die Bewegung in diesem Spielfeld gut nachvollzogen werden kann. Dies wird insbesondere beim Einsatz von Güterloren (Anhang B3-B4) deutlich, da das x-y-Diagramm der Bewegung dem aufgebauten Schienennetzwerk gleicht.

Im Hinblick auf die Umsetzung der zuvor genannten Vorschläge könnten verschiedenste methodische Vorgehensweisen bezüglich des Einsatzes im Physikunterricht gewählt werden. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, dass die Schülerinnen und Schüler die Bewegungen im Computerspiel „Minecraft“ selbstständig durchführen, aufzeichnen und daraufhin mit der Videoanalysesoftware *measure dynamics* untersuchen. Dies stellt eine zeitaufwendige Möglichkeit dar, wobei durch den hohen spielerischen und kooperativen Anteil die Motivation und die soziale Kompetenz der Lernenden zusätzlich zu den fachlichen Kompetenzen gefördert werden kann (Gee, 2013). Des Weiteren ist

es denkbar, auf die selbstständige Aufzeichnung der Bewegung zu verzichten, sodass die Lernenden die Videoanalyse auf Grundlage von bereits vorbereiteten Aufzeichnungen selbstständig durchführen. Hierbei wäre der zeitliche Aufwand im Vergleich zur vorherigen Durchführung deutlich geringer, wobei vermutlich weniger motivationale Aspekte durch den Einsatz von Minecraft wirksam werden würden. Schlussendlich ist es ebenfalls möglich, die Videoanalyse von Seiten der Lehrkraft vor Beginn des Unterrichts durchzuführen, sodass das Ergebnis der Videoanalyse im Unterricht zu Anschauungszwecken verwendet werden kann. Diese Alternative weist den geringsten zeitlichen Aufwand auf, wobei es in diesem Zusammenhang vermutlich keinen Unterschied macht, ob die Bewegung aus einem Computerspiel, einer Simulation oder dem Alltag der Lernenden stammt.

4.3.6 Experimente zur Geschwindigkeit und Beschleunigung

Wie bereits im vorherigen Kapitel dargestellt, werden innerhalb des physikalischen Teilgebiets der Mechanik Bewegungen von Körpern auf Grundlage der kinematischen Größen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung beschrieben (Lüdde, o. D.). Hierbei sind die Größen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ insbesondere für den Physikunterricht in der Sekundarstufe I von großer Bedeutung, da in diesem Hinblick oftmals erstmalig eine mathematische Abhängigkeit mehrerer physikalischer Größen thematisiert wird (Tobias, 2010). Beispielsweise wird im Physikunterricht die Durchschnittsgeschwindigkeit oder die Fallbeschleunigung eines Körpers im Rahmen von Experimenten ermittelt (Hessisches Kultusministerium, 2010a). Diese Aspekte können ebenfalls im Computerspiel „Minecraft“ thematisiert werden.

Experimente zur Geschwindigkeit und Beschleunigung: Geschwindigkeit

Im Hinblick auf den Einsatz von Minecraft bezüglich der Thematik „Geschwindigkeit“ können eine Vielzahl verschiedener Bewegungen untersucht werden. So ist es mit Hilfe von Experimenten beispielsweise möglich, die Geschwindigkeit eines Avatars unter Berücksichtigung der verschiedenen Fortbewegungsarten im Computerspiel auf unterschiedliche Weise zu ermitteln und diese miteinander zu vergleichen (Anhang G1-G15) (Abbildung 31).

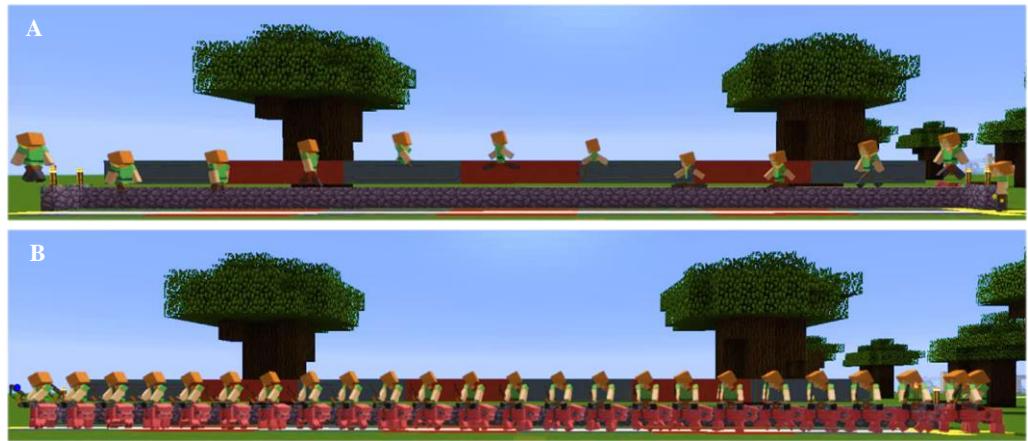


Abbildung 31: Stroboskopaufnahme der eindimensionalen Bewegung eines springenden (Anhang G5) (A) und eines auf einem Schwein reitenden Avatars (Anhang G6) (B) im Computerspiel „Minecraft“.

Die Ermittlung der Geschwindigkeit des Avatars bei den unterschiedlichen Fortbewegungsarten (Tabelle 3) kann im eindimensionalen Fall auf drei verschiedenen Wegen erfolgen. Beispielsweise ist es möglich, durch eine manuelle Messung der Zeit, die der Avatar für eine definierte Ortsänderung benötigt, die Durchschnittsgeschwindigkeit der jeweiligen Fortbewegungsart zu ermitteln (Anhang G13). Des Weiteren kann die Geschwindigkeit des Avatars auch auf Grundlage von Videoanalyse ermittelt werden (Anhang G1-G7), wobei hier zwischen der graphischen Auswertung des Ort-Zeit-Diagramms durch das Verfahren der linearen Regression und der automatischen Ermittlung der Geschwindigkeit durch die Software *measure dynamics* unterschieden werden kann (Abbildung 32).

Tabelle 3: Durch Videoanalyse und manuelle Messung ermittelte Geschwindigkeiten für die unterschiedlichen Fortbewegungsarten (Anhang G1-G7) im Computerspiel „Minecraft“.

Fortbewegungsart in Minecraft	Zeit	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit
	Manuelle Messung		Videoanalyse
Laufen (Anhang G1-G2)	7,36 s	4,75 m/s	5,04 m/s
Rennen (Anhang G3)	5,75 s	6,08 m/s	6,60 m/s
Springen (Anhang G4)	8,42 s	4,15 m/s	4,63 m/s
Springend-Rennen (Anhang G5)	4,87 s	7,19 m/s	7,72 m/s
Schweineritt (Anhang G6)	13,22 s	2,65 m/s	2,91 m/s
Pferderitt (Anhang G7)	4,28 s	8,18 m/s	10,42 m/s

Für die Ermittlung der Geschwindigkeit eines Avatars sind Bewegungsarten wie das Laufen, das Rennen, das Springen, das springende Rennen, der Ritt auf

einem Schwein sowie der Ritt auf einem Pferd interessant (Tabelle 3). In diesem Zusammenhang könnte im Unterricht beispielsweise erarbeitet werden, was die schnellste oder die langsamste Fortbewegungsmethode in Minecraft darstellt oder ob die Geschwindigkeitsbeträge der unterschiedlichen Fortbewegungsarten mit denen aus der Realität übereinstimmen. Des Weiteren kann im Physikunterricht darauf eingegangen werden, warum sich die ermittelten Werte für die Geschwindigkeit bei der Nutzung unterschiedlicher Messverfahren wie der Videoanalyse oder der manuellen Messung unterscheiden (Tabelle 3).

Im Computerspiel „Minecraft“ lässt sich die Bestimmung der Geschwindigkeit von eindimensionalen Bewegungen am besten auf einer geraden Strecke mit der Breite eines Blockes mit integriertem Maßstab durchführen. Da es sich um eine eindimensionale Bewegung handelt, kann die Aufzeichnung der Bewegung wahlweise von der Seite oder von oben erfolgen. Im Rahmen der Durchführung hat sich jedoch die seitliche Ansicht bewährt, da die Ausrichtung des Blickfeldes für die Aufnahme bei der seitlichen Ansicht wesentlich einfacher zu bewerkstelligen ist und die automatische Analyse durch die Software den bewegten Avatar in den meisten Fällen besser erfassen kann.

Im Hinblick auf die Auswertung von Videoaufzeichnungen aus Minecraft durch *measure dynamics* muss beachtet werden, dass die Aufzeichnungen teilweise aus einer großen Anzahl an einzelnen Bildern bestehen, die bei einer Analyse unter den Standardeinstellungen alle in die Untersuchung einbezogen werden (Abbildung 32). Dies führt bei der graphischen Darstellung des Ort-Zeit-Diagramms dazu, dass sich die einzelnen Datenpunkte überschneiden und die aus den Koordinaten ermittelten physikalischen Größen wie die Geschwindigkeit und die Beschleunigung starken Schwankungen unterliegen können (Abbildung 32). Diese Aspekte werden auch in Abbildung 32 deutlich, in der die automatische Analyse einer eindimensionalen Bewegung unter Berücksichtigung aller Bilder sowie unter Berücksichtigung jedes fünften Bildes durchgeführt wurde. Im Vergleich der durch *measure dynamics* erstellten Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme weist die Analyse mit einer größeren Schrittweite Schwankungen bezüglich der Geschwindigkeit auf (Abbildung 32B).

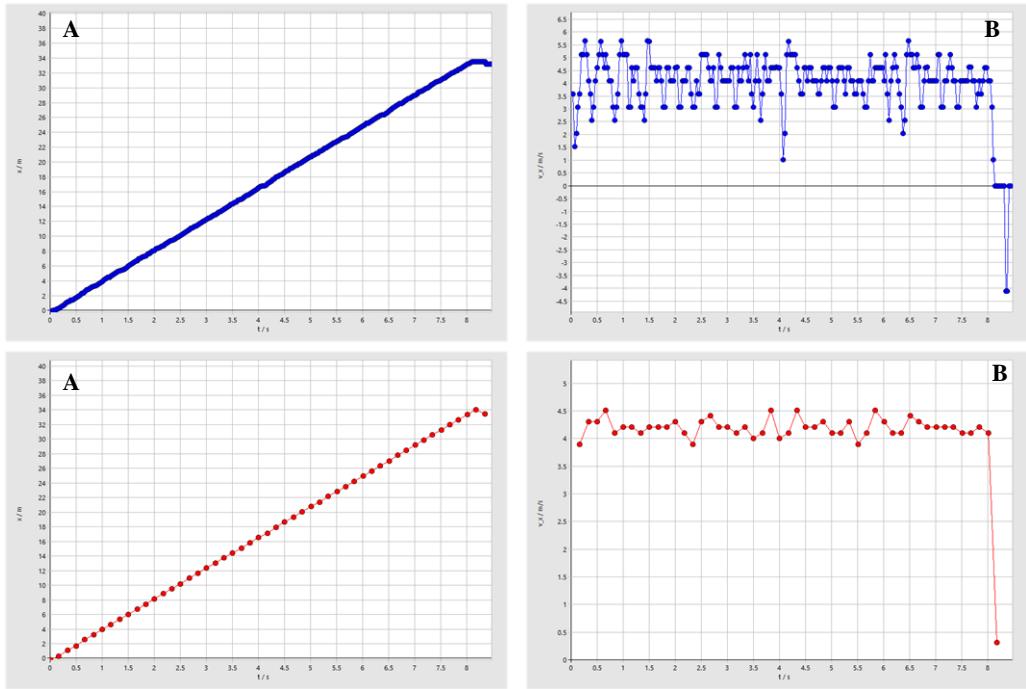


Abbildung 32: Darstellung des Ortes eines laufenden Avatars (Anhang G1-G2) in Abhängigkeit von der Zeit (A) sowie der aus diesen Messwerten resultierenden Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme (B). Die automatische Videoanalyse wurde unter Berücksichtigung jedes Bildes (blau) und unter Berücksichtigung jedes fünften Bildes (rot) von der Software *measure dynamics* durchgeführt.

Ein weiterer Aspekt, das Computerspiel „Minecraft“ im Physikunterricht bezüglich der Thematik „Geschwindigkeit“ einzusetzen, stellt die Untersuchung der Geschwindigkeit von Güterloren in Kombination mit Beschleunigungsschienen dar (Anhang G8-G12) (Abbildung 33). Die Geschwindigkeit einer durch einen Avatar besetzten Güterlore hängt hierbei von der Anzahl an aktivierte Beschleunigungsschienen ab, die eine Güterlore während der Fahrt passiert. So erreicht eine Güterlore beispielsweise nach dem Passieren einer Beschleunigungsschiene eine Geschwindigkeit von ungefähr $6,32 \text{ ms}^{-1}$ und nach dem Passieren von zwei direkt aufeinanderfolgenden Beschleunigungsschienen eine Geschwindigkeit von ungefähr $8,12 \text{ ms}^{-1}$. Nach dem Passieren von drei oder vier direkt aufeinanderfolgenden Beschleunigungsschienen wird eine Geschwindigkeit von $8,19 \text{ ms}^{-1}$ beziehungsweise $7,85 \text{ ms}^{-1}$ durch die Güterlore erreicht, wobei nach einem bestimmten Streckenabschnitt die Geschwindigkeit der Lore langsam annäherungsweise linear abnimmt (Abbildung 33). Da die Ermittlung der Geschwindigkeit durch das digitale Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse ebenfalls Messungenauigkeiten mit sich bringt, kann davon ausgegangen werden, dass die Maximalgeschwindigkeit, die eine Güterlore im Spiel „Minecraft“ erreichen kann, bei $8,05 \text{ ms}^{-1} \pm 0,15 \text{ ms}^{-1}$ liegt.

Im Physikunterricht wäre ein Einsatz dieser Thematik im Rahmen von problemorientierten Fragestellungen denkbar. In diesem Zusammenhang wäre es möglich, den Schülerinnen und Schülern den Arbeitsauftrag zu geben, eine vorgegebene Strecke in einer möglichst kurzen Zeit oder möglichst ressourcenparend eine möglichst weite Strecke mit Güterloren zurückzulegen. Des Weiteren könnte auch die Anzahl der verwendeten Beschleunigungsschienen vorgegeben werden, sodass die Lernenden selbstständig ermitteln müssen, ab welcher zurückgelegten Strecke die Geschwindigkeit einer Lore sich verringert und wie sie die Beschleunigungsschienen möglichst effizient miteinander kombinieren können (Anhang G12) (Abbildung 33).

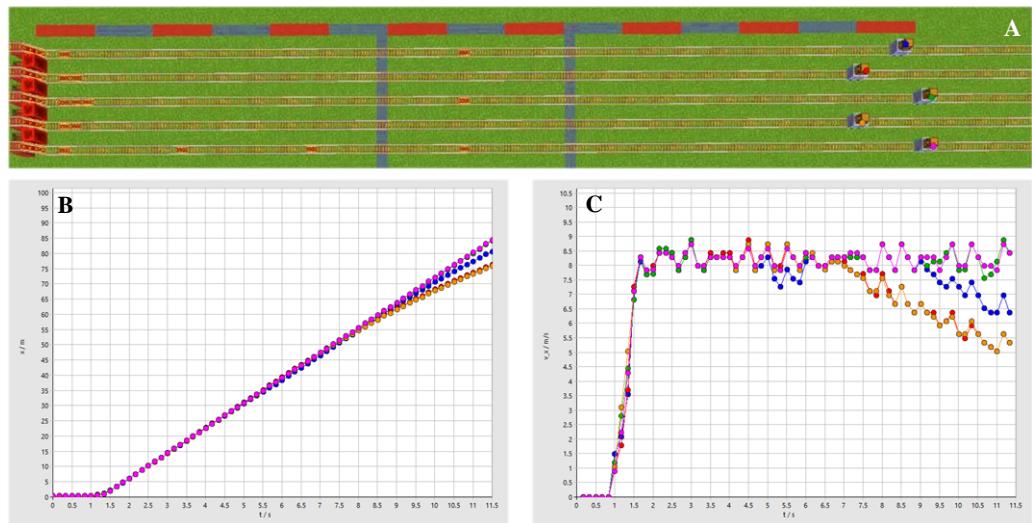


Abbildung 33: Darstellung eines Versuchsaufbaus (A) zur Ermittlung der Effizienz des Einsatzes von Beschleunigungsschienen auf gerader Strecke (Anhang G12) sowie der aus diesen Untersuchungen resultierenden Ort-Zeit- (B) und Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme (C). Hierbei erfolgt ein Vergleich der Bewegungen bezüglich unterschiedlicher Kombinationen an Beschleunigungsschienen.

Ein Experiment, das sich mit der Effizienz von Beschleunigungsschienen befasst, wird in Abbildung 33 dargestellt. Bei diesem wird die Ortsänderung sowie die Geschwindigkeit von Güterloren bei unterschiedlichem Einsatz an Beschleunigungsschienen auf gerader Strecke untersucht. Es wird die Bewegung einer Lore bei einem Streckenverlauf (Anhang G12) von zwei direkt aufeinanderfolgenden Beschleunigungsschienen (rot und orange), zwei in einem Abstand von 33 Blöcken folgenden Beschleunigungsschienen (blau), drei direkt aufeinanderfolgenden Beschleunigungsschienen in Kombination mit einer 31 Blöcke entfernten Beschleunigungsschiene (grün) sowie vier in einem Abstand von neun Blöcken positionierten Beschleunigungsschienen (violett) untersucht (Abbildung 33). Aus dieser Untersuchung wird deutlich, dass eine Güterlore, die mit einer Beschleunigungsschiene (blau) betrieben wird, nach einer Strecke

von 28 Blöcken langsam beginnt, ihre Geschwindigkeit zu verringern. Werden hingegen zwei hintereinander positionierte Beschleunigungsschienen (rot und orange) genutzt, verringert sich die Geschwindigkeit der Lore erst nach einer Strecke von 42 Blöcken. Die Nutzung von vier gleichmäßig verteilten Beschleunigungsschienen (violett) weist im Vergleich zu vier unregelmäßig verteilten Beschleunigungsschienen (grün) nur geringfügige Unterschiede im Geschwindigkeitsverlauf auf, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Abstände zwischen diesen Schienen zu klein sind, um eine Reduktion der Geschwindigkeit hervorzurufen. In diesem Zusammenhang könnte das Experiment beispielsweise durch die Lernenden weiterentwickelt werden, indem diese den größtmöglichen Abstand zwischen einzelnen Beschleunigungsschienen bestimmen, in dem die Geschwindigkeit der Lore nicht reduziert wird.

Neben den zuvor geschilderten Experimenten zur Geschwindigkeit, die von einer eindimensionalen Betrachtungsweise ausgehen, kann im Computerspiel „Minecraft“ auch eine Betrachtung der Geschwindigkeit im Hinblick auf zweidimensionale Bewegungen erfolgen.

Eine Möglichkeit hierfür besteht darin, im Rahmen der Betrachtung einer zweidimensionalen Bewegung die Geschwindigkeit eines Objektes anhand seiner vektoriellen Komponenten darzustellen und gesondert zu untersuchen (Abbildung 34). Wird beispielsweise der Wurf eines Eies in Minecraft betrachtet (Anhang SW_Ei), kann die Geschwindigkeit des Eies auf Grundlage der durch Videoanalyse ermittelten Ortskoordinaten berechnet werden (Abbildung 34). Im Rahmen des zugehörigen Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms wird durch *measure dynamics* jedoch nicht der Geschwindigkeitsbetrag der kinematischen Größe abgebildet, sondern es erfolgt eine Darstellung der vektoriellen Geschwindigkeitskomponenten in

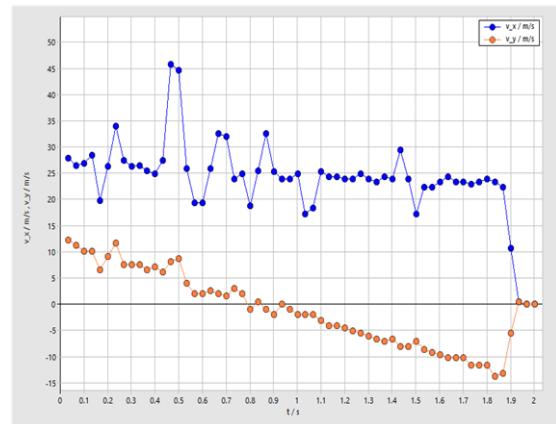


Abbildung 34: Darstellung der Geschwindigkeit eines von einem Avatar geworfenen Eies in Abhängigkeit von der Zeit (Anhang SW_Ei). Die Geschwindigkeit des Eies ist hierbei in die vektoriellen Komponenten in x-Richtung (blau) und in y-Richtung (orange) unterteilt.

x- und y-Richtung. Diese gesonderte Betrachtungsweise der Geschwindigkeitskomponenten kann die Entwicklung einer realistischen Vorstellung bei den Schülerinnen und Schülern zum vektoriellen Charakter der kinematischen Größe fördern (Wilhelm, 2018b).

Eine weitere Möglichkeit, den Lernenden den vektoriellen Charakter der kinematischen Größe „Geschwindigkeit“ zu verdeutlichen, stellt die dynamisch ikonische Repräsentation der physikalischen Größe in Abbildungen und Videoaufzeichnungen dar (Benz & Wilhelm, 2008). So kann bei zweidimensionalen Bewegungen die Geschwindigkeit eines Körpers durch *measure dynamics* als vektorielle Größe durch entsprechende Vektorpfeile graphisch dargestellt werden (Abbildung 35). Im Bezug zum zuvor beschriebenen Eier-Wurf kann somit die x-Komponente der Geschwindigkeit (blau), die y-Komponente der Geschwindigkeit (orange) und die daraus resultierende Größe (violett) in Form von Vektorpfeilen dargestellt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, auf Grundlage dieser Vektorpfeile die Veränderung der Geschwindigkeitskomponenten und der Geschwindigkeit während einer Bewegung in Form eines Prozesses graphisch zu verdeutlichen (Abbildung 35B).

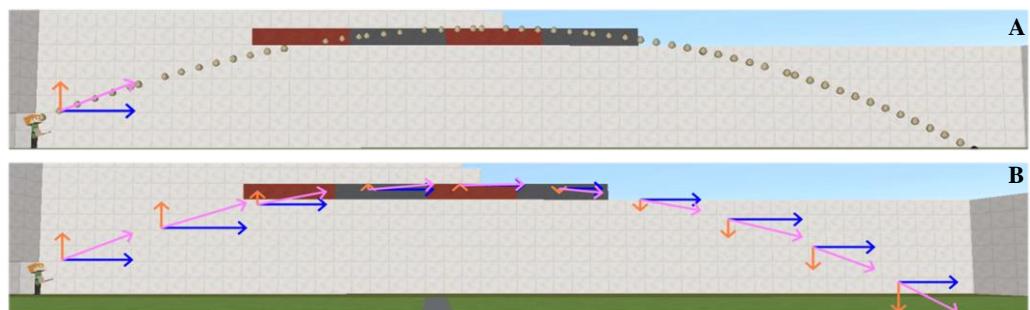


Abbildung 35: Stroboskopaufnahme der Flugbahn eines geworfenen Eies (A) sowie eine vektorielle Darstellung der Geschwindigkeit (violett) und der Geschwindigkeitskomponenten (B) des Eies in x-Richtung (blau) und in y-Richtung (orange).

Im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ ist es somit möglich, die vektoriellen Geschwindigkeitskomponenten von zweidimensionalen Bewegungen anhand quantitativer Messwerte zu untersuchen. So lässt sich beispielsweise auf Grundlage des Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms erklären, dass das geworfene Ei in den ersten 0,7 Sekunden des Wurfs an Höhe gewinnt und in den Sekunden danach beginnt, in Richtung Boden zu fallen, da die Geschwindigkeitskomponente in y-Richtung ein negatives Vorzeichen innehalt (Abbildung 35). Des Weiteren ist auch eine qualitative Herangehens-

weise durch die graphische Darstellung der vektoriellen Größe möglich, da die Schülerinnen und Schüler zum Beispiel auf Grundlage der Pfeilrichtungen interpretieren können, welchen Einfluss die Geschwindigkeitskomponenten auf die Bewegung innehaben (Abbildung 35).

Experimente zur Geschwindigkeit und Beschleunigung: Beschleunigung

Im Rahmen des schulischen Physikunterrichts wird die kinematische Größe „Beschleunigung“ oftmals im Bezug zu Kräften, die auf verschiedenste Körper wirken, thematisiert (Hessisches Kultusministerium, 2010a). In diesem Zusammenhang ist die Betrachtung von fallenden Körpern von besonderem Interesse, da auf diese Körper die Erdbeschleunigung wirkt, die das alltägliche Leben auf dem Planeten Erde maßgeblich mitbestimmt (Pohl, 2017).

Da das Computerspiel „Minecraft“ in einer erdähnlichen virtuellen Welt spielt, liegt es nahe, diese beiden Welten miteinander zu vergleichen. So wäre es beispielsweise denkbar, die Beschleunigung verschiedener fallender Körper in Minecraft zu ermitteln und diese mit der Erdbeschleunigung zu vergleichen. Die Ermittlung der Beschleunigung von fallenden Körpern im Computerspiel könnte hierbei durch eine Kombination aus dem Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse und Fallexperimenten erfolgen.



Abbildung 36: Stroboskopaufnahme der Fallbewegung verschiedener Objekte und Blöcke im Computerspiel „Minecraft“.

Die Gestaltung eines Fallexperimentes kann anhand der Darstellung in der Abbildung erfolgen (Anhang G13-G15) (Abbildung 36). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass alle Gegenstände, Blöcke und Lebewesen zum selben Zeitpunkt vom Gebäude heruntergestoßen werden, um die Messwerte in der Videoanalysesoftware direkt miteinander vergleichen zu können. Dies kann

durch Kolben erreicht werden, die das Objekt bei einem Signal von einer vernetzten Redstone-Schaltung herunterstoßen. Der genaue Aufbau der Schaltung und des Experimentes kann auch im Spiel mit der im Anhang herunterladbaren Minecraft-Spielwelt nachvollzogen werden (Anhang Minecraft_Welt). Bei der Durchführung des Experimentes muss zudem berücksichtigt werden, dass sich die Blöcke und Gegenstände im Computerspiel in Teilen unterschiedlich verhalten. So kann beispielsweise zwischen fallenden Blöcken wie „Kies“ und „Sand“, nichtfallenden Blöcken wie „Stein“, Lebewesen und Gegenständen unterschieden werden. In der nachfolgenden Betrachtung des Fallexperimentes wurden die Blöcke „Kies“ und „Sand“, die Lebewesen „Schwein“, „Dorfbewohner“ und „Huhn“ sowie der Gegenstand „Amboss“ hinsichtlich der Fallbeschleunigung untersucht (Anhang G13-G15) (Abbildung 37).

Anhand der durch das Verfahren der Videoanalyse gewonnenen Messwerte kann das Ort-Zeit-Diagramm sowie das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm der unterschiedlichen Fallbewegungen dargestellt werden (Abbildung 37). Hieraus wird deutlich, dass es sich bei der Fallbewegung des Huhns (orange) um keine beschleunigte Bewegung handelt, da dieses einen gleichmäßigen Bewegungsverlauf aufweist, bei dem die Geschwindigkeit näherungsweise konstant ist. Dies ist im Vergleich zur Videoaufzeichnung des Experimentes auch nachvollziehbar, da das Huhn dem Fall durch das Flügelschlagen entgegenwirkt und somit streng genommen nicht vom Gebäude fällt (Anhang G13-G15).

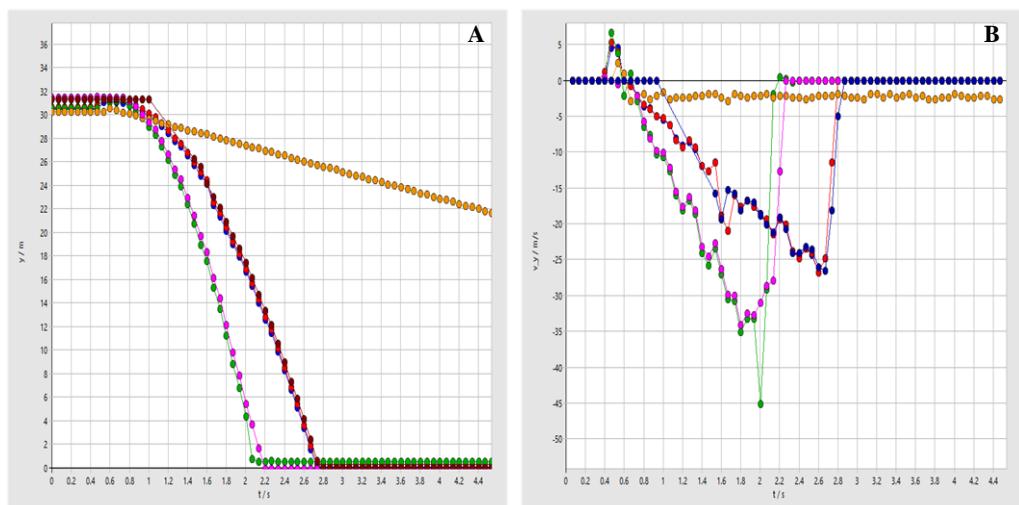


Abbildung 37: Darstellung des Ort-Zeit-Diagramms (A) sowie des daraus ermittelten Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms (B) für das Fallexperiment zur Bestimmung der Fallbeschleunigung im Computerspiel „Minecraft“. Bei diesem Fallexperiment wurden die Fallbewegungen der Blöcke „Sand“ (blau) und „Kies“ (rot), der Lebewesen „Schwein“ (grün), „Huhn“ (gelb) und „Dorfbewohner“ (violett) sowie des Gegenstandes „Amboss“ (braun) betrachtet.

Des Weiteren wird aus der Analyse deutlich, dass die Objekte teilweise unterschiedlichen Fallbeschleunigungen unterliegen. So kann auf Grundlage des Ort-Zeit- und Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms ermittelt werden, dass die Blöcke „Kies“ (rot), „Sand“ (blau) sowie der Gegenstand „Amboss“ (braun) einer Fallbeschleunigung von näherungsweise $12,72 \text{ ms}^{-2}$ ausgesetzt sind. Die Lebewesen „Schwein“ (grün) und „Dorfbewohner“ (violett) hingegen unterliegen dem Experiment nach einer vergrößerten Fallbeschleunigung von näherungsweise $28,82 \text{ ms}^{-2}$ (Abbildung 37). Die zuvor beschriebenen Werte für die Fallbeschleunigung können durch das Verfahren der linearen Regression aus den linearen Abschnitten des Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms ermittelt werden. Hierbei ist es jedoch insbesondere im schulischen Kontext notwendig, eine Fehlerdiskussion durchzuführen, da der lineare Verlauf dieser Messpunkte im Diagramm schwer ersichtlich ist. Ein Grund hierfür könnte beispielsweise die Erfassungsgenauigkeit der Videoanalysesoftware sein, da sowohl durch die automatische als auch durch die manuelle Analyse der Bereich des Objektes zur Positionsbestimmung nicht konstant gehalten werden kann.

Didaktische und methodische Überlegungen

Das Computerspiel „Minecraft“ bietet eine Vielzahl möglicher Ansätze zum Einsatz innerhalb des Physikunterrichts im Kontext der beiden kinematischen Größen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“. In diesem Zusammenhang könnten beispielsweise Experimente zur Bestimmung der Geschwindigkeit oder der Beschleunigung bei eindimensionalen Bewegungen durchgeführt werden, oder es könnte eine vektorielle Darstellung dieser beiden Größen im zweidimensionalen Raum erfolgen.

Im Hinblick auf den schulischen Physikunterricht bieten sich insbesondere Einsatzmöglichkeiten bezüglich des entdeckenden und forschenden Lernens an (Bell, 2010). So könnten die eindimensionalen Experimente zur Bestimmung der Fortbewegungsgeschwindigkeit eines Avatars beispielsweise unter der übergeordneten Fragestellung stehen, ob die dort ermittelten Geschwindigkeiten mit den Geschwindigkeiten der jeweiligen Fortbewegungsarten in der wirklichen Welt übereinstimmen. Hierbei wäre es auch denkbar, dass die Lernenden zusätzlich leicht durchführbare Experimente wie das Bestimmen der

Schrittgeschwindigkeit in der Wirklichkeit durchführen oder entsprechende Geschwindigkeitswerte recherchieren, sodass anhand dieser Ergebnisse eine Antwort auf die Fragestellung erarbeitet werden kann. Im Rahmen einer solchen Durchführung im Physikunterricht wäre es zudem möglich, die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler des Kompetenzbereichs „Bewertung“ zu fördern, da die Lernenden die Authentizität des Spiels anhand ihrer durch die Experimente gewonnenen Erkenntnisse bewerten können (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Des Weiteren kann das Experiment zur Bestimmung der Geschwindigkeit von Güterloren im Rahmen eines problemorientierten Physikunterrichts behandelt werden (Leisen, 2010). Hierbei könnten die Schülerinnen und Schüler durch die offene Fragestellung selbstständig Experimente entwickeln, durchführen und auswerten, um die effizienteste Fortbewegungsmöglichkeit mit Güterloren zu ermitteln. Denkbar wären in diesem Zusammenhang unterschiedlichste Vorgehensweisen wie die Nutzung von Videoanalyse, das manuelle Messen der benötigten Zeit für eine zuvor definierte Strecke oder auch nur ein Vergleich zwischen mehreren gleichzeitig gestarteten Güterloren. Durch die Nutzung der zuvor beschriebenen Thematik im Physikunterricht wäre es zudem möglich, die Kompetenzen der Lernenden bezüglich des Kompetenzbereiches „Nutzung fachlicher Konzepte“ zu fördern, da die Schülerinnen und Schüler die offene Fragestellung mit dem Konzept der Geschwindigkeit sowie dem methodischen Vorgehen zur Bestimmung der Geschwindigkeit verknüpfen müssten (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Der Einsatz der zuvor beschriebenen eindimensionalen Experimente im Physikunterricht könnte zudem zur Thematisierung der unterschiedlichen experimentellen und mathematischen Methoden zur Bestimmung der Geschwindigkeit genutzt werden. So kann beispielsweise anhand der manuellen Ermittlung der Geschwindigkeit und der Ermittlung durch Videoanalyse das Konzept der Durchschnitts- und der Momentangeschwindigkeit dargestellt werden. Außerdem könnte das Verfahren der linearen Regression zur Geschwindigkeitsbestimmung von gleichmäßigen Bewegungen veranschaulicht werden.

Beim Einsatz von eindimensionalen Experimenten zur Bestimmung der Geschwindigkeit eines Avatars oder einer Güterlore muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Schülerinnen und Schüler den vektoriellen Charakter der Geschwindigkeit nur schwierig nachvollziehen können und oftmals den richtungsfreien skalaren Geschwindigkeitsbetrag als die kinematische Größe „Geschwindigkeit“ miss verstehen (Wilhelm, 2018b). Aufgrund dessen ist es notwendig, neben der eindimensionalen Betrachtung der Geschwindigkeit auch eine zweidimensionale Anschauung der physikalischen Größe im Physikunterricht zu nutzen. Dies könnte auch mit Hilfe des Computerspiels „Minecraft“ erfolgen, indem beispielsweise innerhalb von Abbildungen oder Videoaufzeichnungen zweidimensionaler Bewegungen die unterschiedlichen Geschwindigkeitskomponenten als Vektorpfeile veranschaulicht werden würden. Diese rein qualitative Veranschaulichung hat zudem den Vorteil, dass der vektorielle Charakter der Geschwindigkeit auch in der Sekundarstufe I thematisiert werden könnte, obwohl vektorielle Größen noch nicht im Mathematikunterricht behandelt wurden (Hessisches Kultusministerium, 2010b). Des Weiteren besteht durch das Verfahren der Videoanalyse die Möglichkeit, die vektoriellen Komponenten der Geschwindigkeit mit Hilfe eines Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms auf einer quantitativen Ebene zu betrachten. So kann durch dieses Verfahren beispielsweise verdeutlicht werden, dass die Komponenten der Geschwindigkeit eines Körpers nicht voneinander abhängig sein müssen. Am Beispiel des waagerechten Wurfs könnte daher unter Vernachlässigung der Luftreibung angenommen werden, dass ein geworfener Gegenstand aufgrund der Erdanziehungskraft ausschließlich eine Änderung der Geschwindigkeit in y-Richtung erfährt.

Im Hinblick auf den Einsatz des Computerspiels „Minecraft“ bezüglich der physikalischen Größe „Beschleunigung“ lassen sich im Physikunterricht unterschiedlichste Aspekte thematisieren. Durch den Einsatz von Videoanalyse ist es ebenfalls möglich, den Schülerinnen und Schülern den vektoriellen Charakter der Beschleunigung in Form von graphisch ikonischen Darstellungen zu verdeutlichen. Weiterhin kann durch eine gesonderte Betrachtung der Komponenten der Beschleunigung bei zweidimensionalen Bewegungen der vektorielle Charakter im Unterricht direkt angesprochen werden.

Eine weitere Möglichkeit für den Einsatz der Thematik „Beschleunigung“ im Physikunterricht mit Hilfe von Minecraft stellt die Nutzung von spielinternen Fallexperimenten dar. Hierbei könnten die Lernenden auf Grundlage von Experimenten die Erdbeschleunigung in Minecraft ermitteln und diese mit der Wirklichkeit vergleichen. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Erdbeschleunigung im Computerspiel wesentlich größer als die tatsächliche Erdbeschleunigung ist und dass die Beschleunigung, die auf fallende Körper wirkt, sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Objektgruppe ändert. Diese Aspekte können im Physikunterricht aufgegriffen werden, indem gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern in Form von Gedankenexperimenten überlegt und diskutiert wird, welche Konsequenzen eine deutlich höhere Erdbeschleunigung auf das Leben und die Prozesse auf der Erde hätte. Außerdem könnte im Rahmen der Thematik angesprochen werden, ob es Sinn macht, dass die Objekte in Minecraft teilweise verschiedenen Beschleunigungen unterliegen, woraufhin die Luftreibung im Physikunterricht thematisiert werden kann.

In Bezug auf die methodische Umsetzung im Physikunterricht besteht, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, die Möglichkeit, dass die Experimente und die Auswertung der Videoanalyse selbstständig von den Lernenden durchgeführt werden. Dies ist insbesondere bei den problemorientierten und den entdeckenden Einsatzmöglichkeiten von Bedeutung, da den Schülerinnen und Schülern hierdurch größtmögliche Freiräume zur Entwicklung von Ideen zur Lösung des Problems gewährt werden (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Diese Freiräume gehen jedoch mit einem größeren Zeitaufwand einher, da die Lernenden sich vermutlich erst im Spiel orientieren müssen und die Aufnahme eines Videos Zeit benötigt. Des Weiteren ist es möglich, auf die selbstständige Aufzeichnung und Durchführung der Experimente zu verzichten, sodass die Lernenden die Videoanalyse auf Grundlage von bereits vorbereiteten Aufzeichnungen selbstständig durchführen würden. Hierbei wäre der zeitliche Aufwand im Vergleich zur vorherigen Möglichkeit deutlich geringer, wobei durch den niedrigeren spielerischen und kooperativen Anteil die Motivation und die soziale Kompetenz der Lernenden vermutlich weniger stark gefördert werden würde (Gee, 2013). Außerdem würde das Problemlösen und Entdecken nicht mehr im Vordergrund stehen, da die Lernenden mit den Daten arbeiten müssten, die

ihnen zur Verfügung gestellt werden. Schlussendlich wäre es ebenfalls möglich, die Auswertung der Experimente vor Beginn des Unterrichts durchzuführen, sodass das Ergebnis im Unterricht zu Anschauungszwecken verwendet werden kann. In diesem Zusammenhang würde die Förderung der fachlichen Kompetenzen im Vordergrund stehen, da durch diese Art des Einsatzes nur wenig Zeit für spielerische Aspekte benötigt wird (Gee, 2013).

4.3.7 Experimente zu Wurfbewegungen

Innerhalb des schulischen Physikunterrichts ist die Thematik „Wurfbewegungen“ sowohl für den Unterricht in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II von großer Bedeutung. Im Rahmen des Mechanik-Unterrichts können in der Sekundarstufe I beispielsweise zweidimensionale Wurfbewegungen mit Hilfe der kinematischen Größen „Ort“, „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ beschrieben werden (Hessisches Kultusministerium, 2010a). In der Sekundarstufe II hingegen ist die Thematisierung von Wurfbewegungen dem hessischen Lehrplan nach ausdrücklich vorgesehen, da im Mechanik-Unterricht in der Einführungsphase der waagerechte sowie der schräge Wurf behandelt werden sollen (Hessisches Kultusministerium, 2010c). Eine Thematisierung dieser unterschiedlichen Wurfbewegungen kann auch auf Grundlage von Minecraft und dem Messwertverfahren der Videoanalyse erfolgen.

Experimente zu Wurfbewegungen: Waagerechter Wurf

Die Betrachtung und Auswertung des waagerechten Wurfs kann in Minecraft auf unterschiedliche Weise erfolgen. Beispielsweise ist es möglich, den waagerechten Wurf mit Eiern, Schneebällen, Enderperlen oder Pfeilen zu simulieren,

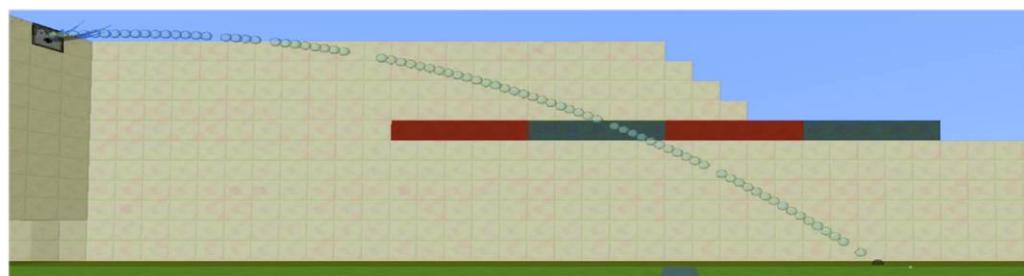


Abbildung 38: Stroboskopaufnahme der Flugbahn eines waagerechten Schneeballwurfs durch einen automatischen Werfer (Dispenser) im Computerspiel „Minecraft“ (Anhang WW_S1).

wobei der Wurf von einem Avatar oder einem automatischen Werfer (*Dispenser*) ausgehen kann (Abbildung 38).

Im Rahmen der durch diese Arbeit erfolgten Entwicklung von Wurfexperimenten hat sich der Einsatz von Eiern und Schneebällen (Anhang WW und SW) bewährt, da beim Wurf von Enderperlen und Pfeilen die automatische Analyse von *measure dynamics* durch die parallel dazu ablaufenden Flug-Animationen stark beeinträchtigt wird. Die Wurfobjekte „Eier“ und „Schneebälle“ weisen hingegen keine zusätzlichen Flug-Animationen auf, sodass die automatische Analyse ohne größere Schwierigkeiten erfolgen kann. Beim Wurf mit Eiern muss jedoch berücksichtigt werden, dass mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit das Auftreffen des Eies mit dem Schlüpfen eines Kügens verbunden ist, was die automatische Analyse am Ende des Wurfes beeinflussen kann.

Die Auswertung des waagerechten Wurfexperimentes ohne Reibung kann im Computerspiel „Minecraft“ mit Hilfe von Videoanalyse und den Newtonschen Bewegungsgleichungen (Formel 4-6) erfolgen. Aus der Betrachtung der Trajektorie des Schneeballs wird deutlich, dass beim waagerechten Wurf die Bewegung des Schneeballs sich aus einer gleichförmigen Bewegung in x-Richtung und einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in y-Richtung zusammensetzt (Abbildung 39) (Lüdde, o. D.).

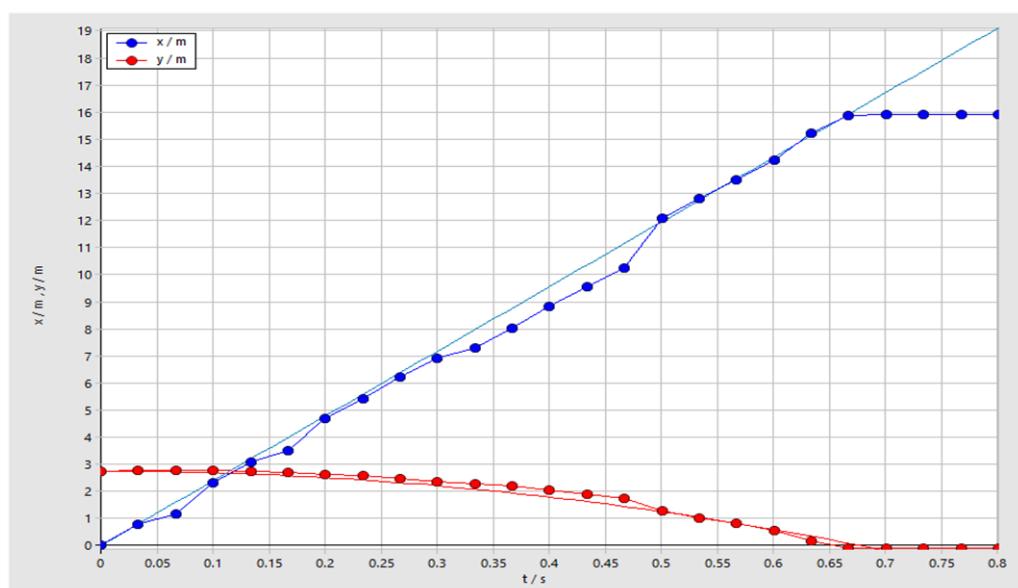


Abbildung 39: Darstellung des Ort-Zeit-Diagramms eines waagerechten Wurfexperimentes mit einem Schneeball im Computerspiel „Minecraft“ (Anhang WW_S2). Hierbei erfolgt eine gesonderte Darstellung der x-Komponente (blau) und der y-Komponente (rot) der Bewegung sowie eine modellhafte Beschreibung durch die zugehörigen Bewegungsgleichungen.

Mit Hilfe der durch das Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse ermittelten Ort-Zeit-Diagramme des Schneeballs und den durch die Integration der Newtonschen Bewegungsgleichungen bestimmten Ort-Zeit-Gesetzen der Bewegung (Formel 17 & 18) können die physikalischen Größen zur Beschreibung der Wurfbewegung des Schneeballs ermittelt werden.

$$x(t) = v_0 * t \quad (17)$$

$$y(t) = y_0 - \frac{1}{2} * a * t^2 \quad (18)$$

Bei der Bewegung des Schneeballs in x-Richtung handelt es sich um eine gleichförmige Bewegung, sodass von einem linearen Zusammenhang zwischen der Ortsänderung des Schneeballs und der Zeit ausgegangen werden kann (Formel 17) (Lüdde, o. D.). Die Geschwindigkeit, mit der sich der Schneeball entlang der x-Achse bewegt, ist daher näherungsweise konstant und kann durch das Verfahren der linearen Regression ermittelt werden. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, die Geschwindigkeit des Schneeballs in x-Richtung durch eine Mittelwertbildung der durch *measure dynamics* berechneten Geschwindigkeits-Werte in x-Richtung zu bestimmen. Die Bewegung des Schneeballs in y-Richtung kann durch eine geschickte Wahl des Bezugssystems auf den freien Fall zurückgeführt werden (Lüdde, o. D.). Hierbei handelt es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, da die Beschleunigung, die auf den Schneeball wirkt, konstant ist. Die Funktion, die die Geschwindigkeit des Schneeballs in y-Richtung in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt, weist somit einen linearen Verlauf auf. Die Beschleunigung, die auf den Schneeball entlang der y-Achse wirkt, kann daher durch das Verfahren der linearen Regression aus dem entsprechenden Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm ermittelt werden (Anhang WW_S2).

Für das waagerechte Wurfexperiment mit einem Schneeball ergibt sich aus den Messwerten der Videoanalyse eine Geschwindigkeit von annährend $23,87 \text{ ms}^{-1}$ in x-Richtung (v_0) und eine Beschleunigung in y-Richtung (a) von ungefähr $12,00 \text{ ms}^{-2}$ bei einer Wurfausgangshöhe des Schneeballs von $2,75 \text{ m}$ (y_0). Die Werte für die vektoriellen Komponenten der Beschleunigung und der Geschwindigkeit wurden in diesem Zusammenhang mit Hilfe des Verfahrens der

linearen Regression durch die Software *measure dynamics* bestimmt. Die Ausgangshöhe des Schneeballwurfs wurde aus der von *measure dynamics* erstellten Messwerttabelle entnommen. Auf Grundlage der zuvor bestimmten physikalischen Größen können die allgemeinen Ort-Zeit-Gesetze (Formel 17 & 18) bezüglich dieser Wurfbewegung spezifiziert (Formel 19 & 20) und graphisch aufgetragen werden (Abbildung 39). Hierbei ist es jedoch insbesondere im schulischen Kontext notwendig, eine Fehlerdiskussion durchzuführen, um den Lernenden zu verdeutlichen, dass die Messung einer jeden physikalischen Größe mit einem entsprechenden Messfehler einhergeht. Im Zusammenhang mit den zuvor bestimmten Größen könnten Messfehler beispielsweise durch eine nicht genau senkrechte Aufzeichnung des Videos zur Bewegungsebene oder bei der Identifikation des Objektes vorliegen (Sauer, 2013).

$$x(t) = v_0 * t = 23,87 \text{ ms}^{-1} * t \quad (19)$$

$$y(t) = y_0 - \frac{1}{2} * a * t^2 = 2,75 \text{ m} - \frac{1}{2} * 12,00 \text{ ms}^{-2} * t^2 \quad (20)$$

Im Hinblick auf die Ort-Zeit-Gesetze der Bewegung (Formel 19 & 20) kann es ebenfalls von Interesse sein, die Bahngleichung der Flugbahn des Schneeballs zu ermitteln. Diese stellt die x-Koordinaten des Schneeballs in Abhängigkeit von den y-Koordinaten des Schneeballs dar (Formel 21) (Demtröder, 2018). Aus den spezifischen Ort-Zeit-Gesetzen der Wurfbewegung des Schneeballs folgt dessen Bahngleichung, mit der schlussendlich die theoretisch berechneten Werte mit der tatsächlichen Flugbahn verglichen werden können (Formel 22).

$$y(x) = y_0 - \frac{1}{2} * \frac{x^2}{(v_{0x})^2} * a \quad (21)$$

$$y(x) = 2,75 \text{ m} - \frac{1}{2} * \frac{x^2}{(23,87 \text{ ms}^{-1})^2} * 12,00 \text{ ms}^{-2} \quad (22)$$

Aus dem Vergleich der idealen Bahnkurve und der experimentell ermittelten Flugbahn des waagerecht geworfenen Schneeballs wird deutlich, dass die theoretischen Werte nur in einem geringen Maß von den experimentellen Werten abweichen (Abbildung 40). Dies lässt darauf schließen, dass im Computerspiel „Minecraft“ eine ähnliche Physik bezüglich waagerechter Wurfprozesse vor-

herrscht und sich die Programmierung des Spiels somit in Teilen an der Lebenswelt des Menschen orientiert. Die geringen Abweichungen zwischen der Modellierung der experimentellen Flugbahn könnten durch Messfehler bei der Aufnahme erklärt werden.

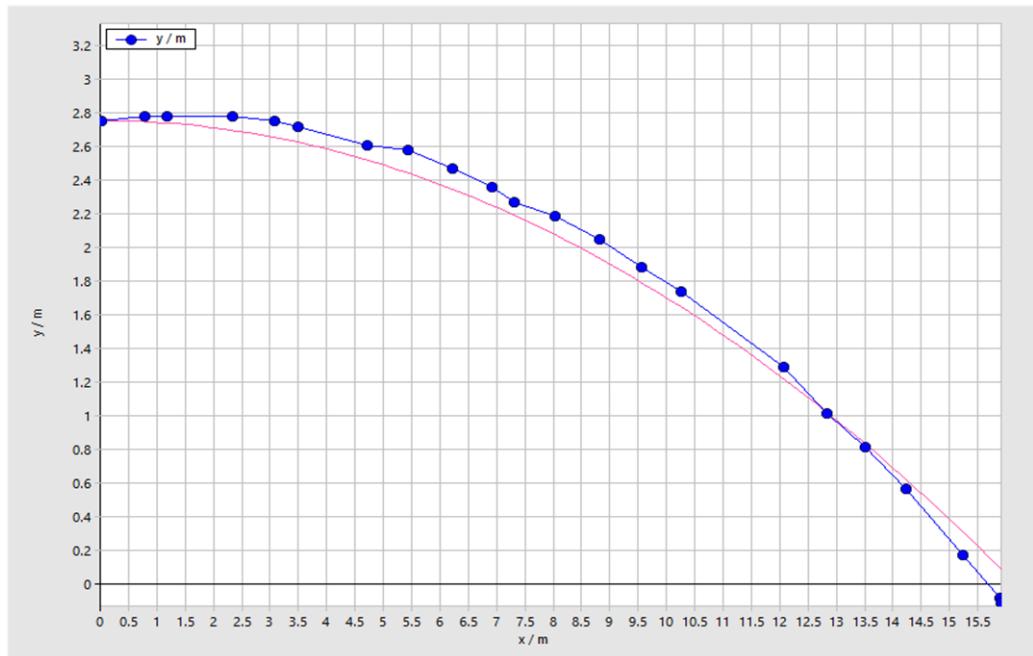


Abbildung 40: Darstellung des x-y-Diagramms eines Wurfexperimentes sowie der durch die experimentell ermittelten Werte modellierten Bahngleichung der Bewegung (rot) (Formel 22) (Anhang WW_S2).

Experimente zu Wurfbewegungen: Schräger Wurf

Eine Vielzahl von Wurfbewegungen aus dem Alltag lassen sich nicht durch die Theorie des waagerechten Wurfs beschreiben, da der Abwurf des Objektes teilweise unter einem spezifischen Abwurfwinkel erfolgt. Solche Wurfbewegungen lassen sich im Computerspiel „Minecraft“ jedoch anhand der Theorie des schrägen Wurfs simulieren und auswerten. Wurfexperimente, die sich mit der Simulation von schrägen Würfen befassen, unterscheiden sich in ihrem Aufbau und der Durchführung nur im geringen Maße von den Experimenten zum waagerechten Wurf (Abbildung 41). Hierbei muss jedoch berücksichtigt

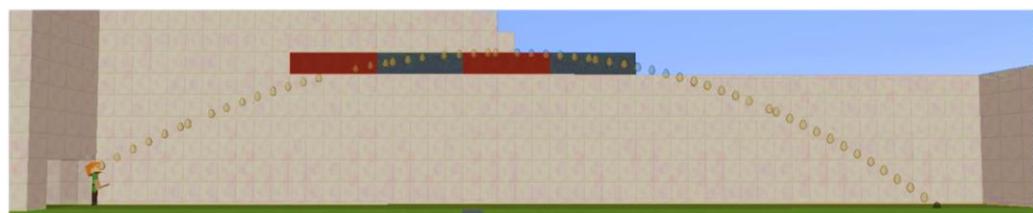


Abbildung 41: Stroboskopaufnahme der Wurfbewegung eines schrägen Wurfs durch einen Avatar im Computerspiel „Minecraft“ (Anhang SW_Ei).

werden, dass schräge Wurfexperimente ausschließlich von Avataren durchgeführt werden können, da diese den Abwurfwinkel durch die Positionierung des Sichtfeldes innerhalb des Spiels modifizieren können (Abbildung 41).

Die Auswertung eines idealen schrägen Wurfexperimentes kann auf Grundlage der Newtonschen Bewegungsgleichungen (Formel 4-6) und den experimentell bestimmmbaren Anfangsbedingungen der Wurfbewegung erfolgen (Demtröder, 2018). Aus der Betrachtung der Trajektorie des schräg geworfenen Schneeballs wird ersichtlich, dass sich die Wurfbewegung aus einer gleichförmigen Bewegung in x-Richtung und einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in y-Richtung zusammensetzt (Abbildung 42).

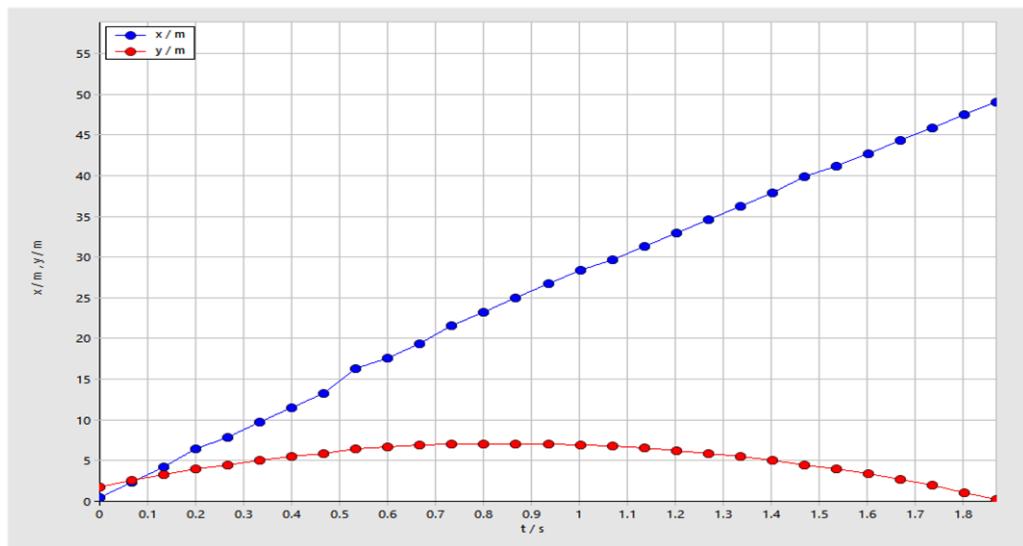


Abbildung 42: Darstellung des Ort-Zeit-Diagramms eines schrägen Wurfexperimentes mit einem Schneeball im Computerspiel „Minecraft“ (Anhang SW_Schneeball). Hierbei erfolgt eine gesonderte Darstellung der x-Komponente (blau) und der y-Komponente (rot) der Bewegung.

Zudem weisen die Koordinaten des Schneeballs in x- und y-Richtung noch zusätzlich eine Abhängigkeit vom Abwurfwinkel des Schneeballs auf, woraus sich schlussendlich die allgemeinen Formulierungen der Ort-Zeit-Gesetze für Wurfbewegungen ergeben (Formel 23 & 24) (Demtröder, 2018; Lüdde, o. D.).

$$x(t) = v_0 * \cos(\alpha) * t \quad (23)$$

$$y(t) = y_0 + (v_0 * \sin(\alpha) * t) - \frac{1}{2} * a * t^2 \quad (24)$$

Bei näherer Betrachtung der allgemeinen Ort-Zeit-Gesetze für Wurfbewegungen wird weiterhin deutlich, dass die Formulierung der Gesetze für den waage-

rechten Wurf eines Objektes (Formel 19 & 20) einen Spezialfall darstellt, da diese aus den allgemeinen Formulierungen unter Berücksichtigung eines Abwurfwinkels von 0° hervorgehen (Demtröder, 2018).

Die Ermittlung des Abwurfwinkels eines im Computerspiel geworfenen Objektes kann mit Hilfe der Software *measure dynamics* erfolgen. Hierzu muss im Rahmen der Untersuchung der Wurfbewegung der Menüpunkt „Messwerkzeug“ geöffnet werden, woraufhin ein Winkel-Messwerkzeug zur Messung des Abwurfwinkels ausgewählt werden kann. Die Winkelmessung für den schrägen Wurfs eines Schneeballs in Minecraft ergibt einen Abwurfwinkel von $11,00^\circ$ (Anhang SW_Schneeball) (Abbildung 43).

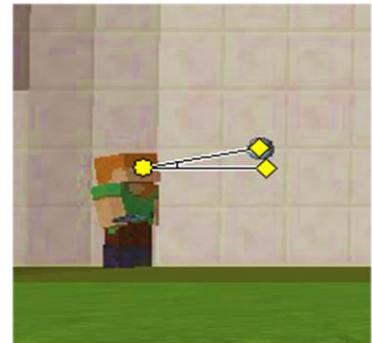


Abbildung 43: Messung des Abwurfwinkels in *measure dynamics*.

Auf Grundlage der durch das Verfahren der Videoanalyse gewonnenen experimentellen Messwerte können die kinematischen Größen zur Beschreibung der Flugbahn des schräg geworfenen Schneeballs ermittelt werden. In diesem Zusammenhang sollte wie auch bei der Auswertung des waagerechten Wurfs eine gesonderte Betrachtung der Bewegungen in den unterschiedlichen Dimensionen erfolgen. Es besteht die Möglichkeit, die Geschwindigkeit, mit der sich der Schneeball entlang der x-Achse bewegt, durch das Verfahren der linearen Regression zu ermitteln, da es sich um eine gleichförmige Bewegung handelt (Demtröder, 2018). Die Beschleunigung, die auf den geworfenen Schneeball entlang der y-Achse wirkt, kann aus dem entsprechenden Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm ebenfalls über das Verfahren der linearen Regression ermittelt werden, da es sich bei dieser Bewegung um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt (Demtröder, 2018) (Anhang SW_Schneeball).

Für das schräge Wurfexperiment mit einem Schneeball ergibt sich aus den Messwerten der Videoanalyse eine Geschwindigkeit von annährend $29,47 \text{ ms}^{-1}$ in x-Richtung (v_0) und eine Beschleunigung in y-Richtung (a) von ungefähr $13,90 \text{ ms}^{-2}$ bei einem Abwurfwinkel von $11,00^\circ$ und einer Wurfausgangshöhe des Schneeballs von $1,85 \text{ m}$ (y_0). Die Werte für die vektoriellen Komponenten

der Beschleunigung und der Geschwindigkeit wurden in diesem Zusammenhang mit Hilfe des Verfahrens der linearen Regression durch die Software *measure dynamics* bestimmt. Die Ausgangshöhe des Schneeballwurfes wurde aus der von *measure dynamics* erstellten Messwerttabelle entnommen.

Aus der Kombination der allgemeinen Ort-Zeit-Gesetze (Formel 23 & 24) und den experimentell ermittelten physikalischen Größen können die spezifischen Ort-Zeit-Gesetze für die Wurfbewegung formuliert werden (Formel 25 & 26). Mit diesen kann beispielsweise die Wurfweite des Schneeballs oder die Zeit, bis der Schneeball den Boden berührt, berechnet werden (Pohl, 2017).

$$x(t) = 29,47 \text{ ms}^{-1} * \cos(11,00) * t \quad (25)$$

$$y(t) = 1,85 + (29,47 * \sin(11,00) * t) - \frac{1}{2} * 13,90 * t^2 \quad (26)$$

Des Weiteren kann mit Hilfe der beiden spezifischen Ort-Zeit-Gesetze die Bahngleichung (Formel 27) des geworfenen Schneeballs ermittelt werden. Diese beschreibt die x-Koordinaten des geworfenen Schneeballs in Abhängigkeit von der y-Koordinate (Formel 28) (Demtröder, 2018).

$$y(x) = y_0 + \tan(\alpha) * x - \frac{1}{2} * \frac{x^2}{(v_{0x})^2 * \cos(\alpha)^2} * a \quad (27)$$

$$y(x) = 1,85 \text{ m} + \tan(11,00) * x - \frac{1}{2} * \frac{13,90}{(29,47)^2 * \cos(11)^2} * x^2 \quad (28)$$

In diesem Zusammenhang besteht die Möglichkeit, die experimentell ermittelte Flugbahn des Schneeballs mit dessen spezifischer Bahngleichung (Formel 28) zu vergleichen (Abbildung 44). Aus dem graphischen Vergleich der Bahnkurve des idealen schrägen Wurfs und der experimentell ermittelten Flugbahn wird deutlich, dass die theoretischen Werte nur in einem sehr geringen Maß von den experimentellen Werten abweichen (Abbildung 44). Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass in Minecraft eine der Lebenswelt der Menschen ähnliche Physik bezüglich der unterschiedlichen Wurfprozesse vorherrscht. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass bei der Programmierung des Spiels der physikalische Hintergrund im Bezug zu Wurfprozessen vollständig ins Spiel übernommen wurde. Die geringen Abweichungen zwischen dem theoretischen Modell und den experimentellen Ergebnissen können durch Messfehler bei der Be-

stimmung des Abwurfwinkels sowie Fehler bei der Aufnahme und Analyse des Videos erklärt werden.

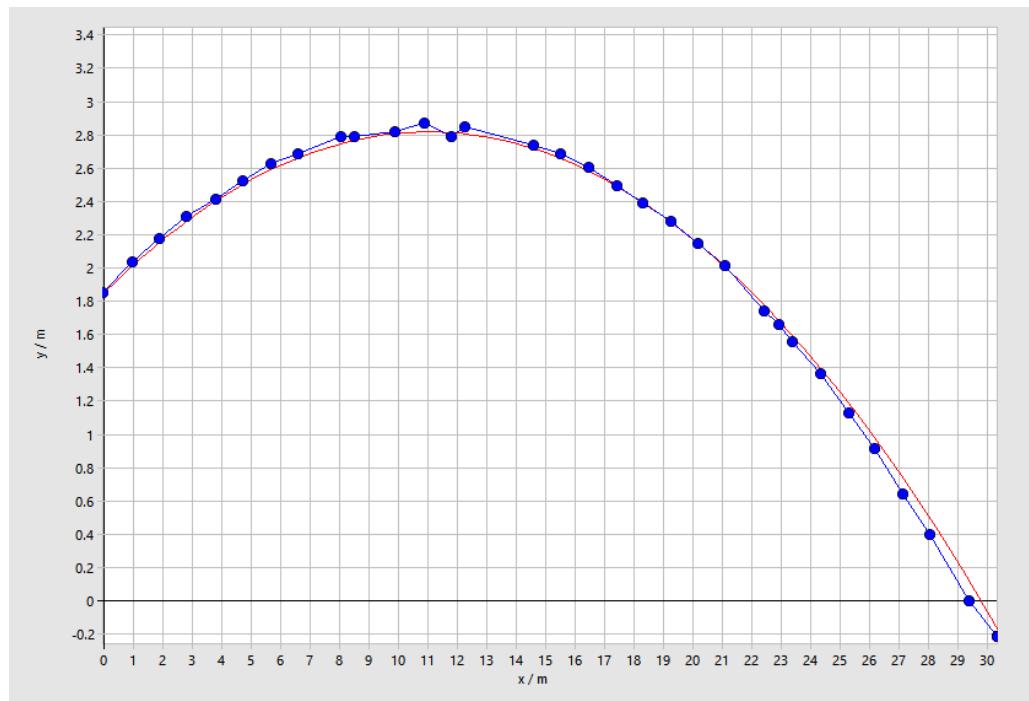


Abbildung 44: Darstellung des x-y-Diagramms eines schrägen Wurfexperiments im Computerspiel „Minecraft“ sowie der durch die experimentell ermittelten Werte modellierten Bahngleichung der Bewegung (rot) (Formel 28) (Anhang SW_Schneeball).

Didaktische und methodische Überlegungen

Das Computerspiel „Minecraft“ bietet unterschiedlichste Möglichkeiten, die Thematik „Wurfprozesse“ im schulischen Physikunterricht zu behandeln. Beispielsweise könnten Wurfprozesse im Rahmen der Sekundarstufe I aus qualitativer Sichtweise besprochen werden, während in der Sekundarstufe II die quantitative Beschreibung von Wurfbewegungen thematisiert werden kann.

In der Sekundarstufe I sollten die zuvor beschriebenen Experimente zum waagerechten und schrägen Wurf vorwiegend zur qualitativen Beschreibung von Wurfbewegungen eingesetzt werden, da die Schülerinnen und Schüler noch nicht über das notwendige Vorwissen bezüglich der mathematischen und physikalischen Beschreibung und Verwendung von funktionellen Abhängigkeiten verfügen (Hessisches Kultusministerium, 2010a/b). In diesem Zusammenhang wäre es daher denkbar, dass die Schülerinnen und Schüler selbstständig die zweidimensionale Wurfbewegung im Spiel aufzeichnen und durch die Videoanalysesoftware auswerten. Im Rahmen der Analyse dieser zweidimensionalen

Bewegung könnten die Lernenden ein grundlegendes Verständnis bezüglich des vektoriellen Charakters der kinematischen Größen entwickeln, da durch die Software *measure dynamics* eine gesonderte Betrachtung der einzelnen vektoriellen Komponenten der physikalischen Größen erfolgen kann. Zudem kann der vektorielle Charakter der kinematischen Größen den Schülerinnen und Schülern durch die dynamisch ikonische Darstellung dieser Größen auf den entsprechenden Stroboskopbildern oder Videoaufnahmen zusätzlich verdeutlicht werden (Wilhelm, 2008).

Ein weiterer Aspekt, der auf Grundlage der zuvor beschriebenen Wurfexperimente in der Sekundarstufe I thematisiert werden könnte, sind die unterschiedlichen Bewegungsarten, die bei einer Wurfbewegung auftreten. Anhand des Ort-Zeit-Diagramms der Bewegung in x-Richtung lässt sich beispielsweise eine gleichförmige Bewegung und anhand des Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms in y-Richtung eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung erkennen. In diesem Zusammenhang wäre es denkbar, dass die Lernenden die Ort-Zeit-, Geschwindigkeit-Zeit und Beschleunigung-Zeit-Diagramme der zweidimensionalen Wurfbewegung selbstständig ermitteln und daraufhin diese Diagramme beschreiben, interpretieren und miteinander vergleichen. Durch einen solchen Einsatz von Diagrammen im Physikunterricht besteht zudem die Möglichkeit, dass die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler im Umgang mit Diagrammen und somit hinsichtlich der „Verwendung der Fach- und Symbolsprache“ gefördert werden (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten der Wurfexperimente im Physikunterricht können in der Sekundarstufe II zusätzlich zu der qualitativen Beschreibung der Wurfbewegung auch quantitative Aspekte angesprochen werden. Dies ist möglich, da die Lernenden zu diesem Zeitpunkt über das mathematische und physikalische Vorwissen bezüglich des Umgangs mit funktionellen Abhängigkeiten verfügen sollten (Hessisches Kultusministerium, 2010a/b). So wäre es im Mechanik-Unterricht in der Einführungsphase beispielsweise denkbar, die Experimente zum waagerechten und schrägen Wurf anhand der Beispiele in Minecraft zu behandeln. In diesem Zusammenhang könnte auch eine physikalische Herleitung der funktionellen Ort-Zeit-Gesetze für Wurfbewe-

gungen erfolgen, sodass die Schülerinnen und Schüler anhand dieser Funktionen physikalisch bedeutsame Werte wie die Wurfweite oder die zeitliche Dauer des Wurfs mathematisch ermitteln können.

Des Weiteren können die unterschiedlichen Wurfexperimente auch zur Veranschaulichung von physikalischen Modellierungsprozessen dienen, die von großer Bedeutung für die Fachwissenschaft „Physik“ und die Technik sind. Im Physikunterricht kann dies insbesondere durch einen Vergleich der Bahnkurve des geworfenen Schneeballs mit dessen theoretischer Bahnkurve erfolgen. Durch die großen Übereinstimmungen zwischen den experimentell ermittelten Werten und der auf theoretischer Grundlage modellierten Bahngleichung lässt sich den Schülerinnen und Schülern vermitteln, dass die Physik der Newtonschen Mechanik durch physikalische Ausdrücke und Konzepte wie die Ort-Zeit-Gesetze und die Bahngleichung des geworfenen Schneeballs ebenfalls Anwendung im Computerspiel „Minecraft“ findet. Da es sich hierbei um ein virtuelles Spiel handelt, kann den Lernenden die Relevanz von solchen Modellierungsprozessen verdeutlicht werden, da auf Grundlage einer solchen Bahngleichung beispielsweise die physikalischen Prozesse von der Realität auf die virtuelle Welt übertragen werden können (Girwidz, 2009c). In diesem Zusammenhang wäre es zudem denkbar, dass die Schülerinnen und Schüler eine Bewertung bezüglich der in Minecraft genutzten Modellierung von Wurfprozessen vornehmen und ihre Wahl entsprechend begründen, da die beobachtbaren Wurfprozesse gut durch die physikalische Theorie beschrieben und modelliert werden können.

In Bezug zur methodischen Umsetzung im Physikunterricht besteht, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, die Möglichkeit, die Experimente selbstständig von den Lernenden durchführen und auswerten zu lassen. Im Rahmen einer solchen Durchführung wäre der spielerische Anteil bei der Thematisierung von Wurfbewegungen innerhalb des Physikunterrichts verhältnismäßig hoch, was sich positiv auf die Motivation der Schülerinnen und Schüler auswirken könnte (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Im Hinblick auf die Zeit, die für einen solchen Einsatz benötigt wird, ist davon auszugehen, dass diese Einsatzmöglichkeit mit einem großen zeitlichen Aufwand verbunden ist. Hierbei muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass es insbesondere durch den Einsatz des

Computerspiels „Minecraft“ organisatorisch einfacher ist, ein Wurfexperiment für die Videoanalyse aufzuzeichnen und dass eine Durchführung als Realexperiment mit den Lernenden auf dem Schulhof vermutlich ebenso zeitaufwendig wäre. Alternativ könnte auch auf die Aufzeichnung der Experimente durch die Lernenden verzichtet werden, sodass die Auswertung der Experimente entweder durch die Schülerinnen und Schüler im Unterricht oder durch die Lehrkraft bei der Unterrichtsvorbereitung erfolgt. In diesem Zusammenhang steht die Förderung der fachlichen Kompetenzen im Vordergrund, da der Einsatz der Wurfexperimente aus Minecraft somit primär zu Anschauungszwecken dient (Gee, 2013; Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010).

4.3.8 Experimente zu den Themen „Impuls“ und „Energie“

Der Themenbereich der Mechanik umfasst neben der Beschreibung von Bewegungen auch die Betrachtung der Bewegungszustände von Körpern. In diesem Zusammenhang sind die physikalischen Größen des Impulses und der Energie von großer Bedeutung für die Fachwissenschaft „Physik“, da mit Hilfe dieser Größen beispielsweise Aussagen über das Verhalten von Körpern bei Wechselwirkungen getroffen werden können (Demtröder, 2018). Die Bedeutung der physikalischen Größen „Energie“ und „Impuls“ für den Physikunterricht wird auch durch das hessische Kerncurriculum begründet, in dem diese durch die Basiskonzepte „Wechselwirkungen“ und „Energie“ repräsentiert werden (Hessisches Kultusministerium, 2011). Im Laufe der Jahre wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Experimente bezüglich der Thematiken „Impuls“ und „Energie“ für den Physikunterricht entwickelt, sodass einige dieser Experimente auch auf den Einsatz des Computerspiels „Minecraft“ übertragen werden können.

Experimente zu den Themen „Impuls“ und „Energie“: Impuls

Im Rahmen des schulischen Physikunterrichts wird der Begriff des Impulses oftmals zur Beschreibung und Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Körpern genutzt. Während in der Sekundarstufe I vorwiegend eine qualitative Betrachtung der Wechselwirkungen durch das Newtonsche Wechselwirkungsprinzip und den Kraftbegriff erfolgt, wird in der Sekundarstufe II der Impuls zur quantitativen Beschreibung und Untersuchung von Wechselwirkungen

zwischen Körpern genutzt (Hessisches Kultusministerium, 2010a/c). Auch das Computerspiel „Minecraft“ bietet unterschiedlichste Möglichkeiten, die Wechselwirkungen zwischen Körpern im Rahmen des Physikunterrichts zu thematisieren. Denkbar ist es, Stoßexperimente zwischen Güterloren durchzuführen, um die Änderung des Impulses beim Stoß der Loren zu untersuchen und physikalische Gesetzmäßigkeiten wie die Impulserhaltung im Hinblick auf Minecraft zu überprüfen (Anhang EI_Stoß).

Bei der Gestaltung und der Durchführung von eindimensionalen Stoßexperimenten mit Güterloren (Abbildung 45) muss gewährleistet werden, dass mindestens eine der Güterloren vor Beginn des Stoßexperimentes durch einen Kraftstoß beschleunigt wird, sodass sich diese daraufhin mit einer konstanten Geschwindigkeit auf die andere Lore zubewegt. Ein solcher Kraftstoß kann entweder direkt durch den Einsatz einer Beschleunigungsschiene (Anhang EI_Stoß) oder indirekt durch den Einsatz einer schießen Ebene (Anhang EI_SchiefeEbene) erreicht werden.

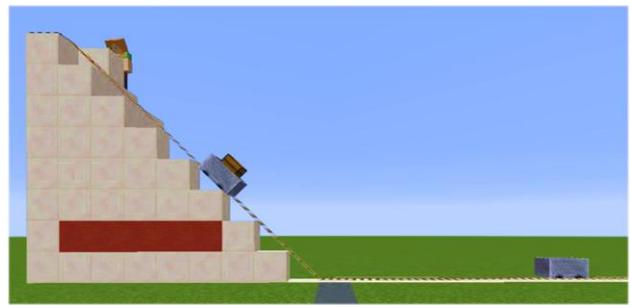


Abbildung 45: Darstellung eines einfachen Stoßexperimentes unter Ausnutzung einer schrägen Ebene (Anhang EI_Stoß).

Des Weiteren muss im Hinblick auf die Nutzung von Güterloren bei Stoßexperimenten zwischen den verschiedenen Arten von Güterloren unterschieden werden (Abbildung 46). In Minecraft ist es möglich, eine leere Güterlore, eine mit einer Truhe oder einem Ofen gefüllte Güterlore oder eine mit einem Avatar besetzte Güterlore für ein Stoßexperiment auszuwählen (Abbildung 46). Im Rahmen der Entwicklung der Experimente wurde jedoch deutlich, dass sich



Abbildung 46: Überblick über im Computerspiel „Minecraft“ verfügbare Güterloren, die für Stoßexperimente genutzt werden können.

nur mit Gegenständen oder Avataren besetzte Güterloren für solche Stoßexperimente eignen, da eine leere Güterlore auf einer geraden Strecke sehr schnell abgebremst wird (Anhang EI_SchiefeEbene). Außerdem weisen unbesetzte Güterloren aus experimenteller Sichtweise den Nachteil auf, dass Stoßexperimente, die unter denselben Versuchsbedingungen gestartet wurden, teilweise unterschiedliche Ergebnisse liefern (Abbildung 47). Es wurde beispielsweise ein einfaches eindimensionales Stoßexperiment zwischen einer besetzten und einer unbesetzten Güterlore in zweimaliger Ausführung durchgeführt, wobei die experimentellen Ergebnisse, die in Abbildung 47 dargestellt sind, stark voneinander abweichen (EI_SchiefeEbeneStoß). Stoßexperimente zwischen zwei gleichartig besetzten Güterloren weisen hingegen eine deutlich größere Zuverlässigkeit hinsichtlich der experimentell ermittelbaren Ergebnisse auf (Anhang EI_Stoß).

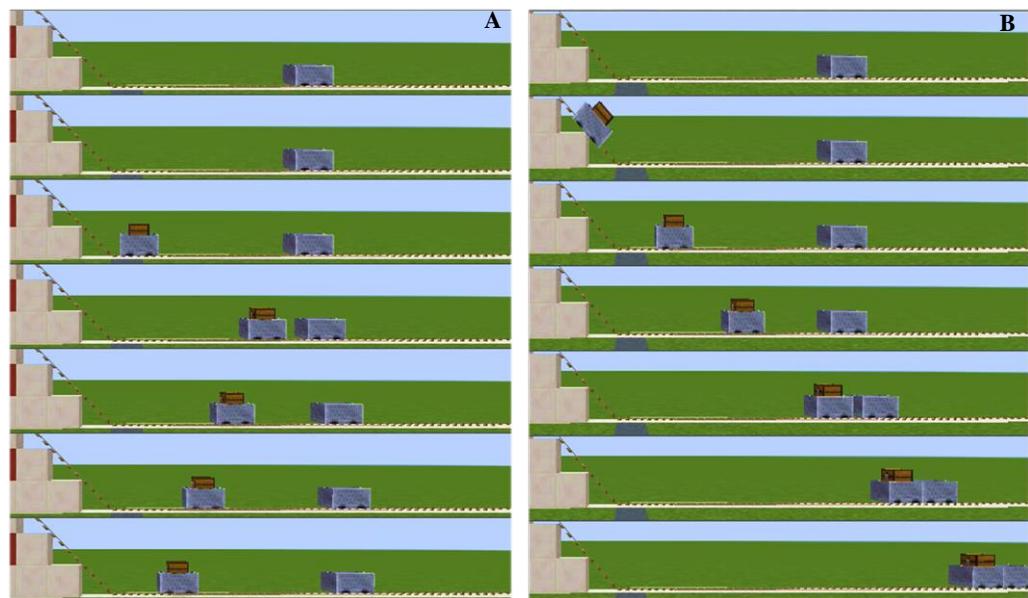


Abbildung 47: Serienbildaufnahmen von Stoßexperimenten zwischen einer besetzten und einer unbesetzten Güterlore bei zweimaliger Ausführung unter denselben Versuchsbedingungen. Bei der ersten Ausführung (A) wird die besetzte Güterlore beim Zusammenstoß entgegen ihrer Bewegungsrichtung zurückgestoßen, während sich bei der zweiten Ausführung (B) die beiden Loren gemeinsam entlang der ursprünglichen Bewegungsrichtung weiterbewegen (Anhang EI_SchiefeEbeneStoß).

Im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ ist es möglich, einfache Stoßexperimente mit Güterloren im Physikunterricht durchzuführen (Abbildung 48A). In diesem Zusammenhang kann eine Auswertung des Experiments auch mit Hilfe von Videoanalyse erfolgen, sodass beispielsweise die Geschwindigkeit oder der Impuls der Güterloren in Form eines Geschwindigkeit-Zeit- oder Impuls-Zeit-Diagramms visualisiert werden kann

(Abbildung 48B). Aus der Serienbildaufnahme des Experimentes wird weiterhin deutlich, dass Lore 2 (rot) sich nach dem Stoß in die ursprüngliche Bewegungsrichtung von Lore 1 (blau) bewegt, während Lore 1 sich nach dem Stoß entgegen ihrer ursprünglichen Richtung bewegt. Dies wird auch aus dem zugehörigen Impuls-Zeit-Diagramm ersichtlich, da der Impuls von Lore 1 nach dem Zusammenstoß negativ wird, was innerhalb einer eindimensionalen Betrachtung einer Richtungsänderung der Lore entspricht.

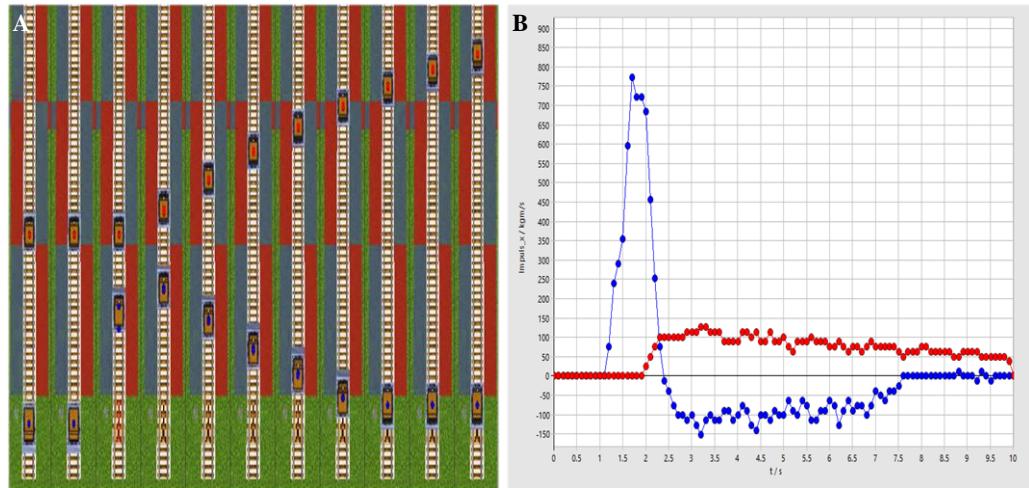


Abbildung 48: Serienbildaufnahme eines Stoßexperimentes zweier gleichartig befüllter Güterloren (A) sowie das in *measure dynamics* ermittelte Impuls-Zeit-Diagramm (B) (Anhang EI_Stoß2).

Im Hinblick auf dieses Experiment wäre es somit von Interesse, die experimentellen Ergebnisse mit der physikalischen Theorie zu vergleichen. Hierdurch könnte beispielsweise überprüft werden, ob das Konzept der Impulserhaltung auch in Minecraft Anwendung findet (Formel 29).

$$m_1 * v_1 + m_2 * v_2 = m_1 * v_{1'} + m_2 * v_{2'}, \quad (29)$$

Anhand der experimentellen Beobachtungen kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem Stoß zweier Güterloren um einen elastischen Stoß handelt. Dies wird daran deutlich, dass die beiden Loren sich nach dem Stoß nicht mit einer gemeinsamen Geschwindigkeit fortbewegen und auch aus Sicht der spielinternen Animation keine Deformationserscheinungen erkennbar sind. Unter Berücksichtigung des physikalischen Konzepts der Impulserhaltung sowie unter der Annahme, dass die beiden Güterloren die gleiche Masse aufweisen, müsste der physikalischen Theorie nach Lore 1 sich nach dem Zusammenstoß in Ruhe befinden, während Lore 2 sich mit der anfänglichen Geschwindigkeit von Lore 1 fortbewegen würde (Demtröder, 2018). Diese theoretischen Über-

legungen stimmen jedoch nicht mit den experimentellen Ergebnissen überein, da sich beide Loren in die entgegengesetzten Richtungen bewegen. Das beobachtete Verhalten spricht viel eher dafür, dass die ruhende Güterlore beim Stoß eine größere Masse als die bewegte Lore aufweist, wobei diese nach dem Stoß einen geringeren Geschwindigkeitsbetrag als die leichtere Lore aufweisen sollte, um das Konzept der Impulserhaltung zu erfüllen (Demtröder, 2018). Dies ist anhand des Experimentes ebenfalls nicht zu beobachten, da die beiden Loren nach dem Zusammenstoß sich annährend mit dem gleichen Geschwindigkeitsbetrag fortbewegen. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei weiteren Stoßexperimenten (Anhang EI_Stoß) und im freien Spiel erhalten, sodass davon auszugehen ist, dass Stoßprozesse mit Güterloren in Minecraft nicht dem Konzept der Impulserhaltung unterliegen.

Im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten von Stoßexperimenten aus Minecraft wird deutlich, dass diese im Physikunterricht nicht zur Erarbeitung des Konzepts der Impulserhaltung und der unterschiedlichen Stoßprozesse genutzt werden können, da das Spiel nicht die physikalische Realität widerspiegelt. Nachdem die Schülerinnen und Schüler diese physikalischen Konzepte jedoch verinnerlicht haben, wäre es denkbar, dass die Lernenden im Physikunterricht solche Experimente in Bezug auf die physikalische Theorie überprüfen und bewerten.

Experimente zu den Themen „Impuls“ und „Energie“: Energie

Die Thematik „Energie“ stellt ein für die Fachwissenschaft „Physik“ grundlegendes Konzept dar, das im schulischen Physikunterricht sowohl im Bereich der klassischen Mechanik als auch in anderen Teilgebieten wie der Atomphysik oder der Elektrodynamik thematisiert wird (Hessisches Kultusministerium, 2010a/c). Im schulischen Kontext erfolgt daher oftmals eine Betrachtung von alltäglichen Prozessen, bei denen Energie unter Berücksichtigung der Energieerhaltung in verschiedene Energieformen umgewandelt wird (Schwarze, 2018). So wird beispielsweise im Mechanik-Unterricht häufig die Aufgabenstellung besprochen, welche Energieformen ein Skateboarder in den Phasen seiner Bewegung in einem Skatepark aufweist. Auch das Computerspiel „Minecraft“

bietet unterschiedliche Möglichkeiten, Bewegungsprozesse hinsichtlich der Umwandlung mechanischer Energieformen zu untersuchen.

Eine Möglichkeit, um auf die Umwandlung unterschiedlicher mechanischer Energieformen im Computerspiel Minecraft einzugehen, wäre die Untersuchung von trampolinähnlichen Sprüngen durch das Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse (Abbildung 49) (Anhang EI_Sprung1-4).

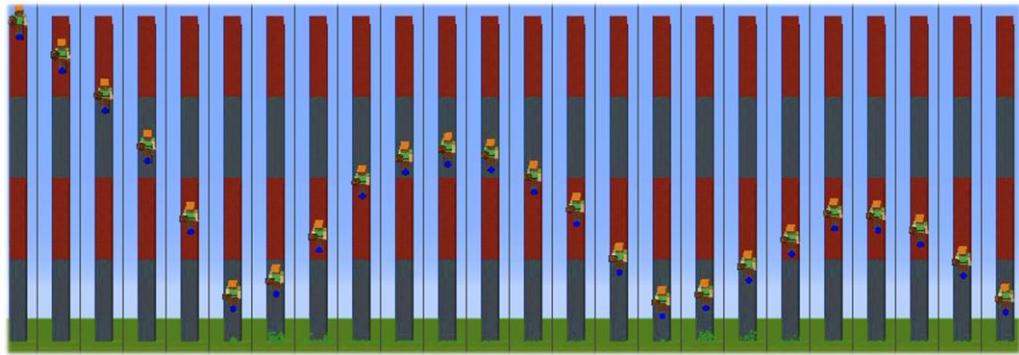


Abbildung 49: Serienbildaufnahme eines Ausschnitts aus einem Sprungexperiment (Anhang EI_Sprung1).

Die Durchführung eines Sprungexperimentes in Minecraft bedarf nur wenig Vorbereitung, da der Avatar lediglich von einem hohen Punkt aus auf einen am Boden positionierten Schleimblock springen muss. Da die Auswertung des Experimentes mit Hilfe von *measure dynamics* erfolgt, wäre es zudem hilfreich, den Avatar von einer Säule aus Blöcken springen zu lassen, welche auch gleichzeitig die Funktion des Maßstabes erfüllt (Abbildung 49).

Auf Grundlage der Auswertung der Videoanalysesoftware ist es möglich, die Höhe des gesprungenen Avatars in Abhängigkeit von der vergangenen Zeit darzustellen (Abbildung 50). Hierbei wird deutlich, dass die vom Avatar erreichte Höhe beim Sprung in Abhängigkeit von der Anzahl der Sprünge abnimmt.

In diesem Zusammenhang kann aus dem Diagramm und der Serienbildaufnahme zudem ermittelt werden, dass der Avatar insbesondere bei den ersten Sprüngen des Sprungexperimentes den Boden nicht direkt berührt, da sich die

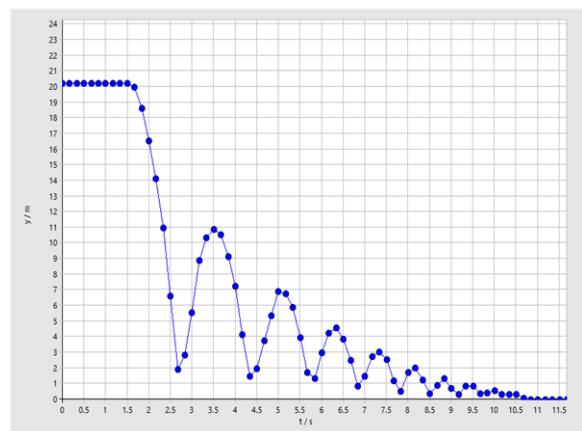


Abbildung 50: Darstellung der Höhe des Avatars während des Sprungexperimentes in Abhängigkeit von der Zeit (Anhang EI_Sprung1).

vom Avatar erreichte minimale Höhe bei jedem Sprungprozess verringert und dieser am Ende des Prozesses die Höhe des Bodens erreicht (Abbildung 50).

Im Hinblick auf die energetische Betrachtung des Sprungexperimentes wäre es mit Hilfe der durch Videoanalyse ermittelten Messwerte möglich, die unterschiedlichen mechanischen Energieformen sowie die mechanische Gesamtenergie für den eindimensionalen Sprungprozess in Form eines Diagramms zu veranschaulichen (Abbildung 51).

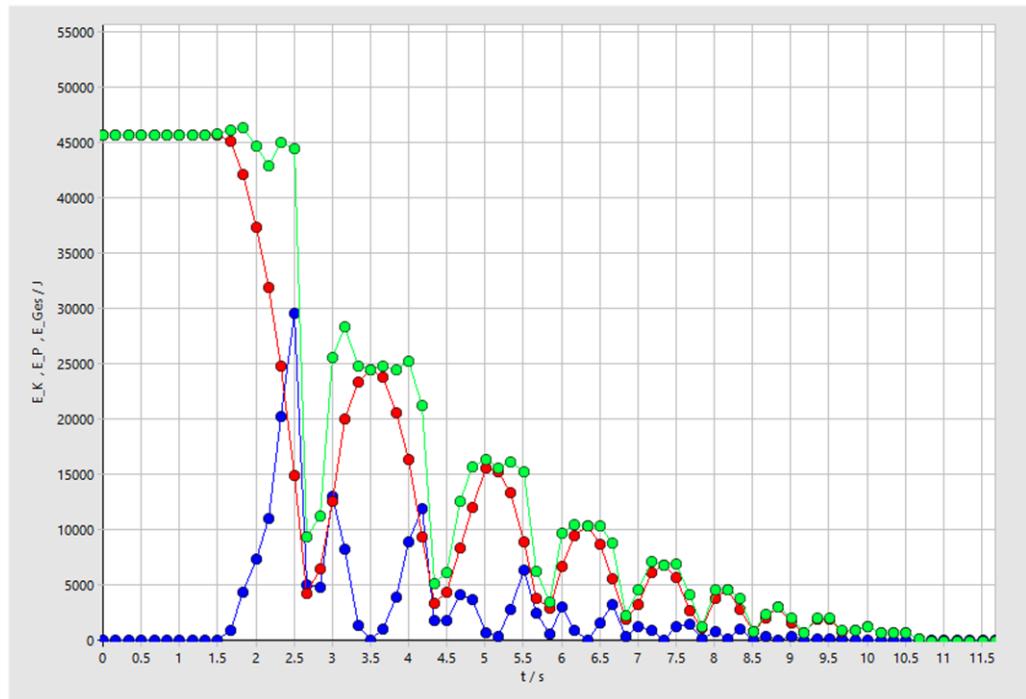


Abbildung 51: Darstellung der potentiellen Energie (rot), der kinetischen Energie (blau) sowie der mechanischen Gesamtenergie (grün) während des Sprungexperimentes (Anhang EI_Sprung1).

Für die Berechnung der kinetischen und potentiellen Energie wurde hierbei angenommen, dass der Avatar eine Masse von 80 kg aufweist. Die Erdbeschleunigung von $28,28 \text{ ms}^{-2}$, die auf den Avatar entlang der y-Achse wirkt, wurde durch das Verfahren der linearen Regression aus den linearen Abschnitten des Geschwindigkeit-Zeit-Diagramms bestimmt. Die potentielle Energie des Avatars ergibt sich somit aus dem Produkt aus dessen Masse, der Erdbeschleunigung sowie der vom Avatar erreichten Höhe (y) (Formel 30).

$$E_{Pot}(y) = 80 \text{ kg} * 28,28 \text{ ms}^{-2} * y \quad (30)$$

Die kinetische Energie des Avatars hingegen ist abhängig von dessen Masse sowie der momentanen Geschwindigkeit (v_y), die der Avatar während des Falls oder des Sprungs entlang der y-Achse aufweist (Formel 31).

$$E_{Kin}(v_y) = \frac{1}{2} * 80 \text{ kg} * (v_y)^2 \quad (31)$$

Da sich die mechanische Gesamtenergie aus der Summe der kinetischen und der potentiellen Energie zusammensetzt, folgt für die Berechnung der mechanischen Gesamtenergie des Avatars während des Sprungexperimentes Formel 32.

$$E_{Ges} = E_{Pot}(y) + E_{Kin}(v_y) \quad (32)$$

Aus der für das Sprungexperiment spezifischen Auftragung der unterschiedlichen Energieformen können verschiedene physikalische Aspekte thematisiert werden. So wäre es beispielsweise möglich, ausschließlich die Umwandlung der potentiellen Energie in die kinetische Energie und umgekehrt zu betrachten. Hierbei wird bei einer gesonderten Betrachtung der einzelnen Sprünge deutlich, dass am höchsten Punkt der potentiellen Energie die kinetische Energie des Avatars minimal ist, was auch im Einklang mit der physikalischen Theorie steht (Abbildung 51) (Demtröder, 2018). Umgekehrt sollte auch am Punkt mit der niedrigsten potentiellen Energie die kinetische Energie des Avatars am höchsten sein. Dieser Aspekt wird aus dem Diagramm nicht direkt ersichtlich, wobei kurz vor dem Minimum der potentiellen Energie die kinetische Energie ihr Maximum aufweist und im Anschluss daran annähernd 0 wird (Abbildung 51). Aufgrund dessen könnte davon ausgegangen werden, dass es sich um einen Messfehler durch die Videoanalysesoftware handelt, da diese vermutlich keine Bewegung des Avatars zu diesem Zeitpunkt detektiert hat, was mit einer geringen kinetischen Energie verbunden wäre.

Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen des Physikunterrichts thematisiert werden kann, stellt das Konzept der Energieerhaltung dar. Aus dem Graphen für die mechanische Gesamtenergie (grün) wird deutlich, dass diese für jeden einzelnen Sprung annähernd konstant ist (Abbildung 51). Das Konzept der Erhaltung der mechanischen Energie ist somit für jeden der einzelnen Sprünge erfüllt. Im Vergleich der einzelnen Sprünge wird jedoch ersichtlich, dass mit jedem

Sprung die mechanische Gesamtenergie innerhalb des Experimentes abnimmt. In diesem Zusammenhang könnte daher davon ausgegangen werden, dass mechanische Energie beim Auftreffen des Avatars auf dem Schleimblock in eine andere Energieform wie Wärmeenergie umgewandelt wird. Aus dieser Umwandlung würde schlussendlich die verringerte experimentell ermittelte mechanische Gesamtenergie resultieren.

Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Sprungexperimente wird deutlich, dass die mechanische Gesamtenergie des Avatars bei dessen Aufprall um einen bestimmten Betrag reduziert wird (Anhang EI_Sprung 1-4) (Abbildung 51). Aus der Auftragung der mechanischen Gesamtenergie zum Zeitpunkt, an dem der Avatar jeweils die maximale Höhe erreicht, kann zudem gefolgert werden, dass die Abnahme der mechanischen Gesamtenergie beim Aufprall keinem linearen Verlauf folgt (Abbildung 52). Vielmehr entspricht die Abnahme der Gesamtenergie einer exponentiellen Abnahme, was mithilfe der Approximation durch die Software *OriginPro 2019* ermittelt werden konnte (Abbildung 52).

Aus einer vergleichenden Betrachtung der unterschiedlichen Sprungexperimente wurde weiterhin deutlich, dass sich der derzeitige Wert der mechanischen Gesamtenergie unabhängig vom Sprungexperiment jede Sekunde um den Faktor $0,756 \pm 0,005$ reduziert (Formel 33). Liegt die mechanische Gesamtenergie bei einem Sprung beispielsweise bei einem Wert von 23,8 kJ, sollte die mechanische Gesamtenergie nach 1,34 Sekunden einen Wert von ungefähr 16,3 kJ annehmen (Vgl. Abbildung 51) (Anhang EI_Sprung1).

$$E_{Ges}(t) = E_0 * 0,756^t \quad (33)$$

Diese theoretischen Berechnungen stimmen mit den experimentellen Ergebnissen der Sprungexperimente überein, sodass davon ausgegangen werden kann, dass durch eine solche Modellierung im Computerspiel „Minecraft“ die Umwandlung von mechanischer Energie in andere Energieformen wie Wärmeenergie simuliert werden soll. Hierdurch soll der Spielerin oder dem Spieler vermutlich ein realitätsnäheres Spielerlebnis geboten werden, da andernfalls die eindimensionale Sprungbewegung des Avatars auf dem Schleimblock nicht enden würde.

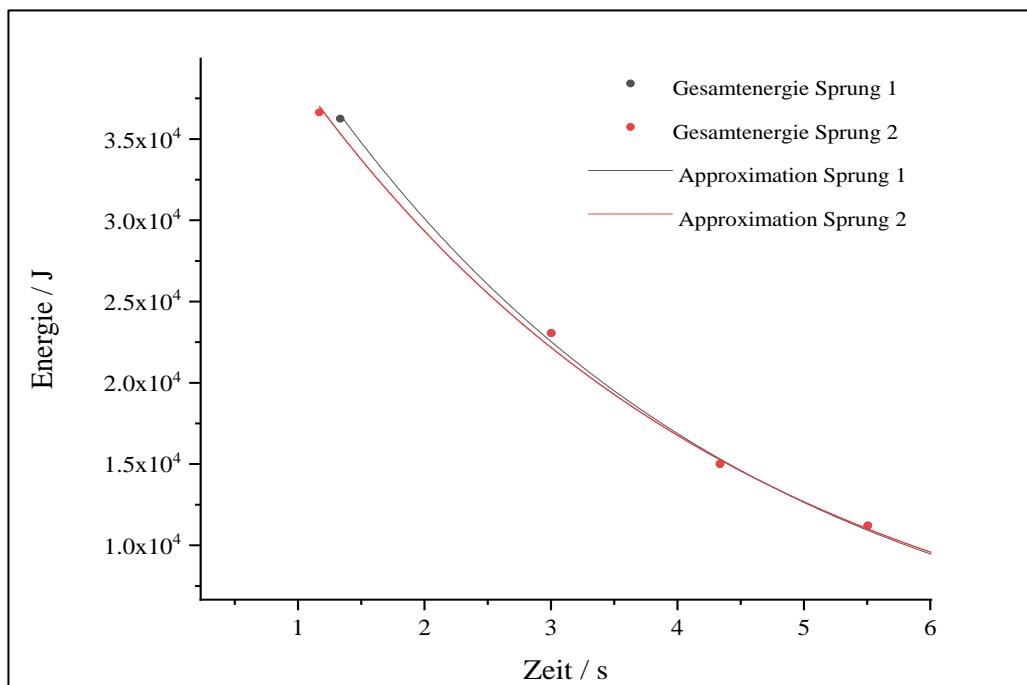


Abbildung 52: Darstellung der experimentell ermittelten Werte der mechanischen Gesamtenergie zweier Sprungexperimente sowie des daraus approximierten zeitlichen Verlaufes der Gesamtenergie bei diesen Sprungexperimenten. Die Punkte für die beiden Sprungexperimente liegen in Teilen an der gleichen Position, sodass diese in der Grafik nicht gut sichtbar sind (Anhang EI_Sprung1-2).

Im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten von Sprungexperimenten aus dem Computerspiel „Minecraft“ wird deutlich, dass diese im Physikunterricht zur Veranschaulichung der Umwandlung mechanischer Energieformen sowie zur Vertiefung des Konzepts der Energieerhaltung genutzt werden können. Weiterhin wäre es denkbar, dass die Schülerinnen und Schüler diese Experimente in Bezug auf die physikalische Theorie überprüfen und die angewandte Modellierung bewerten.

Didaktische und methodische Überlegungen

Minecraft bietet verschiedenste Möglichkeiten, die Thematiken „Impuls“ und „Energie“ im Mechanik-Unterricht zu behandeln. So ist es beispielsweise möglich, Stoßexperimente zwischen Güterloren oder Sprungexperimente von Avataren im Rahmen des Physikunterrichts zu untersuchen.

Der Einsatz von Stoßexperimenten zwischen Güterloren kann im Physikunterricht der Sekundarstufe II zur Veranschaulichung der physikalischen Größe des Impulses sowie zur kritischen Hinterfragung von Prozessen bezüglich des

Konzepts der Impulserhaltung genutzt werden. In diesem Zusammenhang ist es denkbar, dass die Schülerinnen und Schüler selbstständig eindimensionale Stoßexperimente zwischen Güterloren aufzeichnen und diese daraufhin durch Videoanalyse auswerten. Anschließend könnten die Lernenden die Impuls-Zeit-Diagramme für diesen Stoßprozess erstellen und auf Grundlage der ihnen bekannten theoretischen Konzepte das Experiment auf seine Wirklichkeitstreue hin untersuchen und bewerten. Außerdem ist es möglich, dass die Lernenden ihr Wissen auf das Experiment übertragen und somit beispielsweise anhand von Diagrammen veranschaulichen, wie das richtige Impuls-Zeit-Diagramm unter Berücksichtigung des Konzeptes der Impulserhaltung aussehen würde.

Im Rahmen einer solchen Untersuchung von Stoßprozessen im Computerspiel „Minecraft“ besteht die Möglichkeit, die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler in den Kompetenzbereichen „Bewertung“ sowie „Nutzung fachlicher Konzepte“ zu fördern, da die Lernenden einerseits das Konzept der Impulserhaltung auf das Experiment übertragen und andererseits die Modellierung im Computerspiel auf ihre Wirklichkeitstreue hin beurteilen müssen (Hessisches Kultusministerium, 2011). Hierbei ist es jedoch notwendig, dass die Schülerinnen und Schüler das Konzept der Impulserhaltung verinnerlicht haben und auch die verschiedenen elastischen und inelastischen Stoßexperimente beherrschen, da die Lernenden andernfalls Fehlvorstellungen bezüglich des Impulses und der Impulserhaltung entwickeln könnten (Girwidz, 2009a). Der Einsatz der beschriebenen Experimente eignet sich somit vorwiegend für eine weiterführende Behandlung der Thematik „Impuls“ im schulischen Physikunterricht.

Der Einsatz von Sprungexperimenten in Minecraft könnte im Physikunterricht sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II erfolgen. Während in der Sekundarstufe I vorwiegend eine qualitative Beschreibung der Umwandlungen der verschiedenen mechanischen Energieformen durch die Videoaufzeichnung oder Diagramme thematisiert werden kann, ist es denkbar, in der Sekundarstufe II eine quantitative Betrachtung hinsichtlich der mechanischen Energieformen und dem Konzept der Energieerhaltung durchzuführen. In diesem Zusammenhang wäre es möglich, dass die Schülerinnen und Schüler selbstständig ein Sprungexperiment aufnehmen und durch Videoanalyse aus-

werten. Hierbei könnten die Lernenden mit Hilfe der Software *measure dynamics* die unterschiedlichen mechanischen Energieformen sowie die mechanische Gesamtenergie berechnen und in Form eines Diagramms auftragen. Anschließend könnten die Schülerinnen und Schüler diese Ergebnisse auf die Wirklichkeit beziehen und beispielsweise kritisch hinterfragen, warum die mechanische Gesamtenergie sich während der einzelnen Sprünge verringert. Diesbezüglich könnte auch die Modellierung durch die exponentielle Funktion durch die Lehrkraft veranschaulicht werden, wobei eine Ermittlung dieser Funktion durch die Lernenden vermutlich nur auf Grundlage von mathematischen und methodischen Hilfestellungen möglich wäre.

Ein solcher Einsatz von Sprungexperimenten im Physikunterricht könnte die Kompetenzen der Lernenden hinsichtlich der Kompetenzbereiche „Nutzung fachlicher Konzepte“ und „Bewertung“ fördern, da diese ihr Wissen bezüglich der unterschiedlichen mechanischen Energieformen anwenden und übertragen müssten. Des Weiteren müssen die Schülerinnen und Schüler das Konzept der Energieerhaltung auf das Experiment beziehen und die Modellierung im Computerspiel auf ihre Wirklichkeitstreue hin beurteilen (Hessisches Kultusministerium, 2011). Auch im Bezug zur Thematik „Energie“ ist es notwendig, dass die Lernenden bereits vor dem Einsatz der Experimente im Unterricht die unterschiedlichen mechanischen Energieformen kennen und das Konzept der Energieerhaltung verinnerlicht haben, da die Betrachtung innerhalb des Computerspiels in Teilen nicht der Realität entspricht und bereits komplexere Prozesse widerspiegelt. Der Einsatz der beschriebenen Experimente eignet sich somit vorwiegend für eine weiterführende Behandlung der Thematik „Energie“ im schulischen Physikunterricht.

In Bezug zur methodischen Umsetzung im Physikunterricht besteht, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, die Möglichkeit, die Experimente selbstständig von den Lernenden durchführen und auswerten zu lassen oder die Durchführung des Experiment vor der Unterrichtsstunde aufzuzeichnen. Im Rahmen einer Durchführung durch die Schülerinnen und Schüler wären der spielerische Anteil bei der Verwendung der Stoß- und der Sprungexperimente innerhalb des Unterrichts verhältnismäßig hoch, was sich positiv auf die Motivation der Ler-

nenden auswirken könnte (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Da ein solcher Einsatz jedoch mit einem großen zeitlichen Aufwand verbunden ist und der Schwerpunkt dieser Experimente auf deren Auswertung und nicht auf deren Entwicklung liegt, wäre es auch denkbar, die Lernenden bereits vorbereitete Aufzeichnungen mit *measure dynamics* auswerten und interpretieren zu lassen. In diesem Zusammenhang würde die Förderung der fachlichen Kompetenzen im Vordergrund stehen, während der Anteil an spielerischen Aspekten stark reduziert wäre (Gee, 2013; Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010).

4.4 Diskussion der Einsatzmöglichkeiten

Grundsätzlich soll die Nutzung des Computerspiel „Minecrafts“ innerhalb des Physikunterrichts den Schülerinnen und Schülern einen spielerischen Zugang zu physikalischen Inhalten und Konzepten ermöglichen. Hierbei soll die Motivation des Spielens auf den schulischen Hintergrund übertragen werden, um die fachlichen und überfachlichen Kompetenzen der Lernenden zu fördern (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). So besteht beim Einsatz des Computerspiels „Minecraft“ beispielsweise die Möglichkeit, dass die sozialen und fachlichen Kompetenzen der Schülerinnen und Schülern bei der gemeinsamen Entwicklung eines Experimentes zur Thematik „Geschwindigkeit“ gefördert werden (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Bei der Nutzung von Computerspielen im Unterricht muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine Übertragung der beim Spielen auftretenden Motivation nur möglich ist, wenn die Lernenden das Spielen des Computerspiels selbst auch als motivierend empfinden. Schülerinnen und Schüler, die keinen Bezug zu Computerspielen aufweisen oder denen die Beschäftigung mit diesen wenig Freude bereitet, würden somit vermutlich nicht zusätzlich durch spielerische Aspekte motiviert werden (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Diese Überlegungen wurden bei der Auswahl des Computerspiels „Minecraft“ berücksichtigt, da es sich hierbei um ein Computerspiel handelt, das sowohl bei den Schülerinnen als auch bei den Schülern einen hohen Bekanntheits- und Beliebtheitsgrad aufweist (Beavis, Muspratt & Thompson, 2014). Des Weiteren wurde bei der Entwicklung der verschiedenen Einsatzmöglichkeiten darauf

geachtet, dass auch problemorientierte und forschende Perspektiven in die einzelnen Vorschläge integriert werden, da diese ebenfalls förderlich für die Motivation der Lernenden sein können (Bell, 2010; Leisen, 2010). Schülerinnen und Schüler, die nicht durch den spielerischen Einsatz des Computerspiels motiviert werden würden, könnten daher durch den Einsatz solcher entdeckender Aspekte im Physikunterricht angeregt werden.

Neben den motivationalen Aspekten, die das Computerspiel „Minecraft“ mit sich bringt, ermöglicht das grundlegende Spielkonzept den Schülerinnen und Schülern sowie der Lehrkraft große Freiräume bezüglich der Gestaltung von Unterrichtssequenzen (Ducan, 2011). Beispielsweise können durch die einfache Blockstruktur innerhalb einer wirklichkeitsnahen virtuellen Spielwelt Experimente entworfen werden, mit denen die physikalischen Inhalte und Theorien erarbeitet werden können. Des Weiteren ist es möglich, die virtuelle Welt mit der realen Welt zu vergleichen, wodurch die Lernenden die innerhalb des Spiels vorgenommenen Modellierungen physikalischer Prozesse untersuchen und bewerten können (Nebel, Schneider & Rey, 2015). Die offene Strukturierung der Spielwelt bringt jedoch auch den Nachteil mit sich, dass die Schülerinnen und Schüler durch andere Komponenten des Spiels vom eigentlichen Lernziel der Unterrichtsstunde abgelenkt werden könnten und somit die fachlichen Inhalte beim Einsatz im Physikunterricht in den Hintergrund treten. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass eine Lehrkraft, die dieses Medium im Physikunterricht nutzen möchte, den Einsatz des Computerspiels mit klaren Regeln für die jeweilige Unterrichtssequenz verbindet.

Die in den zuvor beschriebenen Themengebiete formulierten Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ beziehen sich in großen Teilen auf die Kombination mit dem digitalen Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse. Dies hat den Vorteil, dass eine quantitative Untersuchung von Bewegungen innerhalb des Computerspiels vorgenommen werden kann (Nordmeier, Schummel & Schwarzhans, 2016). Hierdurch können virtuelle Experimente in der Spielwelt durchgeführt werden, die im Anschluss auch quantitativ mit realen Experimenten oder der physikalischen Theorie verglichen werden können (Wilhelm, 2008). Die Nutzung von Videoanalysesoftware bietet außerdem den

Vorteil, dass Änderungen von für den Bereich der Mechanik grundlegenden Größen wie der Geschwindigkeit in Form von Vektorpfeilen oder in Form von Diagrammen visualisiert werden können, was zu einer Förderung des vektoriellen Verständnisses der Lernenden bezüglich dieser physikalischen Größen führen kann (Benz & Wilhelm, 2008). Des Weiteren ist es denkbar, dass durch die Kombination der Aufnahme von Experimenten aus dem Computerspiel und dem Verfahren der Videoanalyse die fachlichen Inhalte stärker in den Vordergrund rücken, da die Lernenden während des Spieleinsatzes das primäre Ziel hätten, eine Videoaufnahme des Experimentes vorzunehmen und dieses mit Hilfe von Videoanalyse auszuwerten. Darüber hinaus ergeben sich auch neue methodische Möglichkeiten wie der Einsatz von bereits im Vorfeld vorbereiteten Aufnahmen, wodurch es nicht mehr zwingend notwendig ist, das Spiel selbst zur Untersuchung der Bewegungsprozesse zu nutzen.

Die im Rahmen dieser Ausarbeitung beschriebenen Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ erfordern in Teilen eine umfassende Nutzung des Neuen Mediums „Computer“ innerhalb des Physikunterrichts und somit eine hohe Medienkompetenz auf Seiten der Lehrkraft. Dies sollte in Bezug zur Durchführung im Physikunterricht jedoch keine Schwierigkeiten darstellen, da in der von Wenzel und Wilhelm (2015a) durchgeführten Studie bereits 59 Prozent der befragten Physik-Lehrkräfte einen Computer mindestens einmal pro Woche im Physikunterricht für Anwendungen wie digitale Messwerterfassungen, Modellbildungsprogramme oder Simulationsexperimente nutzten. Neben der Medienkompetenz auf Seiten der Lehrkraft ist es zudem notwendig, dass die Schule über eine passende technische Ausstattung verfügt. So muss für den spielerischen Einsatz des Computerspiels insbesondere im Mehrspielermodus eine ausreichende Anzahl an vernetzten Computern zur Verfügung stehen. Dies wäre der Studie von Wenzel und Wilhelm (2015a) nach aktuell nur innerhalb eigens dafür eingerichteter Computerräume oder Laptopklassen möglich, wobei sich die technische Ausstattung der Schulen im Rahmen der fortschreitenden Digitalisierung und dem kürzlich beschlossenen Digitalpakt langfristig gesehen verbessern sollte (Hischer, 2018).

Der Einsatz des Computerspiels „Minecraft“ in Kombination mit der Analyse der dort aufgezeichneten Bewegungen ist je nach methodischer Umsetzung mit einem hohen zeitlichen Aufwand in der Vorbereitung sowie im Unterricht verbunden (Nordmeier, Schummel & Schwarzhans, 2016). Hierbei muss bedacht werden, dass durch die Nutzung des Computers in Kombination mit klassischen Medien wie Arbeitsblättern das multimediale Lernen der Schülerinnen und Schüler gefördert werden kann, da sich diese durch die verschiedenen Darstellungsformen vertiefend mit der physikalischen Thematik befassen (Mayer, 2002). So werden den Lernenden beispielsweise bei der Aufnahme und Auswertung eines Experimentes die Messwerte in tabellarischer Form, in Form eines Diagramms sowie in graphischer Form visualisiert. Hierdurch müssen sie die unterschiedlichen Darstellungsformen auf den jeweiligen physikalischen Hintergrund übertragen (Benz & Wilhelm, 2008). In diesem Zusammenhang ist es jedoch notwendig, dass die Lehrkraft bei der Unterrichtsvorbereitung abwägt, ob im Unterricht vermehrt spielerische oder fachliche Aspekte durch den Einsatz des Computerspiels behandelt werden sollen, woraus sich schlussendlich auch der methodische Einsatz des Mediums „Computer“ und „Computerspiel“ im Physikunterricht ableitet (Schaumburg & Prasse, 2019).

Aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ sowie der Möglichkeit, auch komplexe physikalische Prozesse zu untersuchen und zu visualisieren, eignet sich der Einsatz des Computerspiels insbesondere für den klassischen Mechanik-Unterricht. Weiterhin wäre es denkbar, das Computerspiel auch für Projekte, Wahlpflichtunterricht oder fächerübergreifenden Unterricht zu nutzen, um den Schülerinnen und Schülern eine intensive Auseinandersetzung mit den physikalischen Thematiken zu ermöglichen. Zum Beispiel kann parallel zum Einsatz von physikalischen Experimenten zur Beschreibung von Bewegungen auch die Architektur oder die Ökologie der Spielwelt im Rahmen des Kunst-, Erdkunde- oder Biologieunterrichts behandelt werden (Nebel, Schneider & Rey, 2015).

5 Fazit

Aus den Beschreibungen der unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ bezüglich des physikalischen Teilgebiets der klassischen Mechanik wird deutlich, dass das Computerspiel auf vielfältige Weise im schulischen Physikunterricht eingesetzt werden kann. Im Rahmen der Sekundarstufe I können Bewegungen beispielsweise spielerisch oder mit Hilfe von Diagrammen beschrieben sowie Experimente zur Geschwindigkeit und Beschleunigung entwickelt und durchgeführt werden. In der Sekundarstufe II können zudem komplexe Prozesse wie Wurfbewegungen, Sprung- oder Stoßexperimente untersucht sowie hinsichtlich der im Computerspiel genutzten physikalischen Modellierung überprüft und bewertet werden.

Der Einsatz des Computerspiels „Minecraft“ im Rahmen des schulischen Mechanik-Unterrichts bietet die Möglichkeit, die Schülerinnen und Schüler hinsichtlich des Physikunterrichts zu motivieren und multimediales Lernen zu fördern (Mayer, 2002; Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010). Insbesondere durch die Kombination mit dem Messwerterfassungsverfahren der Videoanalyse können komplexe physikalische Größen und Konzepte in vielfältiger Darstellungsweise veranschaulicht werden, um den Lernenden eine vertiefte Auseinandersetzung mit der jeweiligen physikalischen Thematik zu ermöglichen (Benz & Wilhelm, 2008). Des Weiteren können durch den Einsatz ausgewählter Experimente die fachlichen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der Kompetenzbereiche „Bewertung“ und „Nutzung fachlicher Konzepte“ gefördert werden, da die Lernenden physikalische Theorien auf die virtuelle Spielwelt übertragen müssen und diese im Hinblick auf die von den Entwicklern gewählte Modellierung bewerten können (Hessisches Kultusministerium, 2011). In Bezug zu den überfachlichen Kompetenzen kann das Computerspiel „Minecraft“ genutzt werden, um die soziale Kompetenz der Schülerinnen und Schüler zu fördern, da diese im Mehrspielermodus gemeinsam Experimente entwickeln und durchführen können (Gee, 2013).

Die Verwendung des Computerspiels „Minecraft“ innerhalb des schulischen Physikunterrichts setzt jedoch voraus, dass die Schule über eine geeignete Aus-

stattung und die Lehrkraft über ausreichende Medienkompetenzen verfügt. Außerdem besteht insbesondere beim spielerischen Einsatz des Computerspiels die Gefahr, dass die fachlichen Inhalte in den Hintergrund rücken, während das Spiel an sich in den Vordergrund tritt (Nebel, Schneider & Rey, 2015). Aufgrund dessen ist es notwendig, beim Einsatz des Computerspiels Arbeitsaufträge zu formulieren sowie vorab Regeln mit den Schülerinnen und Schülern zu vereinbaren (Mikelskis-Seifert & Behrendt, 2010).

Schlussendlich wird deutlich, dass der Einsatz des Computerspiels „Minecraft“ im Rahmen des schulischen Physikunterrichts großes Potential bietet, physikalische Thematiken aus dem Bereich der Mechanik aus einer spielerischen Perspektive zu beleuchten. Außerdem können physikalische Inhalte in unterschiedlichsten Darstellungsformen veranschaulicht werden, was zur Förderung der fachlichen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler führen kann. Der Einsatz des Computerspiels geht jedoch auch mit dem Risiko einher, dass das Setting des Spiels die zu thematisierenden physikalischen Inhalte verdrängt.

In Bezug zur Weiterarbeit wäre es denkbar, dass die innerhalb dieser Arbeit beschriebenen Einsatzmöglichkeiten auch praktisch im schulischen Unterricht oder in Form eines Schülerlabors durchgeführt und evaluiert werden. Außerdem könnten weitere Konzepte hinsichtlich des Einsatzes bezüglich anderer physikalischer Teilgebiete entwickelt und erprobt werden. So wäre es beispielsweise möglich, Planspiele wie das im Rahmen von Physik im Kontext entwickelte Projekt „Ein Energieprojekt am Beispiel Newto(w)n“ im Computerspiel „Minecraft“ durchzuführen (Duit & Mikelskis-Seifert, 2012).

6 Literaturverzeichnis

Auer, V. (2015). Spielen im Physikunterricht. *Delta Phi B, Salzburg 2015*.

Verfügbar unter:

[http://www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2015/Auer\(2015\)Spiele_im_Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf](http://www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2015/Auer(2015)Spiele_im_Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf) [31.03.2019].

Beavis, C., Muspratt, S. & Thompson, R. (2014). Computer games can get your brainworking: Student experience and perceptions of digital games in the classroom. *Learning, Media and Technology*, 40, 21-42.

Bell, T. (2010). Entdeckendes und forschendes Lernen. In S. Mikelskis-Seifert & T. Raben (Hrsg.), *Physik Methodik: Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 70-81). Berlin: Cornelsen.

Benz, M. & Wilhelm, T. (2008). measure Dynamics - Ein Quantensprung in der digitalen Videoanalyse. *Didaktik der Physik, Berlin 2008*. Verfügbar unter: http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/mD_Beitrag.pdf [24.03.2019].

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom) (2014). *Durchschnittliche Spieldauer (Computer- und Videospiele) von Kindern und Jugendlichen in Deutschland im Jahr 2014*. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Teenager machen-104-Minuten-pro-Tag-Computerspiele.html> [01.04.2019].

Demtröder, W. (2018). *Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme*. Berlin: Springer Spektrum.

Duit, R. & Mikelskis-Seifert, S. (2012). *Physik im Kontext*. Seelze: Friedrich Verlag GmbH.

Duncan, S. (2011). Minecraft, beyond construction and survival. *Well Played: a journal on video games, value and meaning*, 1, 1-22.

Eberlein, A. & Wilhelm, T. (2011). Lehr-Lern-Labor „Videoanalyse zweidimensionaler Bewegungen“. *Didaktik der Physik, Münster 2011*. Verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/263/307> [30.03.2019].

Feed The Beast (2018). *FTB Continuum Release*. Verfügbar unter: <https://www.feed-the-beast.com/news/3253-ftb-continuum-release> [03.04.2019].

- Feierabend, S., Plankenhorn, T. & Rathgeb, T. (2017). *JIM 2017 - Jugend, Information, (Multi-) Media: Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland*. Verfügbar unter:
https://www.mfps.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2017/JIM_2017.pdf [03.05.2019].
- Foerster, K-T. (2017). Teaching spatial geometry in a virtual world: Using minecraft in mathematics in grade 5/6. In C. Douligeris & M. E. Auer (Hrsg.), *Global Engineering Education Conference (EDUCON) 2017* (S. 1411 - 1418). Verfügbar unter:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7943032/references#references> [06.04.2019].
- Fuge, C. (2018). *MISSION TO MARS*. Verfügbar unter:
<https://education.minecraft.net/lessons/mission-to-mars/> [06.04.2019].
- Gabriel, S. (2013). Was Schule von digitalen Spielen lernen kann. In P. Michaeuz, A. Reiter, G. Brandhofer, M. Ebner & B. Sabitzer (Hrsg.), *Digitale Schule Österreich - Eine analoge Standortbestimmung anlässlich der eEducation Sommertagung 2013* (S. 259-264). Wien: Österreichische Computer Gesellschaft.
- Garza, D. (2018). *PHYSICS: ROLLER COASTER WORLD*. Verfügbar unter:
<https://education.minecraft.net/lessons/physicsroller-coaster-world/> [06.04.2019].
- Gee, J. P. (2013). *Good Video Games and Good Learning - collected essays on video games, learning and literacy*. New York: Peter Lang.
- Girwidz, R. (2009a). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (S. 203-264). Berlin: Springer.
- Girwidz, R. (2009b). Neue Medien und Multimedia. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (S. 423-450). Berlin: Springer.
- Girwidz, R. (2009c). Neue Medien unter lernpsychologischen Aspekten. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (S. 631-662). Berlin: Springer.
- Gröber, S., Poth, T. & Wilhelm, T. (2005). Zweidimensional-vektorielle Kinematik mit Videoanalyse. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 54, 41-47.

Gröber, S. & Wilhelm, T. (2007). Empirische Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern in Rheinland-Pfalz: Arbeitsplatzausstattung und Mediennutzung. *Didaktik der Physik, Kassel 2006*. Verfügbar unter:

<http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/multimedia.pdf> [24.03.2019].

Heinz, D. & Welsch, T. (2017). Medienpädagogik und Schule: Herausforderungen und Chancen beim Einsatz digitaler Spiele im Unterricht. In W. Ziebinski, S. Aßmann, K. Kaspar & P. Moermann (Hrsg.), *Spielend lernen! Computerspiele(n) in Schule und Unterricht* (S. 55-64). Düsseldorf: kopaed.

Hessisches Kultusministerium (2010a). *Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang 6G bis 9G*. Verfügbar unter:

<https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/g8-physik.pdf> [18.04.2019].

Hessisches Kultusministerium (2010b). *Lehrplan Mathematik. Gymnasialer Bildungsgang - Jahrgangsstufe 5 bis 13*. Verfügbar unter: <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/g9-mathematik.pdf> [26.04.2019].

Hessisches Kultusministerium (2010c). *Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang Gymnasiale Oberstufe*. Verfügbar unter: <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/go-physik.pdf> [27.04.2019].

Hessisches Kultusministerium (2011). *Bildungsstandards und Inhaltsfelder: Das neue Kerncurriculum für Hessen - Sekundarstufe I – Gymnasium*. Verfügbar unter:

https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kerncurriculum_physik_gymnasium.pdf [09.04.2019].

Hessisches Kultusministerium (2016). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe*. Verfügbar unter:

<https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kcgo-ph.pdf> [09.04.2019].

Hischer, H. (2018). „Digitale Bildung“ - ein Bildungskonzept? *Gesellschaft für Didaktik der Mathematik-Mitteilungen*, 104, 8-17.

Lastowka, G. (2011). *Minecraft as Web 2.0: Amateur Creativity & Digital Games*. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1939241> [03.04.2019].

- Leisen, J. (2010). Problemorientierter Unterricht und Aufgabenkultur. In S. Mikelskis-Seifert & T. Raben (Hrsg.), *Physik Methodik: Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 82-91). Berlin: Cornelsen.
- Lüdde, H. J. (o. D.). *Klassische Mechanik*. Verfügbar unter:
<https://th.physik.uni-frankfurt.de/~luedde/Lecture/Mechanik/Intranet/Skript/MechanikSkript.pdf> [09.04.2019].
- Mayer, R. E. (2002) Multimedia Learning. In B. H. Ross (Hrsg.), *The Psychology of Learning and Motivation 41* (S. 85-139). London: Academic Press.
- Meyer, H. (2011) *Unterrichtsmethoden II – Praxisband*. Berlin: Cornelsen.
- Mézes, C. & Erb, R. (2011). Zur Motivation beim naturwissenschaftlichen computerunterstützten Experimentieren. *Didaktik der Physik, Münster 2011*. Verfügbar unter:
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/241/297> [01.04.2019].
- Mikelskis-Seifert, S. & Behrendt, H. (2010). Spiele im Physikunterricht. In S. Mikelskis-Seifert & T. Raben (Hrsg.), *Physik Methodik: Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 172-185). Berlin: Cornelsen.
- MOJANG (2014). *YES, WE'RE BEING BOUGHT BY MICROSOFT*. Verfügbar unter: <https://mojang.com/2014/09/yes-were-being-bought-by-microsoft/> [02.04.2019].
- MOJANG (2019a). *Was ist Minecraft - Ein Spiel über Blöcke und Abenteuer*. Verfügbar unter: <https://www.minecraft.net/de-de/what-is-minecraft/> [02.04.2019].
- MOJANG (2019b). *Store*. Verfügbar unter: <https://www.minecraft.net/de-de/store/> [02.04.2019].
- MOJANG (2019c). *Minecraft: Java Edition system requirements*. Verfügbar unter: <https://help.mojang.com/customer/en/portal/articles/325948-minecraft-java-edition-system-requirements> [03.04.2019].
- Moser, H. (2006). Die Schule auf dem Weg zum eTeaching: Analoge und digitale Medien aus der Sicht von Lehrpersonen. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie Und Praxis Der Medienbildung*, 12, 1-20.
- Mück, T. & Wilhelm, T. (2009). Neue Möglichkeiten der Videoanalyse am Beispiel von Sportbewegungen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 58, 19-27.

- Nebel, S., Schneider, S. & Rey, D. G. (2015). Mining Learning and Crafting Scientific Experiments: A Literature Review on the Use of Minecraft in Education and Research. *Educational Technology & Society*, 19, 355–366.
- Nolting, W. (2013). *Grundkurs Theoretische Physik 1.* (10. Aufl.). Berlin: Springer.
- Nordmeier, V., Schummel, N. & Schwarzhans, D. (2016). Viana - eine App zur Videoanalyse im Physikunterricht. *Didaktik der Physik, Hannover 2016*. Verfügbar unter: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/viewFile/734/869> [29.03.2019].
- Petko, D. (2008). Unterrichten mit Computerspielen - Didaktische Potenziale und Ansätze für den gezielten Einsatz in Schule und Ausbildung. *Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 15/16, 1-15.
- Pohl, R. O. (2017). *Pohls Einführung in die Physik*. Berlin: Springer Spektrum.
- Sauer, M. (2013). *Ein Tutorial zu measure dynamics*. Verfügbar unter: <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Tutorial.pdf> [15.04.2019].
- Schaumburg, H. & Prasse, D. (2019). *Medien und Schule: Theorie - Forschung - Praxis*. Regensburg: Julius Klinkhardt.
- Schüller, F. & Wilhelm, T. (2008). Mechanik in Jahrgangsstufe 7 – zweidimensional und multimedial. *Didaktik der Physik, Berlin 2008*. Verfügbar unter: http://thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Schueller_Beitrag.pdf [30.03.2019].
- Schüttler, M. & Wilhelm, T. (2011). Physik im Freizeitpark - Möglichkeiten und Vergleich von Beschleunigungs- und GPS-Messung sowie Videoanalyse. *Didaktik der Physik, Münster 2011*. Verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/238/410> [30.03.2019].
- Schwarze, H. (2018). Wo ist die potenzielle Energie? In T. Wilhelm (Hrsg.), *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht - Anregungen zu fachgerechten Elementarisierung* (S. 31-33), Seelze: Aulis.
- Seidel, M. (2018). *Minecraft: Keine Fortsetzung geplant . 91 Millionen monatlich aktive Spieler*. Verfügbar unter: <https://www.playm.de/2018/10/minecraft-keine-fortsetzung-geplant-91-millionen-monatlich-aktive-spieler-422548/> [02.04.2019].
- Short, D. A. (2012). Teaching scientific concepts using a virtual world - Minecraft. *Teaching Science*, 58, 55-58.

- Tobias, V. (2010). Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht – Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen. *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Vogt, P., Kuhn, J. & Braun, R. (2016). Tablet-Spiele im Physikunterricht: Untersuchung von Stößen beim Poolbillard. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 65, 17-20.
- Wenzel, M. (2018). Computereinsatz in Schule und Schülerlabor - Einstellung von Physiklehrkräften zu Neuen Medien. *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Wenzel, M. & Wilhelm T. (2015a). Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Wuppertal 2015. Verfügbar unter:
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/601/737> [24.03.2019].
- Wenzel, M. & Wilhelm T. (2015b). Simulationen zu Anwendungen der Totalreflexion. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 64, 34-38.
- Wernbacher, T., Pfeiffer, A., Wagner, M. & Hoffstätter, J. (2012). Learning by Playing: Can Serious Games be fun? In P. Felicia (Hrsg.), *Proceedings of the 6th European Conference on Game Bases Learning* (S. 533-541). Sonning Common: Academic Publishing International Limited.
- Wilhelm, T. (2008). Videoanalyse mit unterschiedlichen Darstellungsformen. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (S. 289-291). Münster: Lit.
- Wilhelm, T. (2016). Was ist ein Stoß. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule*, 65 (5), 4.
- Wilhelm, T. (2018a). Welche Bewegungsarten gibt es? In T. Wilhelm (Hrsg.), *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht - Anregungen zu fachgerechten Elementarisierung* (S. 24-26), Seelze: Aulis.
- Wilhelm, T. (2018b). Geschwindigkeit oder Tempo? In T. Wilhelm (Hrsg.), *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht - Anregungen zu fachgerechten Elementarisierung* (S. 12-14), Seelze: Aulis.
- Wilhelm, T., Geßner, T. & Benz, M. (2009). Einstein, Maxwell und Co. auf der Spur. Auswertung von Modellgasen mittels Videoanalyse. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*. Verfügbar unter:
<http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/73/76> [24.03.2019].

- Wilhelm, T., Geßner, T., Suleder, M. & Heuer, D. (2003). Sportaktivitäten vielseitig analysieren und modellieren. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 52, 23-30.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2017). Bericht von der Schwerpunkttagung „Newton’sche Mechanik“ mit Thesen zur Mechanik. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016* (S. 42-46), 37.
- Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2010). Erhebung zum Computereinsatz bei Physik-Gymnasiallehrern. *PhyDid B - Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Friihjahrstagung*, Hannover 2010. Verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/109/119> [24.03.2019].
- Wimmer, J. & Wiemker, M. (2017). Das Bildungspotenzial von Computerspielen aus medienkultureller Perspektive. In W. Zielinski, S. Aßmann, K. Kaspar & P. Moormann (Hrsg.), *Spielend lernen! Computerspiele(n) in Schule und Unterricht* (S. 55-64). Düsseldorf: kopaed.
- Winkler, H. (2009). *Basiswissen Medien*. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch.
- Zang, M. & Wilhelm, T. (2013). Modellieren ohne Mathematik mit Algodoo. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 62, 37-40.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einsatzhäufigkeit von klassischen Medien	5
Abbildung 2:	Einsatzhäufigkeit von Neuen Medien	7
Abbildung 3:	Videoanalyse in Minecraft	9
Abbildung 4:	Videoanalyse von Sportbewegungen	10
Abbildung 5:	Ausschnitt aus dem <i>serious game</i> „Ludwig“	13
Abbildung 6:	Videoanalyse beim virtuellen Billard	13
Abbildung 7:	Minecraft Hauptmenü und Spielwelt	17
Abbildung 8:	Minecraft Raumstation	17
Abbildung 9:	Minecraft-Launcher	18
Abbildung 10:	Minecraft Spielerperspektive	19
Abbildung 11:	Minecraft Blockauswahl und Werkbank	20
Abbildung 12:	Minecraft LAN-Spiel I	34
Abbildung 13:	Minecraft LAN-Spiel II	34
Abbildung 14:	Einstellung der Software <i>Shadowplay</i>	35
Abbildung 15:	Aufnahmebedingungen für Videoanalysen	36
Abbildung 16:	Menüführung von <i>measure dynamics</i>	38
Abbildung 17:	Parameter für die Videoanalyse in <i>measure dynamics</i>	39
Abbildung 18:	Ergebnisse einer Videoanalyse	40
Abbildung 19:	Spielfeld „Blindes Fangen“	41
Abbildung 20:	Spielbefehle	42
Abbildung 21:	Hindernisparcour	43
Abbildung 22:	Streckenverlauf Achterbahnfahrt	44
Abbildung 23:	Bewegung einer Güterlore	44
Abbildung 24:	Eindimensionale Bewegung eines Avatars	47
Abbildung 25:	Ort-Zeit-Diagramm einer eindimensionalen Bewegung	47
Abbildung 26:	Ort-Zeit-Diagramm eines fallenden Gegenstandes	48
Abbildung 27:	Diagramme zur Bestimmung der Geschwindigkeit I	48
Abbildung 28:	Beschleunigung-Zeit-Diagramm	49

Abbildung 29:	Zweidimensionale Bewegungen	50
Abbildung 30:	Ort-Zeit-Diagramm einer zweidimensionalen Bewegung	51
Abbildung 31:	Eindimensionale Fortbewegungsmöglichkeiten	55
Abbildung 32:	Diagramme zur Bestimmung der Geschwindigkeit II	57
Abbildung 33:	Experiment zum Einsatz von Beschleunigungsschienen	58
Abbildung 34:	Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm eines Wurfs	59
Abbildung 35:	Stroboskopaufnahme eines zweidimensionalen Wurfs	60
Abbildung 36:	Experiment zur Spielbeschleunigung	61
Abbildung 37:	Diagramme zur Bestimmung der Spielbeschleunigung	62
Abbildung 38:	Stroboskopaufnahme eines waagerechten Wurfs	67
Abbildung 39:	Ort-Zeit-Diagramm des waagerechten Wurfs	68
Abbildung 40:	x-y-Diagramm des waagerechten Wurfs	71
Abbildung 41:	Stroboskopaufnahme eines schrägen Wurfs	71
Abbildung 42:	Ort-Zeit-Diagramm des schrägen Wurfs	72
Abbildung 43:	Winkelmessung in <i>measure dynamics</i>	73
Abbildung 44:	x-y-Diagramm des schrägen Wurfs	75
Abbildung 45:	Eindimensionales Stoßexperiment	79
Abbildung 46:	Überblick über Güterloren	79
Abbildung 47:	Serienaufnahme von Stoßexperimenten	80
Abbildung 48:	Auswertung von Stoßexperimenten	81
Abbildung 49:	Serienaufnahme eines Sprungexperimentes	83
Abbildung 50:	Ort-Zeit-Diagramm eines Sprungexperimentes	83
Abbildung 51:	Energie-Zeit-Diagramm eines Sprungexperimentes	84
Abbildung 52:	Diagramm zur Bestimmung der Energieumwandlung	87

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Systemvoraussetzung für Minecraft	16
Tabelle 2:	Spezifikationen der Systeme	31
Tabelle 3:	Geschwindigkeiten der Fortbewegungsarten	55

9 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Einsatzmöglichkeiten des Computerspiels „Minecraft“ im Physikunterricht im Bereich der Mechanik“ selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwendet und die Stellen, die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang

Auf der beigefügten DVD sind die Videoaufzeichnungen der unterschiedlichen Experimente sowie eine digitale Version der Ausarbeitung hinterlegt. Des Weiteren sind alle Videoaufzeichnungen inklusive der zugehörigen *measure dynamics* Projekte sowie die Minecraft-Spiel-Welt über eine Verlinkung zum *Cloud*-Speicher verfügbar. Nachfolgend wird die Verlinkung zum *Cloud*-Speicher sowie dessen Ordner- und Dateistruktur dargestellt.

<https://mega.nz/#F!X8lDjaqb!pldHrWB6LW2mikZ7wsUUug>

1. Ort-Zeit-Diagramme	B1_Bewegung1Dim
	B2_Bewegung1Dim
	B3_Bewegung2Dim
	B4_Bewegung2Dim
	B5_Bewegung2Dim
	B6_BewegungWurf
	B7_BewegungAchterbahn
2. Experimente zur Geschwindigkeit und Beschleunigung	G1_Laufen
	G2_Laufen
	G3_Rennen
	G4_Springen
	G5_SpringendRennen
	G6_Schweineritt
	G7_Pferderitt
	G8_Beschleunigungsschiene1-4
	G12_Geschwindigkeitsvergleich
	G13_Geschwindigkeitsmessungen
	G14_Fallgeschwindigkeit_Kurz
	G15_Fallgeschwindigkeit_Lang
3. Experimente zu Wurfbewegungen	WW_S1-2
	SW_Ei
	SW_Schneeball
4. Experimente zu den Themen Impuls und Energie	EI_SchiefeEbene1-2
	EI_SchiefeEbeneStoß1-2
	EI_Sprung1-4
	EI_Stoß1-4