

Wissenschaftliche Hausarbeit
Zur ERSTEN STAATSPRÜFUNG für das
Lehramt an Gymnasien



MARTIN-LUTHER
UNIVERSITÄT
HALLE-WITTENBERG

Kerbal Space Program im Physikunterricht:

Legitimation, Erarbeitung und Erprobung von
Unterrichtsmaterial zur Planung und
Durchführung einer virtuellen Mondmission

Eingereicht beim Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt
Landesprüfungsamt für Lehrämter

Am: ____ . ____ . ____

von: _____

Erstgutachter:

Zweitgutachterin:

Doktor Andreas Helzel

Professorin Doktorin Thorid Rabe

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Umgang mit Fehlern im Schulkontext	4
2.1 Definition von Fehlern	4
2.2 Fehler im Schulkontext	5
2.3 Handlungsempfehlungen für Lehrkräfte	7
3. Videospiele im Unterricht	11
3.1 Begriffsklärung Videospiele und Serious Games	11
3.2 Erwerb von Kompetenzen und Wissen durch Videospiele	13
3.3 Unterrichtstauglichkeit von Videospiele	14
3.4 Handlungsempfehlungen zur Implementierung von Videospiele im Unterricht	16
4. Kerbal Space Program	20
4.1 Aspekte aus der realen Raumfahrt und Elementarisierungen	21
4.1.1 Flugverhalten von Raumfahrzeugen	21
4.1.2 Einfluss der Umgebung auf das Raumfahrzeug	24
4.1.3 Nature of Science in KSP	27
4.2 Unterrichtstauglichkeit von KSP	28
4.3 Alternativen zu KSP	31
5. Projektarbeiten	34
5.1 Problemlösung und selbstgesteuertes Lernen	34
5.2 Kooperatives Lernen	36
5.3 Erarbeitung eines Konzepts für ein selbstgesteuertes Kleingruppenprojekt	38
6. Didaktische Analyse	40
6.1 Bildungsgehalt und geeignete Klassenstufen	40
6.2 Erörterung des entwickelten Materials	42
6.2.1 Rollen von Schüler*innen und Lehrpersonen sowie Fokus des Unterrichtsmaterials	42
6.2.2 Präparation der Spieldateien	45
6.2.3. Zeitrahmen der Projektarbeit	46
6.2.4 Projektablauf	47
7. Methodik	55
8. Auswertung	57
8.1 Erprobung mit Bekannten	57
8.1.1 Lehr-Lernsituation	57

8.1.2 Auswertung der Durchführung.....	57
8.2 Erprobung an der Neuen Schule Magdeburg	59
8.2.1 Lehr-Lernsituation	59
8.2.2 Auswertung der Durchführung.....	59
8.3 Projekt im Christian-Wolff-Gymnasium Halle.....	64
8.3.1 Lehr-Lernsituation	64
8.3.2 Auswertung der Durchführung.....	64
8.4 Auswertung der Fragebögen	69
9. Schlussfolgerung	74
10. Literaturverzeichnis.....	76
11. Abbildungsverzeichnis.....	81
12. Betreuer und Umfang der Betreuung.....	82
13. Selbstständigkeitserklärung	83
14. Anhang	84

1. Einleitung

„Neugierig sein bedeutet, Fehler zu machen. Wir lernen aber in der Schule: Wenn ich einen Fehler mache, bekomme ich eine schlechte Note. Das ist wie eine Handbremse“

-Ralph Caspers¹

Dieses Zitat macht deutlich, dass Menschen beim Erlernen neuer Kompetenzen und Fähigkeiten Fehler machen. Dabei werden insbesondere Schüler*innen täglich mit fremden und eigenen Fehlern konfrontiert. Fehler werden in Form von Zensuren als maßgeblicher Leistungsindikator verwendet oder können Lernende in öffentlichen Unterrichtssituationen teilweise bloßstellen. Entsprechend ist es wenig verwunderlich, dass Schüler*innen ihre Fehler als etwas Negatives ansehen und sie eher verdrängen und verdeckt halten wollen.² Diese Einstellung behindert wohlmöglich die Chance, aus gemachten Fehlern zu lernen, was wiederum im privaten und späteren beruflichen Leben der Schüler*innen zu einem ebenso unkonstruktiven Umgang mit Fehlern führen kann.

Fehler passieren Schüler*innen allerdings nicht nur in der Schule. Im Privatleben vieler Lernenden gibt es ein Medium, welches insbesondere auf dem Machen von Fehlern basiert. Die Rede ist von Videospielen. Hier müssen die Spielenden aus ihren gemachten Fehlern lernen, da sie nur so im Spiel besser werden und beim nächsten Versuch weiterkommen.³ Ein Videospiel, welches ich seit meiner Zeit als Jugendlicher kenne, heißt *Kerbal Space Program*. Hier lassen sich Raketen und andere Fluggeräte aus Einzelteilen zusammenstellen, um damit die Himmelskörper eines fiktionalen Sternensystems zu erreichen und zu erkunden. Über 10 Jahre lang vermittelte mir diese Software anhand meiner Fehlschläge mathematisch-physikalische Grundprinzipien, die beim Bau und Flug von Raketen zu beachten sind, sowie einen konstruktiven Umgang mit Fehlern. Entsprechend plausibel erscheint es mir daher, dass Videospiele wie *Kerbal Space Program* im Unterricht einen Teil dazu beitragen können, die Einstellung von Schüler*innen gegenüber ihren eigenen Fehlern positiv zu beeinflussen. Konkret stellt sich mir die Frage, ob Lernende beim Bearbeiten von Unterrichtsmaterial auf Basis dieser Software weniger Angst vor eigenen Fehlern empfinden und sie diese stattdessen vermehrt als Lernchancen wahrnehmen können.

Dieser Frage soll im Rahmen der hier vorliegenden wissenschaftlichen Hausarbeit theoriebasiert untersucht und in der Praxis erprobt werden. Verfolgt wird dabei ein Design-based-Research-Ansatz, sodass, neben der Klärung der Forschungsfrage, iterativ entwickeltes Unterrichtsmaterial für Lehrkräfte entstehen soll.⁴ Um dies zu erreichen, soll anhand von Literatur die Bedeutsamkeit von

¹ Vgl. Eltern ohne Filter (2024)

² Vgl. Chott (1999)

³ Vgl. Becker & Metz (2022)

⁴ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2014)

Fehlschlägen sowie ein angemessener Umgang mit ihnen im Schulkontexten erarbeitet werden. Gleichsam wird sich mit der Implementierung von Videospiele im Unterricht auseinandergesetzt. Darauf aufbauend soll Kerbal Space Program auf Unterrichtstauglichkeit analysiert und dessen Einsatz im Schulkontext legitimiert werden. Da passend zum Spiel die Planung und Durchführung einer Raumfahrtmission im Fokus des Unterrichtsmaterials stehen wird, was meiner Spielerfahrung nach innerhalb einer Unterrichtsstunde nicht umsetzbar ist, soll ebenso die Erarbeitung von Projektarbeiten literaturgeleitet beschrieben werden. Anhand dieser Grundlage sollen schließlich das eigentliche Material sowie die Methoden zur Klärung der Forschungsfrage entwickelt werden. Abschließend sollen die einzelnen Durchführungsversuche und die damit einhergehenden Optimierungen am Unterrichtsmaterial beschrieben werden.

2. Umgang mit Fehlern im Schulkontext

Das Machen von Fehlern ist in unserer Gesellschaft allgegenwärtig. Wir entscheiden uns beim Kauf nicht immer für das optimale Produkt oder sehen, wie sich Menschen im Fernsehen öffentlich für Fehltritte entschuldigen. Fehler können zu einer schlechteren Zensur in einer Leistungskontrolle, aber auch im Kontext Straßenverkehr zu erheblichen Personen- und Sachschäden führen. Insbesondere für die Fehler-verursachende Person ist der Fehler mit oftmals mit Strafen verbunden. Je nach Situation mündet der Fehler darin, dass eine Aufgabe von vorn begonnen werden muss oder wird sogar vor Gericht debattiert. Entsprechend negativ wirkt das gesellschaftliche Image von Fehlschlägen, welches so in die Schule getragen wird.⁵ Gleichzeitig existiert die Ansicht, dass insbesondere Kinder und Jugendliche Fehler machen dürfen und müssen, um einen angemessenen Umgang mit Fehlern zu erlernen.⁶ Wie dies im Schulkontext trotz des schlechten Rufs von Fehlschlägen dennoch konstruktiv umgesetzt werden kann, soll hier im Folgenden genauer erläutert werden.

2.1 Definition von Fehlern

Um das Machen von Fehlern zielführend im Unterricht zu implementieren, muss zunächst geklärt werden, was unter einem Fehler verstanden wird. Mögliche Definitionen beschreiben Fehler als einen *von einer Norm abweichenden Sachverhalt oder Prozess*⁷ beziehungsweise als *eine Erscheinung, die im Bezug auf eine Richtige zurückgewiesen, behoben oder künftig vermieden werden muss.*⁷ Nach Oser et al. ermöglichen Fehler bei Menschen sogenanntes *negatives Wissen*, das heißt, Wissen darüber, *was nicht zu einer Sache gehört oder nicht getan werden darf.*⁸ Damit ist nicht gemeint, dass diese Art von Wissen etwas Negatives ist. Negatives Wissen ist das Gegenstück zu positivem Wissen, welches das

⁵ Vgl. Chott (1999)

⁶ Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

⁷ Chott (1999) S.248

⁸ Oser, Hascher & Spychiger (1999) S.17

Wissen über richtige Zusammenhänge oder Handlungsabläufe darstellt, das zu erwarteten Resultaten führen.⁹ Somit hat negatives Wissen das Potential, als eine Art schützendes Wissen zu fungieren. Beispielsweise hilft Pilot*innen relevantes Fehlerwissen aus Flugsimulatoren, in bedrohlichen Situationen Fehlentscheidungen zu verhindern. Negatives Wissen hilft somit nicht direkt, das Richtige zu tun, kann aber helfen, das Falsche zu vermeiden.¹⁰

Die Möglichkeit, aus Fehlern zu lernen, ist allerdings keine Selbstverständlichkeit. Menschen können mehrmals den gleichen Fehler machen, ohne daraus zu lernen. Dies ist unter anderem dann der Fall, wenn ein Sachverhalt eine große Anzahl an Fehlerquellen beinhaltet, die somit alle erst erfahren werden müssen. Zusätzlich kann hier mangelndes Wissen über den Sachverhalt das Lernen aus Fehlern erschweren.¹⁰ Um hingegen möglichst viel aus Fehlschlägen lernen zu können, ist es notwendig, konstruktiv mit diesen umzugehen. Dazu müssen nach Oser et al.

- erkannt werden, was falsch ist und was die Konsequenzen des Fehlschlages sind,
- der Fehler verstanden werden und erklärbar sein, wie es dazu kam, sowie
- Möglichkeit gegeben werden, diesen zu korrigieren.¹⁰

2.2 Fehler im Schulkontext

Wie in 2.1 dargelegt, können Fehler in Lernprozessen ebenso Wissen über Sachverhalte vermitteln. Oser et al. verweisen darauf, dass Lernen *bedeutet, aktiv Wissen zu erwerben und Erfahrungen zu machen*¹¹ und ihnen daher das Fehlermachen nicht verwehrt werden sollte.¹⁰ Befragungen von Oser, Hascher und Spychiger Ende der 90er Jahre legen nahe, dass Lernende die Erlaubnis, Fehler zu machen, wahrnehmen und Fehler als Lernchancen erkennen können. Gleichzeitig wurde in den Untersuchungen der Umgang mit Fehlern im Unterricht oft als verletzend und negativ beschrieben.¹² Chott schreibt dazu: *Die Betroffenen fühlten sich in entsprechenden Situationen dumm, schlecht, deprimiert etc. und der Fehler wird als Makel, als Indikator einer ontologischen Minderwertigkeit bewertet.*¹³ Weitere Untersuchungen legen nahe, dass Lernende derartigen selbstwertbedrohenden Situationen mit Vermeidungsverhalten begegnen und somit durch beispielsweise Selbstaffirmationen oder Selbstbehinderung interne Kontrollüberzeugungen vermindern.¹⁴ Diese Überzeugung, Fehler beeinflussen zu können, ist allerdings eine notwendige Voraussetzung, um entsprechend konstruktiv

⁹ Vgl. Chott (1999); Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

¹⁰ Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

¹¹ Oser, Hascher & Spychiger (1999) S.12

¹² Vgl. Chott (1999); Anmerkung des Autors: Allgemein ist die Studienlage zu Fehlern im Schulkontext in Deutschland seit Beginn des 21. Jahrhunderts kaum weitergeführt worden. Daher sollte das Alter der Informationen beim Lesen der folgenden Abschnitte mitbedacht werden.

¹³ Chott (1999) S.241-242

¹⁴ Vgl. Chott (1999)

mit Fehlern umzugehen.¹⁵ Umso bedeutsamer wirkt es daher, als Lehrkraft den eigenen Unterricht möglichst fehlerfreundlich zu gestalten. Spychiger et al. untersuchten im Verlauf der 2000er Jahre in mehreren Studien den Umgang von Lernenden mit Fehlschlägen im Schulkontext. Dabei konnten sie insgesamt vier Faktoren identifizieren, welche den Umgang mit Fehlern maßgeblich beeinflussen und erstellten daraufhin einen Fragebogen, womit die Faktoren gemessen werden können.¹⁶

Als erster Faktor ist die *Lernorientierung*, welche grob als die Wahrnehmung von Fehlschlägen als Lernchance und die Bereitschaft, diese Lernchance zu nutzen, verstanden werden kann.¹⁷ Lernende mit höherer Lernorientierung sehen in ihren Fehlschlägen beispielsweise eher die Möglichkeit, neue Fehler zu vermeiden, eigene Wissenslücken zu identifizieren oder das „Richtige“ zu erkennen.¹⁵ Hier ist allerdings zu beachten, dass die Lernorientierung von Schüler*innen allem Anschein nach abhängig vom Unterrichtsfach ist, wobei naturwissenschaftliche Fächer die geringste Lernorientierung bei Schüler*innen aufweisen.¹⁵ Ein möglicher Grund dafür könnte beim Umgang der Lehrkraft mit Fehlern liegen. In einer Studie von Oser & Hascher von 1997 erlebten Lernende Fehler insbesondere dann als Lernchance, wenn die Lehrkraft hilfreiches, nicht verurteilendes Verhalten gegenüber dem Fehler zeigte.¹⁵ Allgemein zeigte sich, dass die Chance, aus Fehlern zu lernen, von Schüler*innen als eher gering empfunden wurde, wenn keine Hilfe von der Lehrkraft ausging.¹⁸ Denkbar ist daher, dass die Lehrkraft den Lernenden durch Hilfsangebote metakognitive Kontrollstrategien vermittelt, welche diese somit sukzessiv erlernen.¹⁵ Derartiges Verhalten der Lehrkraft stellt den zweiten Faktor dar, der von Spychiger et al. als *Fehlerfreundlichkeit* definiert wird.¹⁶

Neben der Fehlerfreundlichkeit einer Lehrkraft beeinflusst auch ihre *Normtransparenz* den Umgang der Schüler*innen mit ihren Fehlschlägen. Da Fehler nach 2.1 als von einer Norm abweichendes Verhalten beschrieben werden können, wirkt es plausibel, dass manche Fehler dadurch zustande kommen, dass die vorherrschenden Normen nicht bekannt sind.¹⁶ Falls Lernende beispielsweise nicht bemerken, dass sie etwas falsch gemacht haben oder unbemerkt vorliegende Regeln verletzt haben, ist dies in der Situation ein Hinweis auf fehlende Normtransparenz. Somit fällt es betroffenen Schüler*innen schwerer, den eigentlichen Fehler zu erkennen oder die Hilfeleistung einer Lehrkraft zu verstehen.¹⁶ Als vierten Faktor ist die *Fehlerangst* zu nennen. Fehler werden gerade in Sicherungs- und Evaluationsphasen negativ bewertet und werden als beschämendes Defizit angesehen.¹⁵ Somit können Fehlschläge affektive Konsequenzen wie Angst mit sich bringen. Dies kann dazu führen, dass Fehlermachende bewusst ihre Fehler nicht sehen wollen oder sich kaum mit ihnen

¹⁵ Vgl. Chott (1999)

¹⁶ Vgl. Spychiger, Kuster & Oser (2006)

¹⁷ Vgl. Spychiger, Kuster & Oser (2006); Vgl. Chott (1999)

¹⁸ Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

auseinandersetzen.¹⁹ Entsprechend emotional anstrengend wird somit die Reflexion und Korrektur von Fehlern. Besonders negativ wirkt sich dabei Fehlerangst auf Lernende aus, welche Misserfolge an internen Faktoren (zum Beispiel Intelligenz) festmachen, und Erfolge an äußere Bedingungen (zum Beispiel Glück) knüpfen.²⁰

Wie Fehler im Unterricht erlebt werden, hängt auch vom Klima im Klassenraum ab. Beschämung durch die Lehrkraft oder die Mitschüler*innen fördert Fehlerangst und behindert somit die freie Suche von selbstständigen Lösungen.²¹ Dies kommt beispielsweise in Plenumsituationen vor, in denen Lernende die Fragen der Lehrkraft beantworten sollen. Nach einer Studie von Hascher & Hagenauer werden besonders Fehler in derartig öffentlichen Situationen als negativ wahrgenommen und mit dem Gefühl von Wut, Inkompetenz oder Trauer verbunden. Dies wird insbesondere durch die Präsenz der Mitschüler*innen verstärkt, da somit bei Fehlschlägen soziale Vergleichsprozesse zwischen den Peers angeregt werden.²²

Fehlersituationen können allerdings auch positiv erlebt werden. Dies geschieht im Schulkontext beispielsweise in Erkundungs- oder Erarbeitungsphasen, wenn nach dem Trial-and-Error-Prinzip herumprobiert werden darf, was auf die Lernenden motivational stimulierend wirken kann.²⁰ Auch Situationen, in denen Lernende nach Fehlschlägen Unterstützung erhalten, können zu einem tieferen Verständnis des Sachverhaltes führen und sogar Schlüsselerlebnisse für die Lernenden darstellen. Dies in Kombination mit der Möglichkeit, gemachte Fehler zu korrigieren, führt dazu, dass die Lernenden zukünftige Fehler weniger negativ wahrnehmen.¹⁹

2.3 Handlungsempfehlungen für Lehrkräfte

Wie in 2.2 dargelegt, ist der Umgang von Schüler*innen mit ihren Fehlern vom äußeren Umfeld abhängig. Für die Planung und Durchführung von fehlerfreundlichem Unterrichtsmaterial ergeben sich somit Handlungsempfehlungen, die nun im Folgenden erläutert werden.

Wünschenswert wäre dazu als Ausgangslage ein klassenweiter offener, konstruktiver Umgang mit Fehlern, in dem öffentliche Fehler normalisiert werden und ohne Scham einhergehen, da dies für die Lernenden das größtmögliche Lernpotential in Fehlersituationen mit sich bringt.²³ Durch die in die Schule getragene negative gesellschaftliche Wahrnehmung von Fehlern und Peer-Vergleichsprozessen kann allerdings von diesem Idealfall nicht ausgegangen werden. Daher reicht es beispielsweise nicht, Fehler im Unterricht zu erlauben. Oser et al. empfehlen daher, die Möglichkeit, Fehler im Unterricht

¹⁹ Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

²⁰ Vgl. Chott (1999)

²¹ Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999), Vgl. Chott (1999)

²² Vgl. Hascher & Hagenauer (2010)

²³ Vgl. Hascher & Hagenauer (2010); Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

zu machen, systematisch einzubauen, damit das Reflektieren und Korrigieren von Fehlern Teil des Lernablaufs wird.²⁴ Eine Möglichkeit ist die direkte Thematisierung von Fehler machen. Die Lehrkraft könnte dazu den Schüler*innen durch historische oder alltägliche Beispiele bewusst machen, dass Fehlschläge etwas Menschliches sind und keinen Hinweis auf Inkompetenz darstellen.²⁵ Da Schüler*innen eher reflexionsbereit bezüglich gemachter Fehlschläge sind, wenn sie dadurch langfristig bessere Leistungen erwarten können, lohnt sich auch die Betonung der wertvollen Lernchance, die mit jedem Fehler einhergeht.²⁶

Allerdings genügt nach Hascher & Hagenauer die direkte Präsentation von Fehlschlägen als Teil von Lernprozessen nicht, um Lernenden ein positiveres Bild bezüglich des Machens von Fehlern zu vermitteln.²⁷ Stattdessen sollte diese Einstellung aktiv im Unterricht ausgelebt werden. Wie 2.2 bereits nahelegt, kann Rückmeldung von der Lehrkraft in Fehlersituationen von den Lernenden als positiv empfunden werden. Hier sollte die Lehrkraft sowohl begründen, was genau der Fehler war als auch den betroffenen Lernenden jeweils die Möglichkeit geben, den Fehler zu korrigieren oder die Aufgabe in einer ähnlichen Situation zu wiederholen. Dazu sollten der Lehrperson auch potenzielle Fehlvorstellungen bekannt sein und bei der Rückmeldung ohne Personenbezug und Häme erfragt werden.²⁶ „Tom! Was ist es denn diesmal?“, ist daher beispielsweise keine gute Einleitung in die Rückmeldung. Des Weiteren ist es nach Chott empfehlenswert, Lernenden mit dem Mut, öffentlich nach Hilfe zu fragen oder sich bezüglich gemachter Fehler zu bekennen, Lob auszusprechen oder sie dafür zu belohnen.²⁶ Dazu gehört, dass auch Unsicherheiten von Schüler*innen bezüglich ihrer Resultate toleriert und gegebenenfalls diskutiert werden.²⁵ Beispielsweise könnten unterschiedliche Resultate des gleichen Schüler*innenexperimentes im Plenum verglichen und nach dem Ursprung der Verschiedenheit gesucht werden. Potenziell problematisch sind hier allerdings nach wie vor die Reaktionen der Mitschüler*innen. Hier sollte die Lehrkraft keine Situationen der sozialen Sanktion oder Bloßstellung schaffen. Stattdessen muss sie auslachen verhindern und die Gefühle der Schüler*innen ernstnehmen.²⁸

Da Lehrpersonen täglich mit Fehlschlägen von Schüler*innen konfrontiert sind, laufen sie Gefahr, ihre Handlungen wenig zu reflektieren und potenzielle Fehlerunfreundlichkeit zu übersehen. Oser et al. haben insgesamt drei wiederkehrende typische Muster von Lehrkräften im Umgang mit Fehlern entdeckt.²⁴ Sie beschreiben, dass Lehrkräfte unter anderem gängige Fehler in bestimmten Situationen bewusst vor Aufgabenbeginn ansprechen. Dies sorgt zwar dafür, dass der Fehler entsprechend weniger

²⁴ Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

²⁵ Vgl. Chott (1999); Vgl. Spychiger, Oser, Hascher & Mahler (1999)

²⁶ Vgl. Chott (1999)

²⁷ Vgl. Hascher & Hagenauer (2010)

²⁸ Vgl. Hascher & Hagenauer (2010); Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

gemacht wird, allerdings wird somit auch die Beschäftigung mit dem Fehler wenig motiviert und es wird somit weniger über ihn gelernt. In anderen Situationen machen Lehrpersonen die Fehler von Schüler*innen, ohne die Betroffenen um Erlaubnis zu fragen, direkt öffentlich.²⁹ Dadurch werden die Lernenden unbeabsichtigt lächerlich gemacht und können diese von der Lehrkraft objektiv geplante Situation als gegen sie gerichtet empfinden. Ebenso beliebt unter Lehrkräften ist das sogenannte *Bermuda-Dreieck der Fehlerkorrektur*, welches sich am folgenden Beispiel von Oser et al. beobachten lässt:³⁰

Lehrerin: "Timo, was ist die Hauptstadt von Finnland?"

Timo: "Eehmmhh ... "

Lehrerin: "Wer weiß es ... ja, Karin?"

Karin: "Helsinki."

Lehrerin: "Gut!"

Derartige Situationen werden von Oser et al. als besonders negativ hervorgehoben, da hier negatives Wissen in Form von Nicht-Wissen keine schützende Funktion aufweist.³⁰ Zudem kann die Korrektur als Rüge auf das Versagen in einer Leistungssituation verstanden werden und stellt ebenso eine Bloßstellung für Timo da. Anstatt Lernende wie Timo zu ignorieren, sollte die Lehrkraft aktiv mit ihnen nach der Fehlerursache suchen und die Lernenden durch Eselsbrücken oder Vorwissenaktivierung zur Weiterarbeit motivieren.³⁰ Hascher & Hagenauer empfehlen zudem eine klare Unterscheidung zwischen Leistungs- und Lernsituationen, da Schüler*innen sonst ein Gefühl der durchgängigen Bewertung im Unterricht erleben, welches nach 2.2 Fehlschläge eher negativ erleben lässt.³¹

Bevor die Lernenden allerdings ihre Fehler ansprechen können, müssen sie diese erst identifizieren.³² Um Schüler*innen entsprechend für ihre eigenen Fehler zu sensibilisieren, müssen Fehler für sie visuell oder akustisch erkennbar gemacht werden.³³ Dies kann beispielsweise bei Rechenaufgaben durch die zusätzliche Angabe von richtigen Ergebnissen erfolgen oder in digitalen Umgebungen in Form von Warngeräuschen gewährleistet werden. Gleichzeitig sollten hier Fehler als ein Ergebnis verstanden und den Lernenden Reparaturverfahren für den Fehler an die Hand gegeben werden.³³ Hier muss allerdings auch auf Seiten der Lehrkraft dafür gesorgt werden, dass Fehler aufgrund von mangelnden und ungenauen Instruktionen oder durch eine schlechte Vorbereitung der Lehrkraft selbst vermieden

²⁹ Anmerkung des Autors: Nach dem Motto: „Guckt bitte alle mal hier her. Manche von euch haben das vielleicht genauso falsch gemacht wie hier.“

³⁰ Vgl. Oser, Hascher & Spychiger (1999)

³¹ Vgl. Hascher & Hagenauer (2010)

³² Vgl. Chott (1999)

³³ Vgl. Chott (1999); Vgl. Spychiger, Oser, Hascher & Mahler (1999)

werden. Passiert dies, ist es ebenso wenig zielführend, wenn der Fehler von der Lehrperson ignoriert wird.³⁴

³⁴ Vgl. Hascher & Hagenauer (2010)

3. Videospiele im Unterricht

In unserer heutigen Zeit stellen digitale Werkzeuge mittlerweile ein bedeutsames Hilfsmittel in der schulischen Bildung dar. Beispielsweise können Tafelbilder durch Smartboards per Knopfdruck ihren Inhalt verändern, während wiederum manche Lernende ihre Mitschrift auf einem Tablet tätigen. Ebenso werden über Cloudlösungen wie Moodle Dateien an die Schüler*innen verteilt oder Hausaufgaben zurückgegeben. Digitale Medien ermöglichen auch die Einbettung von interaktiven Elementen wie Animationen oder Simulationen in Aufgabenstellungen und erleichtern somit das Studieren von Abhängigkeiten oder Einflussfaktoren.³⁵ Insbesondere durch die Vielzahl an möglichen Präsentationsformen von digitalen Medien bieten diese eine solide Grundlage, um den Aufbau von Modellvorstellungen bei Lernenden zu unterstützen. Daher bieten beispielsweise digitale Unterrichtsmaterialien Möglichkeiten für gemeinsames und problemorientiertes Lernen.³⁵ Im Verlauf der letzten Jahre wird nun auch das Medium Videospiele stückweise für unterrichtliche Zwecke genutzt. Diese wurden und werden immer noch sowohl in der Gesellschaft als auch unter Lehrpersonen häufig als reines Unterhaltungsmittel verstanden.³⁶ Dennoch bieten Videospiele die Möglichkeit, Wissen und Arbeitsabläufe in einem immersiven Umfeld kennenzulernen und ergebnisorientiert zusammenzuführen.³⁷ Was schlussendlich ein Videospiele ist, ab wann es für edukative Zwecke geeignet ist und was bei der Verwendung im Unterricht zu beachten ist, soll Gegenstand der folgenden Abschnitte sein.

3.1 Begriffsklärung Videospiele und Serious Games

Um den Begriff des Videospiele einzuführen, muss zu Beginn geklärt werden, was allgemein unter einem Spiel verstanden wird. Durch die Vielzahl an Spielen, die es gibt, lässt sich der Begriff Spiel nicht eindeutig festlegen. Allerdings gibt es nach Suppert mehrere Eigenschaften, die sich in fast allen Spielen wiederfinden.³⁸ Ihm nach sind Spiele meist zielgerichtet, aber frei von fremden Zwecken. Sie finden in einer Scheinwelt statt, in der es zu einer Auseinandersetzung mit Mitspielern oder dem Spielobjekt kommt. Dabei sind die Spielabläufe mehrdeutig und offen gestaltet, wobei auch Spielregeln anerkannt werden und gleiche Rechte oder Gewinnchancen für alle Spieler existieren müssen. Elementar ist dabei, dass Spielende Freude am Spiel haben.³⁸

Ähnlich uneindeutig lässt sich somit definieren, was ein Videospiele ist. Festhalten lässt sich hier die Eigenschaft, dass mindestens ein digitales Endgerät für das Spiel benötigt wird.³⁷ Einige Videospiele haben zudem das Potenzial, während des Spielens Wissen zu vermitteln. In dem Fall spricht man von

³⁵ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018)

³⁶ Vgl. Becker & Metz (2022)

³⁷ Vgl. Breiner & Kolibius (2019); Vgl. Suppert (2021)

³⁸ Vgl. Suppert (2021)

einem *Serious Game*, sofern das Spiel Inhalte vermittelt, ohne dass es dem Spielenden sonderlich bewusst ist.³⁹ In die Spielwelt integrierte Lerninhalte und Aufgaben können dabei Teil des Spielspaßes sein, solange sie nicht lediglich eine bloße Ansammlung von Informationen in Spielsequenzen sind.⁴⁰ Das Lernpotential liegt dabei in der Aktivität des Spielens. Während Lernende in Erklärvideos oder Animationen eine eher passive Rolle einnehmen, müssen sie in Videospiele aktiv werden.⁴⁰ Dabei können die Lernmöglichkeiten in manchen Videospiele besonders vielfältig sein. Ein berühmtes Beispiel für ein *Serious Game* stellt das Videospiel *Minecraft* da. In der aus Blöcken bestehenden Spielwelt können die Spielenden allein oder mit Mitspielern logikbasierte Maschinen entwickeln oder ihre Kreativität beim Bau von Gebäuden oder anderen architektonischen Bauwerken ausleben.⁴¹ Somit lässt sich in *Minecraft* sowohl Kreativität als auch problemorientiertes Denken und kooperatives Arbeiten fördern. Dieses Potential wurde bereits entdeckt, sodass neben einer kostenlosen Education-Edition von *Minecraft* auch entsprechendes Unterrichtsmaterial entwickelt wurde.⁴²



Abbildung 1: Rathaus der *Minecraft*-Stadt „Jeselburg“ und eine automatisierte Trankbraumaschine

Durch den Fokus auf spielendem Lernen grenzen sich *Serious Games* von der Methodik der Gamification ab. Hierbei wird die Wissensvermittlung nicht durch vollwertige Spiele ermöglicht, sondern lediglich durch beispielsweise motivierende Spielmechanik-Elemente ergänzt.⁴⁰ Neben Spielen, die sich zufällig zu *Serious Games* entwickelt haben, existieren in Fachdidaktiken und Entwicklerstudios auch bewusste Bestrebungen, Spiele anhand von didaktischen Kriterien zu entwerfen. Somit wird bewusst der Fokus auf die Freude beim Spielen gelegt, während das Spiel auf Lerninhalte zurückgreift.⁴⁰ Diese neue Form der Wissensvermittlung wird daher auch als *game based*

³⁹ Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁴⁰ Vgl. Suppert (2021)

⁴¹ Vgl. Persson & Bergensten (2011)

⁴² Vgl. *Minecraft Education* (2016); Vgl. Nickel (2020)

learning bezeichnet.⁴³ Was sich für didaktische Prinzipien in Videospiele wiederfinden und welche Fertigkeiten Spielende dadurch erwerben, soll im folgenden Abschnitt näher beleuchtet werden.

3.2 Erwerb von Kompetenzen und Wissen durch Videospiele

Videospiele haben sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte unter Jugendlichen von einer Nische zu einer breiten Freizeitgestaltung entwickelt.⁴⁴ Durch beispielsweise immer besser werdende Grafik und Verfügbarkeit schaffen es Videospiele, mehr Spielende ein Gefühl der Neugierde und Kompetenz erleben zu lassen und sie dadurch intrinsisch zum Weiterspielen zu motivieren. Dies passiert insbesondere dann, wenn Spielende weder unterfordert noch überfordert sind und somit einen sogenannten *flow* erleben.⁴⁵ Videospiele können dabei die Spielenden zur Auseinandersetzung mit Inhalten bewegen und ihnen in teilweise hektischen Situationen kritisches und kreatives Denken, sprachliche oder soziale Kompetenzen sowie räumliches oder vernetztes Denkvermögen abverlangen.⁴⁴ Entsprechend wenig verwundert es, dass bei Menschen während des Spielens von Videospiele eine erhöhte Hirnaktivität in relevanten Hirnregionen zur räumlichen Orientierung, Gedächtnisbildung, Feinmotorik und strategischem Denken beobachtet werden konnten.⁴⁶ Eine Besonderheit von Videospiele ist hier, dass die geforderten Kompetenzen gefahrlos ausgetestet und angewendet werden können. Somit kann beispielsweise der Absturz eines Modellflugzeugs in einem Videospiele per Knopfdruck rückgängig gemacht werden, was im echten Leben nicht der Fall ist. Gleiches gilt für Emotionen, die beim Spielen aufkommen können.

Neben Erfolgen und Kompetenz können auch negative Emotionen erlebt werden. Insbesondere, da Scheitern oftmals einen Teil der Spielmechanik darstellt, werden Spielende entsprechend mit den Gefühlen Frust, Wut oder Traurigkeit konfrontiert. Da in Videospiele, wie eben angesprochen, Fehler rückgängig gemacht werden können oder korrigierbar sind, finden Fehlschläge in einem geschützten Raum statt. Hierbei beruht der Fortschritt im Spiel insbesondere auf dem flexiblen Umbewerten der Emotionen und dem Lernen aus Fehlschlägen.⁴⁵ Spielende schulen somit ihr Durchhaltevermögen im Angesicht mehrerer Fehlschläge und erlernen produktive Strategien, um mit Fehlern umzugehen.⁴⁴ Dazu passend weisen Studien ebenso darauf hin, dass sich game based learning besonders gut dazu eignet, problemorientiert, situiert und erfahrungsbasiert zu lernen und dazu nötige Kompetenzen zu fördern.⁴⁵ Nach entsprechender Spielzeit geht dies auch mit dem Aufbau einer gewissen Expertise einher. Somit ist auch die Vermittlung von abstrakten Begriffen oder naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungs- und Bewertungskompetenzen durch Videospiele denkbar.⁴³ Welche Fertigkeiten beim Spielen genau gefördert werden, ist dabei individuell vom Spielenden abhängig.

⁴³ Vgl. Suppert (2021)

⁴⁴ Vgl. Breiner & Kolibius (2019); Vgl. Suppert (2021)

⁴⁵ Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁴⁶ Vgl. Becker & Metz (2022)

Neben der trial-and-error-Methode können Spielende beispielsweise bereits bei Spielbeginn bewusst mathematisches oder physikalisches Vorwissen nutzen, um vermutete Fehler zu umgehen. Ebenso unklar ist, wie groß der Zeitraum sein muss, um die genannten Fertigkeiten durch game based learning vollständig auszubilden.⁴⁷ Untersuchungen zu dem Thema konnten aber aufzeigen, dass einige Testpersonen auch nach Ende des Experiments das erprobte Videospiel in ihrer Freizeit freiwillig weiterspielten. Gerade in Anbetracht eines unterrichtstauglichen Serious Games wäre es erfreulich zu hören, dass Lernende das Spiel auch in ihrer Freizeit spielen und dadurch schulische Inhalte spielend vertiefen.⁴⁸

Ein möglicher Grund für diese intrinsische Motivation und gleichzeitige Kompetenzentwicklung liegt wohlmöglich in grundlegenden Spielprinzipien. Es gibt in Videospielen Abläufe, die sich immer wiederholen und somit Erlerntes festigen sowie Rückmeldung über die eigenen Handlungen geben. Da das Spiel für den Spielenden sonst immer leichter und somit uninteressanter werden würde, erhöhen sich im Verlauf des Spiels die Anforderungen an den Spielenden.⁴⁷ Dieses Zusammenspiel aus Wiederholung und steigendem Schwierigkeitsgrad findet sich auch im didaktischen Prinzip des Spiralcurriculums nach Bruner wieder und ist stellt allgemein eine Grundlage für Lerneffekte im realen Leben dar.⁴⁹ Somit begünstigt die Kombination dieser Spielprinzipien sowohl die Spielmotivation als auch den Aufbau von Expertise. Zusammenfassend beschreiben Breiner & Kolibius spielen daher mit dem Satz: „Spielen ist somit eine spezielle Art des Lernens, die besonders vielseitig, effektiv, nachhaltig und angenehm ist.“⁵⁰ Daher haben insbesondere Videospiele für sie das Potenzial, die konventionelle Bildung als digitales Medium zu ergänzen.⁴⁸ Wie dies im Schulkontext gelingen könnte und ab wann ein Videospiel allgemein als unterrichtstauglich deklariert werden kann, soll daher in den folgenden beiden Abschnitten genauer erläutert werden.

3.3 Unterrichtstauglichkeit von Videospielen

Trotz der eben aufgezählten Lernmöglichkeiten von Game Based Learning ist nicht jede Software für den Unterrichtseinsatz geeignet. Insbesondere durch die heutige Vielfalt an Videospielen rät Suppert, mögliche Einsatzzwecke eines Videospieles und die allgemeine Unterrichtstauglichkeit gründlich zu begutachten.⁵¹ So sollten unter anderem die Lerninhalte des Spiels einen sinnvollen Umfang haben und Elementarisierungen der Inhalte ausreichend der Realität entsprechen. Aus dem Grund bietet sich Minecraft beispielsweise nicht dafür an, im Physikunterricht die Massenunabhängigkeit von Gleit- oder Rollreibung zu demonstrieren. Entgegen der realen Physik rollen hier nämlich Loren mit vollgeladener

⁴⁷ Vgl. Becker & Metz (2022)

⁴⁸ Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁴⁹ Vgl. Becker & Metz (2022); Vgl. Bruner (1997)

⁵⁰ Breiner & Kolibius (2019) S.118

⁵¹ Vgl. Suppert (2021)

Kiste deutlich kürzere Strecken als leere Loren mit Kiste.⁵² Neben der Korrektheit der Lerninhalte gilt es zudem zu prüfen, ob das Videospiele zu den Gegebenheiten der Klassenstufe passt oder sich gegebenenfalls anpassen lässt. Daher sollte ein unterrichtstaugliches Videospiele die Lernenden weder über- noch unterfordern.⁵³ Dazu gehört auch ein angebrachtes sprachliches Niveau, welches im Idealfall nahe dem durchschnittlichen Sprachniveau des Unterrichts angesiedelt ist.⁵⁴ Ebenso sollte das Spiel möglichst auf alle Lernenden einen motivierenden Eindruck machen, da die Lernenden sonst die Nutzung der Software nicht akzeptieren könnten. Entsprechend wichtig sind konkret die Möglichkeiten, als Spielende die eigene Kreativität im Spiel ausleben und Ziele über mehrere Wege erreichen zu können.⁵⁵

Damit Lernende das Spielen eines Videospiele allgemein positiv wahrnehmen, muss das Spiel ausreichend über sogenannte *Usability* und *Playability* verfügen.⁵⁶ *Usability* beschreibt die Nutzerfreundlichkeit eines Videospiele, das heißt, wie einfach Spielende die Software bedienen können. Dazu zählt unter anderem auch ein spieler*innenfreundliches Interface. Je geringer die *Usability* durch beispielsweise unübersichtliche Bedienungsmöglichkeiten von Spielenden wahrgenommen wird, desto eher sehen sie das Spiel vermeintlich als zu komplex an und sind eher überfordert. *Playability* hingegen bezeichnet allgemein, wie schnell Spielinhalte, Ziele oder Regeln vom Spielenden begriffen werden und wie schnell Spielende dadurch lernen, das Spiel zu steuern und zu kontrollieren. Somit zeichnet sich eine hohe *Playability* eines Spieles dadurch aus, dass Erstspielende dieses als leicht verständlich empfinden. Nach der *Cognitive Load Theory* ist zudem davon auszugehen, dass die *Usability* und *Playability* eines Videospiele von dessen audiovisuellen Reizen beeinflusst werden.⁵⁷ Da es der Theorie nach für jeden Informationskanal wie Bild oder Sprache jeweils eine begrenzte Verarbeitungskapazität gibt, sollte das Videospiele

- möglichst wenige unwichtige Informationen präsentieren,
- wichtige Informationen hervorheben oder durch Hinweise betonen und
- Dopplungen von Informationen verhindern.⁵⁷

Die Beachtung dieser Punkte ist besonders wichtig, da der *Cognitive Load* bereits durch das Spielen allgemein erhöht wird.⁵³ Ein unterrichtstaugliches Videospiele muss daher für Lernende vor allem selbsterklärend, steuerbar, kontrollierbar, korrigierbar und intuitiv nutzbar sein.⁵⁶ Um dies zu gewährleisten und Lernende zusätzlich zu motivieren, sollte das Spiel automatisiert Feedback bei

⁵² Vgl. Persson & Bergensten (2011)

⁵³ Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁵⁴ Vgl. Suppert (2021)

⁵⁵ Vgl. Breiner & Kolibius (2019); Vgl. Suppert (2021)

⁵⁶ Vgl. Becker & Metz (2022); Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁵⁷ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018); Vgl. Suppert (2021)

Erfolgen oder Misserfolgen geben. Nicht zuletzt durch Kapitel 2 wissen wir bereits, dass Feedback ein bedeutender Ansatzpunkt ist, um Fehler als etwas positives zu erleben. Da die Lehrkraft realistischerweise nicht allen Lernenden gleichzeitig individuelles Feedback geben kann, ist es nur sinnvoll, wenn das Spiel selbst Rückmeldung geben kann.⁵⁸

Maßgeblich für die Unterrichtstauglichkeit eines Videospieles ist zudem dessen Funktionstüchtigkeit.⁵⁹ Um das Videospiele beispielsweise der gesamten Klasse im Unterricht zur Verfügung zu stellen, wird auch entsprechende Hardware vor Ort benötigt. Dabei hat jedes Videospiele jeweils seine individuellen Mindestanforderungen an das System. Je niedriger diese sind, desto unterrichtstauglicher ist in der Regel das Spiel. Hier empfehlen Becker & Metz zudem die zeitgemäße Nutzung von Videospiele für Smartphones und Tablets, da diese in der Regel flexibler einsetzbar sind und die Interfacegestaltung durch die reine Touchscreeneingabe von Natur aus ersichtlicher sein sollte.⁶⁰ Gleichzeitig sollte das Videospiele in Spielphasen sowohl bei technischen Schwierigkeiten auf einem anderen Gerät weitergenutzt als auch an kurzfristige Gruppengrößenänderungen angepasst werden können.⁵⁹

3.4 Handlungsempfehlungen zur Implementierung von Videospiele im Unterricht

Der vorherige Abschnitt hat aufgezeigt, welche Kriterien ein unterrichtstaugliches Videospiele charakterisieren können. Allerdings bewährt sich eine derartig entwickelte Software im Unterrichtskontext nicht automatisch und muss daher entsprechend didaktisch aufbereitet werden.⁶¹ Auch wenn der Einsatz von Videospiele im Unterricht oftmals einen positiven Einfluss auf die Motivation der Lernenden hat und somit die Einstellung gegenüber Naturwissenschaften positiv verändern kann, sollten Videospiele im Unterricht keine Erholungsphase darstellen.⁵⁹ Spiele werden aber dennoch von Lernenden eher mit Freizeit und weniger mit Schule assoziiert. Unter anderem durch diese Erwartungsdifferenz besteht das Risiko, dass der Schuleinsatz von Videospiele das Spielerlebnis und die Motivation stark verringert. Insbesondere wenn das Spielen offensichtlich einen Zweck verfolgt, wird die Software weniger als Videospiele wahrgenommen.⁵⁹ Entsprechend wird in unterschiedlicher Literatur mehrfach dazu geraten, durch die Unterrichtsplanung den Spielspaß möglichst nicht zu beeinträchtigen.⁶² Daher sollte bei Anwendung von Game Based Learning eine *sichtbare* Vermittlung von Lerninhalten möglichst vermieden werden.⁶⁰ Konkret sollten daher beispielsweise im Kontext des Physikunterrichts Formeln oder Mathematisierungsaufgaben zumindest nicht auf Kosten des Spielspaßes implementiert werden.⁶³

⁵⁸ Vgl. Becker & Metz (2022); Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁵⁹ Vgl. Suppert (2021)

⁶⁰ Vgl. Becker & Metz (2022)

⁶¹ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018); Vgl. Suppert (2021)

⁶² Vgl. Becker & Metz (2022); Vgl. Breiner & Kolibius (2019); Vgl. Suppert (2021)

⁶³ Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

Um diese dennoch während des Spielens nutzen zu können, schlägt Suppert unter anderem die Einbettung des Unterrichtsmaterials in ein geeignetes Szenario vor.⁶⁴ Durch eine thematische Verbindung von Lernstoff und Videospiele mit Hilfe eines Problems, einer Herausforderung oder einer spannenden Handlung kann es somit zu mehr Immersion und Interessengenerierung seitens der Schüler*innen kommen.⁶⁵ Durch wählbare Zielsetzungen und andere Individualisierungsmöglichkeiten lassen sich zusätzlich die Motivation und damit auch Lerneffekte und Transferleistungen der Lernenden tendenziell weiter erhöhen.⁶⁶ Falls sich unterschiedliche Zielsetzungen in ihrer Komplexität oder Kompliziertheit unterscheiden, kann zudem die Zielwahl gleichzeitig als Differenzierungsmöglichkeit im Unterrichtsmaterial implementiert werden. Unabhängig davon lässt sich festhalten, dass die Lernenden durch das Szenario im Videospiele ungewohnte Rollen einnehmen werden. Zum einen ist dies gut, da sie somit unter anderem ihre eigene Identität weiter erkunden und Eindrücke sammeln, die von ihren aktuellen Rollenvorstellungen abweichen.⁶⁷ Zum anderen können diese neuen Rollen allerdings auch zu Unsicherheit bei den Lernenden führen. Daher muss zu Beginn klar kommuniziert werden, was die Rollen der Lernenden ausmachen und auch, welche Rolle die Lehrkraft spielt.⁶⁸ Für möglichst informationsreiche Rückmeldungen bietet sich für die Lehrkraft unter anderem die Rolle des Beraters an.⁶⁴ Hierfür ist essentiell, dass die Lehrperson auch über entsprechende Erfahrung bezüglich der Software verfügt, da sie nur so in Feedbacksituationen schnell und flexibel reagieren kann.⁶⁴ Zudem kann die Lehrkraft nicht davon ausgehen, dass alle Schüler*innen bereits ausreichend Erfahrungen mit Videospiele gemacht haben. Entsprechend notwendig ist also auch eine vorrangige Klärung der Spielprinzipien und der Steuerung.⁶⁹ Derartige Informationen sollten zudem, zusätzlich zu den Einsatzregeln und den einzelnen Zielen, klar formuliert und griffbereit zur Verfügung gestellt werden.⁶⁴ Generell gilt hierbei für jegliche Form von Anleitung, dass diese nur das Ziel haben soll, unterstützend zu wirken und nicht die Informationsmenge weiter zu erhöhen, da dies unbeabsichtigt zu mehr Überforderung seitens der Spielenden führen kann.⁶⁶

Um den Lernenden ihr Ziel und ihren aktuellen Stand besser visualisieren zu können, lassen sich gegebenenfalls unterschiedliche Repräsentationsmöglichkeiten, die das Videospiele mit sich bringt, in Erklärungen implementieren. Falls vorhanden, können derartige Darstellungswechsel die Verknüpfung von komplexen Inhalten und Prozessen stärker verdeutlichen.⁶⁸ Abbildung 2 zeigt exemplarisch, dass in Kerbal Space Program zwischen einer Nah- und einer Fernansicht gewechselt werden kann und somit der aktuelle Status einer Rakete mit ihrer Flugbahn in Verbindung gebracht werden kann.

⁶⁴ Vgl. Suppert (2021)

⁶⁵ Vgl. Breiner & Kolibius (2019); Vgl. Suppert (2021)

⁶⁶ Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁶⁷ Vgl. Barany & Foster (2020); Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

⁶⁸ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018)

⁶⁹ Vgl. Breiner & Kolibius (2019); Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018)

Allerdings lassen Krüger et al. vermuten, dass insbesondere Spielanfänger*innen sich tendenziell auf bestimmte Darstellungen fixieren und entsprechend Vorteile der Alternativdarstellungen weniger wahrnehmen.⁷⁰ Zudem laufen insbesondere modellbasierte Repräsentationen Gefahr, von Schüler*innen unterschiedlich verstanden zu werden und zu Verständnisproblemen zu führen.⁷⁰



Abbildung 2: Vergrößerte Aufnahme der Kartenansicht und Standardansicht einer Rakete in Kerbal Space Program

Neben geeigneten Instruktionen muss bei der Planung ebenso die Ausstattung der Schule mit einbezogen werden. Beispielsweise beschränkt die Anzahl an vorhandenen digitalen Endgeräten, ob jeder Lernende ein eigenes benutzen kann oder jeweils in Gruppen an einem Gerät gearbeitet werden muss. Bei der Erstellung von möglichst universell einsetzbarem Unterrichtsmaterial sollte dieses daher möglichst an die Gegebenheiten anpassbar gestaltet werden.⁷¹ Unabhängig davon muss sich zudem entschieden werden, ob Wettbewerbskomponenten aus dem Videospiel genutzt werden sollten, um einen zusätzlichen Anreiz für die Lernenden zu schaffen. In dem Fall rät allerdings Suppert davon ab, dies mit einer Leistungsbewertung zu verbinden, da so der spielerische Charakter verloren gehen kann.⁷¹ Generell scheint die kompetitive Auslegung von Spielen im Unterrichtskontext zwar das Arbeitstempo der Lernenden zu erhöhen, sorgt aber anstelle von einem besseren Ergebnis eher für stärkeres Empfinden von Überforderung und Frust seitens der Spielenden.⁷² Zielführender scheinen da sogenannte *prosoziale Spiele* zu sein, welche durch gegenseitige Hilfe oder das gemeinsame Erreichen von Zielen gekennzeichnet sind.⁷² Nach Breiner & Kolibius haben derartige Spiele das Potenzial, prosoziales Denken bei Lernenden auch außerhalb des Spiels zu fördern und sie somit auch zu vermehrtem prosozialem Handeln im Alltag zu bewegen.⁷²

Abschließend soll hier betont werden, dass der Erfolg und die Lernwirksamkeit eines Game-Based-Learning-basierten Unterrichtskonzepts abhängig von den jeweiligen Lerngruppen ist. Unter anderem sollten daher das Vorwissen der Schüler*innen in der Gestaltung des Materials Beachtung finden und

⁷⁰ Vgl. Krüger, Parchmann, & Schecker (2018)

⁷¹ Vgl. Suppert (2021)

⁷² Vgl. Breiner & Kolibius (2019)

Potenziale des selbstgesteuerten und gemeinsamen Lernens ausgeschöpft werden.⁷³ Um Letzteres für das zu entwerfende Unterrichtsmaterial möglichst sinnvoll umsetzen zu können, soll sich daher in Kapitel 5 genauer mit kooperativen und selbstgesteuerten Lernformen auseinandergesetzt werden. Zuvor soll jedoch das Videospiele im Fokus stehen, welches die Grundlage für das zu planende Material darstellt.

⁷³ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018)

4. Kerbal Space Program

Wie in der Einleitung beschrieben, soll die Software Kerbal Space Program in Unterrichtsmaterial nach der Game-Based-Learning-Methodik so implementiert werden, dass Schüler*innen ihre Angst vor eigenen Fehlern abbauen und stattdessen diese vermehrt als Lernchance wahrnehmen. Kerbal Space Program ist ein



Abbildung 3: Werbebild zu Kerbal Space Program

Videospiel beziehungsweise eine Simulationssoftware, welche 2015 vom Entwickler Squad unter dem Publisher private division als Version 1.0 veröffentlicht wurde. Spielende können hier Raumfahrzeuge sowie Flug- und Fahrzeuge aus vorgefertigten Einzelteilen konstruieren und sie anschließend in dem fiktiven Sternensystem namens *Kerbol* frei ausprobieren.⁷⁴ Dieses besteht aus mehreren Planeten und Monden, welche teilweise denen aus unserem Sonnensystem ähnlich sind und von den Spielenden erkundet werden können. Dabei werden die Spielenden mit den physikalischen Gesetzen der Aerodynamik, Mechanik und Gravitation konfrontiert und müssen diese bei jedem ihrer Vorhaben bedenken.

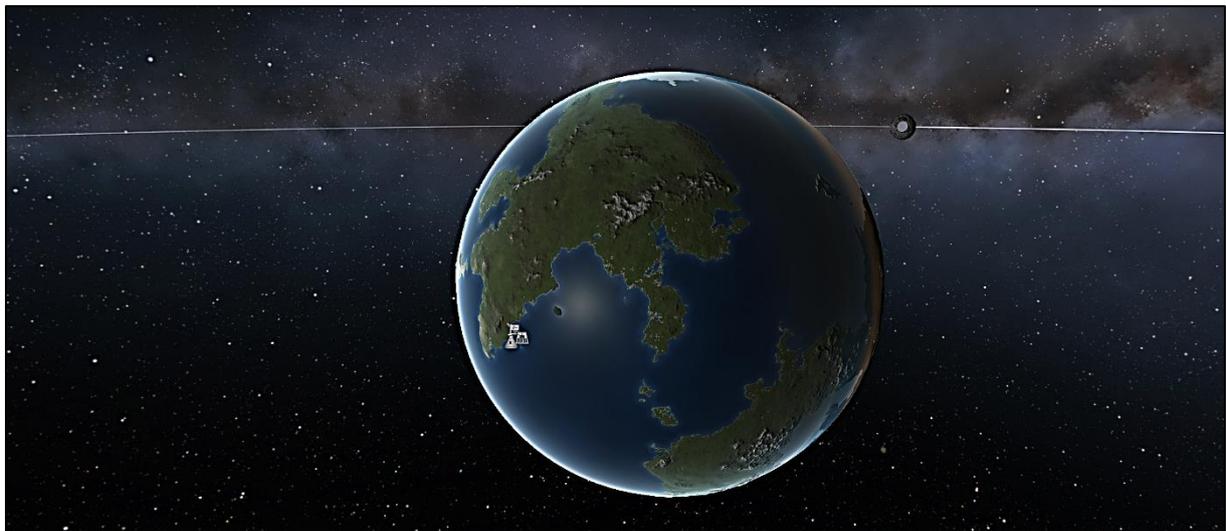


Abbildung 4: Aufnahme vom Planeten „Kerbin“, welcher von den Monden „Mun“ und „Minmus“ umkreist wird

Seit der Veröffentlichung erfreut sich das Videospiel nach wie vor großer Beliebtheit in der Gaming-Community. Allein auf der Videospieleplattform Steam wurde die Software knapp von 100 000 Menschen bewertet und erreicht eine rekordverdächtige Nutzer*innenbewertung von 95%.⁷⁵ Der damalige leitende Entwickler Felipe Falanghe begründet die hohe Beliebtheit eines so nieschigen Spiels mit: „It’s about seeing your creations explode and trying to figure out why, [...]. It’s about how you can

⁷⁴ Vgl. Falanghe & Shaer (2015)

⁷⁵ Vgl. Squad (2015)

*improve the design so it doesn't happen again.*⁷⁶ Neben einer Vielzahl an Spielenden wurden auch private und nationale Raumfahrtorganisationen auf Kerbal Space Program aufmerksam. Beispielsweise geht das Bauteil *LFB KR-1x2 "Twin-Boar"* sowie die Implementierung von Asteroiden auf die Zusammenarbeit mit der NASA zurück.⁷⁷ Zudem kam es zu einer Kooperation zwischen Private Division und dem *TeacherGaming LLC*, wodurch nun auch eine Education-Edition von dem Spiel unter dem Namen *Kerbal EDU* existiert, die Lehrpersonen kostenlos bei Private Division anfordern können.⁷⁸ Diese spezielle Version von Kerbal Space Program verfügt zusätzlich über MINT-fokussierte Missionen sowie weitere Bauteile und Spielfunktionen.⁷⁹

Trotz der vielen positiven Worte stellen sich nun mehrere Fragen. Wie realistisch ist die Simulation? Inwiefern entspricht sie einem unterrichtstauglichen Serious Game? Und wie kann sie bei der Vermittlung einer positiveren Einstellung gegenüber Fehlern dienlich sein? Dies soll nun in den folgenden Abschnitten mit Hilfe der Informationen aus Kapitel 2 und 3 genauer untersucht und diskutiert werden. Auf Grund von besserem Lesekomfort wird ab jetzt Kerbal Space Program mit *KSP* abgekürzt. Ebenso wird in den folgenden Abschnitten nicht länger auf KSP verwiesen, da dies sonst in fast jedem folgenden Satz geschehen würde.

4.1 Aspekte aus der realen Raumfahrt und Elementarisierungen

Wie schon erwähnt, gelten in KSP eine Vielzahl an Gesetzmäßigkeiten, die aus der realen Physik bekannt sind. Dennoch mussten, wie in jeder anderen Simulationssoftware auch, aus Gründen der Nutzer*innenfreundlichkeit und begrenzten Leistungsfähigkeit von Computern Vereinfachungen am Programm vorgenommen werden. Um diese Elementarisierungen bei der Erstellung des Unterrichtsmaterials berücksichtigen zu können, werden diese im Folgenden genauer herausgearbeitet. Dazu wird sich in den folgenden Unterabschnitten auf die Physik hinter dem Flugverhalten der Raumfahrzeuge sowie den Einfluss der Umgebung auf diese fokussiert. Abschließend soll zusätzlich verglichen werden, inwiefern wissenschaftliches Arbeiten beim Spielen präsentiert wird.

4.1.1 Flugverhalten von Raumfahrzeugen

Das Herzstück von KSP ist der Bau und anschließende Flug von Raketen. Ob diese ihre gewünschte Mission erfüllen oder bereits auf der Startrampe explodieren, entscheidet sich bereits in der Bauphase des Spiels. Während im sogenannten *Vehicle Assembly Building (kurz VAB)* noch keine physikalischen Gesetze auf das Gebaute wirken, werden diese mit dem Transport der Rakete auf die Startrampe aktiviert. Diese wirken in der dreidimensionalen Spielumgebung entsprechend dem Kräftemodell nach

⁷⁶ Vgl. White (2014)

⁷⁷ Vgl. Squad (2014)

⁷⁸ Vgl. Private Division (2024); Vgl. Teachergaming.com (2024)

⁷⁹ Vgl. Falanghe & Shaer (2015)

Newton. Somit entsteht die Bewegung der Rakete in der Spielwelt durch die vektorielle Summe der auf sie wirkenden Auftriebs-, Schub-, Reibungs- und Gravitationskräfte. Aus dem Zusammenspiel ergeben sich somit in KSP bereits unterschiedliche Gesetzmäßigkeiten, die für den Raketenbau entscheidend sind. Beispielsweise muss die Schubkraft der Triebwerke zum Abheben der Rakete größer sein als die von der Raketenmasse abhängige Gravitationskraft. In Kombination mit den anderen Kräften kommt es somit dazu, dass gebaute Raketen in KSP allgemein ungleichmäßig beschleunigte Bewegungen vollziehen. Erwähnenswert ist hier zudem, dass das Spiel das Raumfahrzeug nicht als ein Körper berechnet, sondern jedes angebrachte Teil anhand seiner Form, Funktion und Masse einzeln simuliert. Entsprechend dem Hebelgesetz kann es somit zur Verformung von gebauten Raketen kommen, falls diese eher lang und dünn konstruiert wurden.⁸⁰ Ebenso können sich seitlich angebrachte Raketenantriebssysteme, falls diese nur an einem Punkt an der Rakete montiert wurden, durch das durch Schubkraft entstehende Drehmoment in die Rakete schieben. Die daraus resultierenden Explosionen und Manövrierungsprobleme lassen sich allerdings durch kraftverteilende Stützstrukturen größtenteils unterbinden. Entgegen der Realität verschwinden diese automatisch, falls beispielsweise eine gestützte Seitenstufe abgetrennt wird.



Abbildung 5: Mit dem Start dieser Rakete wirkt die Schubkraft der Booster jeweils ein Drehmoment auf die Aufhängung der Booster, wodurch diese elastisch verformt werden

Ein allgemeiner physikalischer Grund, wie es in KSP und auch in der Realität zu einem unerwünschten Kontrollverlust über die Rakete kommen kann, liegt im Zusammenspiel des Massemittelpunktes und dem sogenannten *Center of Thrust* der Rakete. Ähnlich wie der Massemittelpunkt ist auch das Center of Thrust ein gedachter Punkt an der Rakete. Dieser bezieht sich auf die vektoriell summierte Schubkraft aller in einer Raketenstufe aktiven Raketenantriebe. Bei der exemplarischen Rakete in Abbildung 7 wird das Center of Thrust als lila-schwarze Kugel dargestellt. Da diese zwei baugleiche Raketenantriebe besitzt, befindet sich das Center of Thrust genau zwischen den beiden Antrieben. Zusätzlich wird durch den lila Richtungspfeil die vektoriell summierte Richtung der resultierenden Gesamtschubkraft angegeben. Liegt der in KSP schwarz-gelb dargestellte Massemittelpunkt einer

⁸⁰ Vgl. Demtröder (2020)

Rakete nicht auf diesem Richtungspfeil, entsteht beim Start der Rakete ein Drehmoment, welches in einem Kontrollverlust resultieren kann.⁸¹



Abbildung 6: Resultierende Drehmomente bei unterschiedlichen Positionen des Center of Thrust zum Massemittelpunkt der Rakete

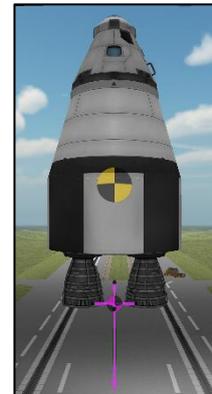


Abbildung 7: Center of Thrust und Massemittelpunkt einer einstufigen Rakete

Neben der Konstellation dieser beiden gedachten Punkte hat zudem die aerodynamische Form der Rakete, je nach Fluggeschwindigkeit und Atmosphärendruck, einen spürbaren Effekt auf das Flugverhalten der Rakete. So verringern beispielsweise abgerundete Designs den Luftwiderstand, wodurch in der Regel Treibstoff gespart werden kann. Wie dies im Detail berechnet wird, ließ sich allerdings nicht herausfinden.

Bemerkenswert ist zudem, dass sich die aus Einzelteilen bestehenden Raketen in KSP allgemein ähnlich zu starren Körpern aus der realen Physik verhalten.⁸¹ Beispielsweise lässt sich beobachten, dass das Trägheitsmoment der Rakete abhängig von der Masse und dem Abstand der einzelnen Bauteile zum Massemittelpunkt ist. Wie schnell ein Raumfahrzeug im Orbit in eine gewünschte Richtung ausgerichtet werden kann, hängt somit stark von der Massenverteilung der Rakete ab. Zur gezielten Ausrichtung von Raumfahrzeugen bietet KSP insgesamt vier verschiedene Möglichkeiten an. Davon sind Flügel die einzige, welche eine Atmosphäre voraussetzen. Dennoch können sie insbesondere in Startphasen das Flugverhalten der Rakete positiv beeinflussen. Entsprechend finden sich auch an historischen Raketen wie der Saturn V Flügel zur Flugstabilisierung.⁸² Außerhalb einer Atmosphäre muss stattdessen auf das Rückstoßprinzip gesetzt werden. Analog zur Raumfahrt in der realen Welt kann hier auf kleine Steuertriebwerke gesetzt werden, welche durch den Verbrauch von Treibstoff ein Drehmoment auf das Raumfahrzeug ausüben.⁸³ Zudem besitzen in KSP viele Raketentriebwerke die Fähigkeit, die Richtung der Abgase zu beeinflussen und somit ebenso ein gewünschtes Drehmoment

⁸¹ Vgl. Demtröder (2020)

⁸² Vgl. File:Houston-06-Nasa-Saturn V-1980-gje.jpg (1980)

⁸³ Vgl. Bowman (2023)

zu erzeugen. Diese Fähigkeit findet sich analog in realen Raketentriebwerken wie den *Raptor*-Triebwerken von *SpaceX* wieder.⁸⁴ Die Ausrichtung einer Rakete lässt sich in KSP allerdings auch ohne die zusätzliche Nutzung von Treibstoff verändern. Was im Spiel als *Advanced Inline Stabilizer* betitelt wird, kennt man in der echten Raumfahrt unter dem Begriff Gyroskop. Diese bestehen lediglich aus Massестücken, welche durch Motoren in Rotation versetzt werden können. Durch die Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit entsteht nach dem Newtonschen *actio = reactio* ein entgegengesetztes Drehmoment.⁸⁵ Im Vergleich zu KSP werden diese hauptsächlich zur Ausrichtung von Satelliten wie dem *Hubble Space Telescope* verwendet, da sich durch den rotierenden Aufbau nur begrenzt viel Drehmoment in eine gewünschte Richtung aufbauen lässt.⁸⁶ Diese reale Einschränkung wurde hingegen nicht in KSP übernommen.

4.1.2 Einfluss der Umgebung auf das Raumfahrzeug

Neben dem Flugverhalten und den Steuerungsmöglichkeiten von erdachten Raumfahrzeugen spielt in KSP auch das Sternensystem eine Rolle, in dem sich mit diesen fortbewegt werden kann. Maßgeblich ist dabei die Gravitation der Himmelskörper, welche ab der Startrampe auf eine Rakete wirkt. Himmelskörper und Raumfahrzeuge im Weltraum verhalten sich entsprechend der Keplerschen Gesetze und bewegen sich somit auf Ellipsenbahnen.⁸⁵ Da zu jedem Himmelskörper in KSP sowohl der Radius als auch die Masse bekannt sind, kann die erste kosmische

Geschwindigkeit $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ theoretisch für eine gegebene Kreisbahn errechnet werden.⁸⁵ Tabelle 1 zeigt die berechneten ersten kosmischen Geschwindigkeiten v im Vergleich zu der Geschwindigkeit v' , die ein Raumfahrzeug auf einer Kreisbahn mit Radius r in KSP aufweist

Parameters	
Physical Characteristics:	
Eq. Radius	200 km
Area	5.027E+11 m²
Mass	9.76E+20 kg
GM	6.514E+10 m³/s²
ASL Gravity	0.16606 g
Escape Velocity	807.1 m/s
Rotation Period	6d, 2h, 36m
SOI	2,430 km
Atmospheric Characteristics:	
Atmosphere Present	No

Abbildung 8: Informationen zu MUN aus KSP

Tabelle 1: Vergleich von errechneter erster kosmischer Geschwindigkeit und gemessener in KSP

Abstand zu Mun-Mittelpunkt r in km	Theoretische Geschwindigkeit $v(r)$ in $\frac{m}{s}$	angezeigte Geschwindigkeit $v'(r)$ in $\frac{m}{s}$
500	360,9	360,9
600	329,5	329,5
1000	255,2	255,2

⁸⁴ Vgl. Landeanflug in: SpaceX, Starship | SN15 | Flight Test Recap (2021)

⁸⁵ Vgl. Demtröder (2020)

⁸⁶ Vgl. esahubble.org (2024)

Der Versuch weist stark darauf hin, dass sowohl die Gravitationskonstante G als auch das Newtonsche Gravitationsgesetz zur Berechnung der Raketenflugbahn genutzt wird und sich somit an der realen Physik orientiert. Entsprechend sind orbitale Manöver wie Hohmantransfere und Swing-by-Manöver in KSP genauso gut anwendbar wie in der echten Raumfahrt.⁸⁷ Vergleicht man allerdings unser Sonnensystem mit dem in KSP, fällt auf, dass sowohl die Himmelskörper als auch die Abstände zwischen ihnen in KSP in etwa um den Faktor zehn kleiner sind als in der Realität. Obwohl Kerbin beispielsweise nur ein Zehntel der Masse der Erde hat, hat dieser Planet aber auf der Oberfläche eine Fallbeschleunigung von zirka $10 \frac{m}{s^2}$. Damit dies nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz möglich ist, hat Kerbin trotz seiner Größe eine so große Masse, sodass seine Dichte $58,5 \frac{t}{m^3}$ beträgt. Ein Planet, der fast dreimal dichter als Gold ist, ist allerdings alles andere als realitätsnah.⁸⁸

Ähnlich von der Realität abweichend ist zudem die Gravitationskraft, sobald mehrere Himmelskörper ins Gewicht fallen würden. Während durch die Überlagerung der Gravitation von unterschiedlichen Himmelskörpern in der Realität beispielsweise Phänomene wie Lagrangepunkte existieren, wird die Gravitationskraft in KSP immer nur in Bezug auf einen Himmelskörper berechnet.⁸⁸ Zudem kommt es zu keinerlei Wechselwirkung zwischen den Himmelskörpern in KSP. Stattdessen befinden sich diese auf festen Umlaufbahnen und kreisen nicht um einen gemeinsamen Massemittelpunkt. Newtons *actio = reactio* gilt also nicht für die Himmelskörper in KSP, wodurch die Software nicht dazu geeignet scheint, das Gravitationsgesetz ausreichend realitätsnah zu präsentieren.⁸⁹

Realitätsnäher wiederum ist in KSP der Betrieb von unbemannten Sonden. Neben einer permanenten Stromversorgung benötigen diese eine drahtlose Verbindung zu Kerbin, da sonst keine Aktionen mit ihnen durchgeführt werden können. Mit größer werdender Entfernung zu Kerbin muss entsprechend auch die Sende- und Empfangsleistung der Raumsonde durch bessere Antennensysteme erhöht werden. So wie in der Raumfahrt können auch in KSP Himmelskörper Empfangsprobleme erzeugen, wenn sie sich zwischen Kerbin und der Sonde befinden.⁹⁰ Allerdings wird hier in KSP wiederum die nötige Übertragungszeit elementarisiert. Während im Spiel unbemannte Sonden in Echtzeit gesteuert werden können, müssen Sonden auf dem Mars vollautomatisiert landen können, da Signale jeweils 3 bis 23 Minuten zwischen Erde und Mars zur Übertragung benötigen.⁸⁷ Ebenso an realen Herausforderungen der Raumfahrt orientiert ist das Temperaturmanagement von Raumfahrzeugen. Der Eintritt in die Atmosphäre eines Himmelskörpers in KSP ist meist mit hohen Geschwindigkeiten verbunden. Abbildung 9 zeigt, wie sich in der Realität Plasma um ein Raumschiff bildet und wie dies in

⁸⁷ Vgl. Denny & MCFadzean (2019)

⁸⁸ Vgl. Demtröder (2020)

⁸⁹ Vgl. Demtröder (2020); Anmerkung des Autors: Dafür ist die Software *Universe Sandbox* beispielsweise deutlich besser geeignet

⁹⁰ Vgl. Schweizer Radio und Fernsehen (2024)

KSP implementiert wurde. Analog zur Realität können dabei in KSP ebenso Schäden am Raumschiff entstehen.⁹¹ Ähnliche Schäden erzeugen im Spiel auch die Abgase von Raketenantrieben, falls diese zu nahe am Schiff entweichen.



Abbildung 9: Wiedereintritt in KSP und Realität

Ebenso ist auch die Schubkraft aller Raketentriebwerke in KSP vom vorherrschenden Atmosphärendruck abhängig. Insbesondere vakuumoptimierte Antriebe wie der LV-909 "Terrier" erzeugen in den unteren Atmosphären von Kerbin meist nur ein Viertel des möglichen Schubes, sind aber besonders im Vakuum effizienter als andere Antriebe. Analog zur Realität sind daher auch in KSP unterschiedliche Raketentriebwerke für unterschiedliche Phasen der Mission geeignet.⁹² Mehr Details über den Aufbau und die Funktionsweise der Triebwerke werden allerdings kaum gegeben. Während es in der Realität eine Vielzahl an verschiedenen Bauformen von Raketenantrieben gibt, die auch jeweils ihre eigenen Startvoraussetzungen mit sich bringen, wird diese Komplexität in KSP stark elementarisiert. Beispielsweise wird bei Treibstoffen lediglich zwischen „Liquid Fuel“, „Solid Fuel“, „Monopropellant“ und „Xenon“ unterschieden, wobei nur bei Letzterem die Chemie hinter dem Treibstoff klar definiert wird. Hingegen gibt es in der realen Raumfahrt mit Wasserstoff, Hydrazin oder Kerosin nicht „den einen Raketentreibstoff“.⁹² Ähnlich unspezifisch sind auch einige Maßeinheiten in KSP. Während in der Software Kräfte, Masse, Geschwindigkeit sowie der spezifische Impuls in physikalisch bekannten Einheiten angegeben werden, wird beispielsweise die elektrische Energie in Akkus lediglich mit „electric charge“ angegeben. Dabei spielt in KSP die Stromversorgung einer Rakete eine ebenso wichtige Rolle wie ihre Treibstoffversorgung. Diese wird benötigt, um beispielsweise Gyroskope zu nutzen oder Steuercomputer zu versorgen. Orientiert an realen Vorbildern der Raumfahrt kann elektrische Energie auch im Spiel in Akkus gespeichert und durch Solarmodule, Radionuklidbatterien oder Brennstoffzellen generiert werden.

⁹¹ Vgl. SpaceX (2024)

⁹² Vgl. Denny & MCFadzean (2019)

Über das bisher Beschriebene hinaus finden sich zahlreiche weitere Elementarisierungen in der Software wieder. Beispielsweise benötigt die Crew weder elektrische Energie noch Sauerstoff-, Wasser- oder Nahrungsvorräte, da diese in ihrer Raumkapseln unbegrenzt lange überleben können. Zudem muss sich der Spielende nur in seltenen Fällen über den Transport von Treibstoff oder elektrischer Energie zu den entsprechenden Verbrauchern Gedanken machen.⁹³ Während zudem die Startvorrichtung einer Rakete oftmals ähnlich komplex wie die Rakete selbst ist, ist diese in KSP mit wenigen Klicks startbereit. Abgesehen von Boostern ist in der Software zudem jeder Antrieb beliebig oft zündbar, was in der Realität oft nicht so einfach denkbar ist.⁹³

Derartige Details könnten noch deutlich länger diskutiert werden. Da die damit einhergehenden Elementarisierungen meiner Ansicht nach für das zu erarbeitende Unterrichtsmaterial eher wenig bedeutsam scheinen, soll diese Diskussion hier nun beendet werden. Umso relevanter wirkt stattdessen die Darstellung von wissenschaftlicher Arbeit in KSP, welche nun im Folgenden genauer beschrieben wird.

4.1.3 Nature of Science in KSP

Zwischen KSP und wissenschaftlichen Arbeiten finden sich mehrere Parallelen. Zu Beginn steht der Spielende vor der Wahl eines Zieles. Diese werden in bestimmten Spielmodi in Form von Missionen vorgegeben, können aber auch vom Spielenden frei gewählt werden. Gerade unerfahrene Personen können sich durch die bisher beschriebene Komplexität der Software allerdings fragen, wie sie dieses Ziel eigentlich erreichen sollen. Ähnlich zu Wissenschaftler*innen müssen Spielende während des Baus der Rakete überlegen, wie sie ihre Ziele erreichen und entsprechende Handlungsalternativen auf mögliche Risiken und Unsicherheiten prüfen. Dabei sind Spielende an kein methodisches Vorgehen gebunden und können daher sowohl durch die Anwendung von mathematisch-physikalischen Gesetzmäßigkeiten als auch reines Herumprobieren ihr Ziel erreichen.⁹⁴ Als konkretes Beispiel bin an der Stelle ich zu nennen. Anstelle von Orbitmanövern bestanden meine ersten Mondmissionen daraus, meine Rakete direkt Richtung Mun zu lenken. Dazu lernte ich lediglich durch Herumprobieren, wann der Mun relativ zu meiner Startrampenausrichtung an der richtigen Stelle steht. Ähnlich viel Spielraum bietet die Vielzahl an Bauteilen in KSP, wodurch jede Rakete in der Regel ein Unikat ist. Eine derartige Methodenvielfalt findet sich genauso in den Naturwissenschaften wieder. Gleiches gilt für den Umgang mit Fehlern und Erfolgen. Wissenschaftliches Arbeiten hat selten einen linearen Ablauf, sondern gleicht eher einem schleifenartigen Vorgehen. Als reale historische Beispiele können hier das Unglück von Apollo 1, die Fehlschläge der N1-Rakete, aber auch die Entwicklung der selbstlandenden Falcon-9-

⁹³ Vgl. Dott & Musk (2021); Vgl. Dott & Musk (2022),

⁹⁴ Vgl. Billion-Kramer (2021)

Raketen von SpaceX genannt werden.⁹⁵ In KSP findet sich dieses Vorgehen ebenso im Planen und Durchführen von Missionen statt. Insbesondere da die Spielenden während einer Mission speichern oder die Mission bis in das Vehicle Assembly Building zurücksetzen können, besteht jederzeit die Möglichkeit, Anpassungen am Raumfahrzeug vorzunehmen und aus Fehlern Handlungsalternativen zu entwickeln.⁹⁶

Eine weitere Dimension der Nature of Science, die in KSP aufgegriffen wird, ist die Finanzierung und Wirtschaftlichkeit von wissenschaftlicher Arbeit. Die Spielenden können beim Erstellen des Spielstandes einen Karrieremodus aktivieren, wodurch jedes Raketenbauteil Geld kostet. Somit ist der Spielende gezwungen, den Wunsch nach der Erkundung des Sonnensystems mit Aufträgen von privaten Firmen zu finanzieren und beispielsweise für diese Satelliten oder Raumstationen an bestimmte Positionen zu transportieren. Neben diesen Gemeinsamkeiten finden sich aber auch Elementarisierungen der Nature of Science in KSP wieder. Als größte Abweichung ist das Forschungssystem zu nennen. Im Spiel lassen sich an den Raumfahrzeugen Messinstrumente anbringen. Nur wenige, wie beispielsweise das Barometer, geben direkte Auskunft über das Messergebnis. Stattdessen wird die Messung bereits ausgewertet in Satzform präsentiert. Abgesehen davon, dass diese meist wenig aufschlussreich oder wissenschaftlich wirken, sind diese fix. Dies ist konträr zur Nature of Science, nach der Wissen als etwas subjektives gehandhabt wird.⁹⁷

4.2 Unterrichtstauglichkeit von KSP

Der vorherige Abschnitt hat gezeigt, welche Aspekte von KSP die Realität erfolgreich widerspiegeln, aber auch, an welchen Stellen die Realität elementarisiert wurde. Obwohl diese bedeutsame Informationen für die Planung des Unterrichtsmaterials darstellen, sagen sie nicht aus, inwiefern das Spiel generell für den Einsatz im Unterricht geeignet ist. Dieser Frage soll nun anhand der Kriterien aus Kapitel 3 nachgegangen werden.

Zu Beginn ist zu klären, ob es sich bei KSP um ein Serious Game handelt. In den vorherigen Abschnitten wurde bereits beschrieben, dass ab der Startrampe eine Vielzahl an physikalischen Gesetzen auf das gebaute Raumfahrzeug wirken. Auch ohne das spielinterne Wiki werden die Spielenden somit beispielsweise mit Phänomenen wie der Gravitation oder der Aerodynamik konfrontiert. KSP lässt dabei die Spielenden durch die eigenständige Konstruktion und Steuerung der Raumfahrzeuge aktiv am Geschehen mitwirken. Ein stetig steigender Schwierigkeitsgrad findet sich zudem im Wissenschafts- beziehungsweise Karrieremodus von KSP wieder, da nur mit wenigen Bauteilen begonnen wird und sukzessiv weitere freigeschaltet werden. Durch die Vielzahl an Bauteilen und

⁹⁵ Vgl. Gerzer (2022); Vgl. SpaceX (2017)

⁹⁶ Vgl. Heinicke & Peters (2014)

⁹⁷ Vgl. Heinicke & Peters (2014); Billion-Kramer (2021)

Konstruktionsmöglichkeiten lädt das Spiel aber auch bereits im Kreativmodus dazu ein, den Bau und Flug von Raketen abwechselnd zu wiederholen. Dabei stellen der Orbit oder die Landung auf einem bestimmten Himmelskörper jeweils Meilensteine für die Spielenden dar. Diese sind insbesondere bei fehlendem Vorwissen kaum ohne mehrere Versuche erreichbar und fordern vom Spielenden sowohl kritisch-kreatives Denken als auch ein räumliches und vernetztes Denkvermögen. Fehlschläge besitzen trotz mehrerer Korrekturmöglichkeiten Frustpotenzial, können aber auch ein Gefühl von Kompetenz schaffen, wenn beispielsweise eine Explosion in der Startphase durch eine Anpassung an der Rakete verhindert werden konnte. Denkbar erscheint mir zudem, dass auch ungeplante Explosionen und Flugmanöver als spaßig empfunden werden können. Gleichzeitig unterstreichen diese trotz der zahlreichen Elementarisierungen der Software die Komplexität von Raumfahrt und heben somit die bisherigen menschlichen Errungenschaften in der Raumfahrt positiv hervor. Entsprechend dieser Punkte wirkt ein spielendes Lernen von physikalischen Inhalten anhand von KSP durchaus plausibel. Nach Kapitel 3 lässt sich somit KSP als ein Serious Game verstehen.

Ebenso relevant für die Frage nach der Unterrichtstauglichkeit ist die Usability und Playability von KSP. Für ersteres lässt sich laut Herstellerangaben festhalten, dass das Spiel auf den Betriebssystemen Linux, MacOS und Windows lauffähig ist, wobei die entsprechenden Endgeräte mindestens über einen Zweikernprozessor mit 2,0 GHz Takt, 4 GB Arbeitsspeicher und eine DirectX-10-fähige Grafikkarte mit 512 MB Videospeicher verfügen müssen.⁹⁸ Diese Anforderungen werden heutzutage von einer Vielzahl an Laptops und stationären Computersystemen überboten. Entsprechend hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass KSP sowohl auf neuerer als auch älterer Schulhardware lauffähig ist. Als Manko ist hier allerdings eine fehlende Tablet-Version zu sehen, welche in 3.3 als unterrichtstauglicher gegenüber Versionen für herkömmliche Endgeräte beschrieben wird. Ebenso ungeeignet wirkt potenziell das sprachliche Niveau der Education-Edition von KSP. Während das kommerzielle Spiel mittlerweile über eine deutschsprachige Variante verfügt, ist die Schulversion weiterhin ausschließlich auf Englisch verfügbar. Somit ist davon auszugehen, dass die Nutzung des internen Wikis und die Menüführung für Lernende erschwert wird. Um dies zu verhindern, könnten die Spieldateien entsprechend angepasst werden. Dazu müssen lediglich die englischsprachigen Sätze und Begriffe unter *Ordner_von_KSP/Gamedata/Squad/localization/dictionary.cfg* ins Deutsche übersetzt werden. Da dies allerdings 12 000 Zeilen an Begriffen umfasst, scheint eine Umsetzung in einem sinnvollen Zeitraum kaum möglich. Als ein weiterer Kritikpunkt an der Playability von KSP ist zudem die Tastenorientierte Steuerung zu nennen. Um das Raumfahrzeug entsprechend zum Ziel steuern zu können, müssen die Spielenden Tasten zur Ausrichtung der Rakete, zur Schubsteuerung sowie zur Aktivierung von Funktionen wie dem Autopiloten oder dem Fahrwerk kennen. Hinzu kommen einige

⁹⁸ Vgl. Kerbal Space Program (2024)

Anzeigen wie die Navigationskugel in Abbildung 10, die durch ihre Informationen auf Lernende einen sehr komplexen Eindruck machen könnten. Insbesondere das Baumenü zeigt zu jedem Bauteil einige Informationen an, wovon einige lediglich für fortgeschrittene Spieler*innen relevant sind. Da sich diese Informationsflut nur teilweise ausblenden lässt, ist mit einem erhöhten Cognitiv Load bei Lernenden zu rechnen. Dies lässt eine sorgfältig geplante Einführung umso nötiger erscheinen.



Abbildung 10: Navigationskugel in KSP

Eine weitere Hürde könnte die Fülle an verschiedenen Bauteilen darstellen, die in KSP zur Konstruktion von Raumfahrzeugen zur Verfügung stehen. Dies lässt sich allerdings durch verschiedene Spielmechaniken gezielt beschränken, sodass es bei Spielenden zu weniger Überforderung kommt. Dazu könnte der Karriere- und Wissenschaftsmodus genutzt werden, da hier bestimmte Teilgruppen durch die Vergabe von erspielten *Wissenschaftspunkten* freigeschaltet werden können. Alternativ existiert zudem in jedem Spielmodus die Möglichkeit, einzelne Teile in individuell erstellbare Gruppen einzusortieren. Somit besteht die Option, den Lernenden die für ihre aktuelle Aufgabe nötigen und sinnvollen Bauteile hervorzuheben, während unpassende ausgeblendet, aber bei Bedarf individuell freigeschaltet werden können. Allgemein besteht die Möglichkeit, Aspekte der Komplexität des Spiels durch gezielte Einstellungen am Spielstand auszustellen. Beispielsweise kann die Empfangsstärke der Antennen verstärkt werden, sodass für eine unbemannte Landung auf Mun kein freies Sichtfeld Richtung Kerbin benötigt wird. Zudem können die thermalen Belastungen durch hohe Geschwindigkeiten verringert werden, damit der Wiedereintritt in die Kerbinatmosphäre sicherer gelingt. Auch die Möglichkeit zur Korrektur von Fehlern lässt sich hier genau einstellen. So kann aktiviert werden, dass Spielende jederzeit ihre Mission bis zum Vehicle Assembly Building zurücksetzen oder die Rakete im Flug speichern können, sodass sie schwierige Stellen wiederholen können, ohne erneut von der Startrampe anfangen zu müssen.

Welche positiven Auswirkungen KSP auf Spielende trotz der teilweise hohen Komplexität haben kann, wurde bereits, unabhängig von der hier vorliegenden Arbeit, zum Thema wissenschaftlicher Forschung gemacht. Beispielsweise untersuchten Baranay & Foster, wie Spielende durch das offizielle KSP-Forum die Rolle von Raketeningenieur*innen erkundeten.⁹⁹ Hier konnte beobachtet werden, dass Spielende innerhalb des Forums, ähnlich zu einem naturwissenschaftlichen Diskurs, ihre jeweiligen Errungenschaften und Problemstellungen untereinander diskutieren. Bemerkenswert ist dabei, dass der Austausch über die Plattform manche Spielende unterstützt, aber manche auch abschreckt.⁹⁹ Neben dieser Studie veröffentlichten bereits mehrere Lehrpersonen Unterrichtskonzepte, in die KSP

⁹⁹ Vgl. Baranay & Foster (2020)

implementiert wurde. Durch die Vielfalt an Bauteilen und Himmelskörpern bietet KSP entsprechend Möglichkeiten für Zielsetzungen und Szenarien, die sich unter anderem im Physik- oder Astronomieunterricht implementieren lassen. So veröffentlichte Zipfel auf der Website *Games im Unterricht* einen groben Unterrichtsverlaufsplan, in denen die Lernenden in Gruppen verschiedene Grundlagen des Raketenbaus erkunden.¹⁰⁰ Hehmeyer wiederum dokumentierte auf seinem YouTube-Kanal, wie Lernende in seinem Unterricht in Gruppen eigene Raketen konzipierten, um die Crew in einen Orbit um Kerbin zu steuern und anschließend wieder sicher auf Kerbin zu landen.¹⁰¹ Diese zwei Beispiele lassen bereits vermuten, wie vielfältig eine Umsetzung im Schulkontext aussehen kann. Als fortgeschrittenere Ziele bieten sich neben Orbitmanövern auch Landungen auf anderen Himmelskörpern wie Mun, Minmus oder *Duna* an. Somit könnte das Material bei der Behandlung der Apollo-Missionen oder der anstehenden Artemis-Missionen thematisch integriert werden. Generell erscheint hierbei die bereits in den Konzepten von Zipfel oder Hehmeyer angesprochene Arbeit in Gruppen zur Erreichung eines Ziels sinnvoll. Insbesondere bei komplexen Vorhaben wie einer Mondlandung besteht die Mission aus mehreren Phasen, die jeweils ihre eigenen Herausforderungen mit sich bringen. Daher könnten einzelne Lernende einer Gruppe den Start auf Kerbin, andere die Manövrierung zum Zielmond und der Rest die Landung auf dem Zielmond jeweils planen und trainieren. Die gemeinsame Arbeit an einem Spielstand ist allerdings nicht über mehrere Computer möglich. Um dem Gruppenziel näher zu kommen, müssen Lernende KSP daher entweder einzeln oder gemeinsam an jeweils einem Gerät nutzen.

4.3 Alternativen zu KSP

Im vorherigen Abschnitt wurde dargelegt, dass die Usability und Playability von KSP in mehreren Punkten Schwächen aufweisen. Somit stellt sich die Frage, ob es nicht ein unterrichtstauglicheres Videospiel mit ähnlichen Spielmechaniken gibt. Tatsächlich gibt es mehrere Alternativen zu KSP, welche nun im Folgenden inklusive ihrer Vor- und Nachteile kurz erläutert werden. Auch wenn dies naheliegend erscheint, kann *Kerbal Space Program 2* derzeit nicht als eine Alternative zu KSP (1) gesehen werden. Zum einen sind die Hardwareanforderungen vom geistigen Nachfolger von KSP bedeutend anspruchsvoller geworden.¹⁰² Zum anderen fehlen derzeit eine Education-Edition sowie generell ein Entwicklerteam, welches weiter am Spiel arbeitet, da dieses unglücklicherweise von den Massenentlassungen des Publishers Take-Two Interactive nicht verschont blieb.¹⁰³

Mögliche Alternativen zu KSP bietet die Firma *Jundroo* mit ihren Weltraumsimulationen *Juno: New Origins* und *Simple Rockets*. Analog zu KSP besitzen beide Videospiele ebenfalls eine kostenlose

¹⁰⁰ Vgl. Zipfel (2021)

¹⁰¹ Vgl. Hehmeyer (2019)

¹⁰² Vgl. Intercept Games (2023); Vgl. Kerbal Space Program 2 (2024)

¹⁰³ Vgl. Link (2024)

Education-Edition, haben ebenso niedrige Hardwareanforderungen und sind zusätzlich zu MacOS und Windows auch auf Android und IOS nutzbar.¹⁰⁴ Somit kommt es der Playability und Usability der beiden Spiele zugute, dass für die Steuerung der Rakete keine Tasten gedrückt werden müssen, sondern alles Nötige per Toucheingabe über den Autopiloten der Software eingestellt werden kann. Allerdings sind beide Spiele bisher ebenso nur auf Englisch erhältlich. Während KSP und Juno: New Origins beide in einer dreidimensionalen Spielumgebung stattfinden, findet der Raketenbau bei Simple Rockets ausschließlich zweidimensional statt.

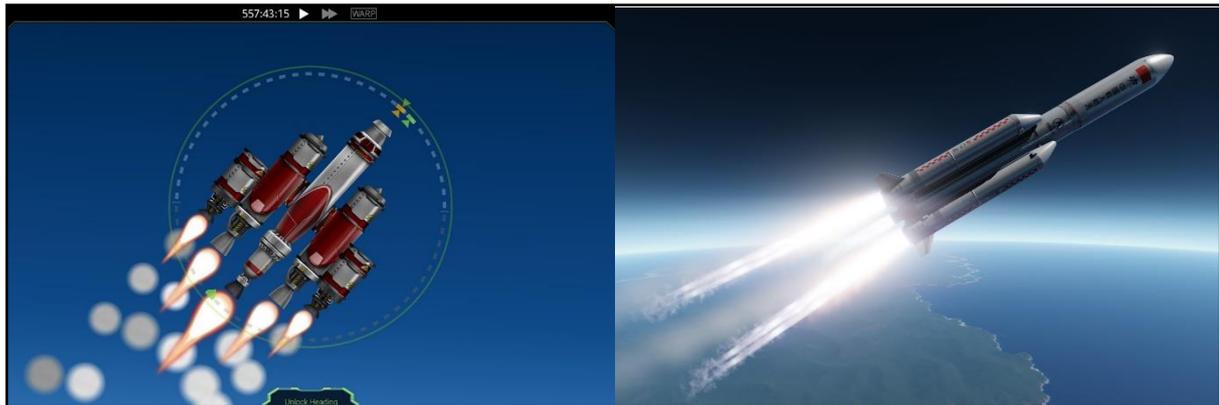


Abbildung 11 Aufnahmen aus Simple Rockets und Juno: New Origins

Auch der Bau von Raketen verläuft in den beiden Videospielen von Jundroo anders als in KSP. Während es hier viele unterschiedliche Teile zur Auswahl gibt, gibt es in den Alternativen nur wenige. Diese sind dafür in ihrer Länge, Breite und Form individualisierbar. Dennoch kann es durch die Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten an den Raketenantrieben zu einem erhöhten Cognitiv Load kommen. Während hier KSP nach 4.1 stark elementarisiert, können in Juno: New Origins zusätzlich die Funktionsweise und einzelne Bauteile an den jeweiligen Antrieben ausgetauscht werden.¹⁰⁵ Weitere Unterschiede finden sich in der Physikberechnung der drei Videospiele. Während in KSP und Simple Rockets jeweils die Einzelteile der Raumfahrzeuge simuliert werden, sind diese in Juno: New Origins lediglich ein starres Objekt. Dies macht den Bau von Raketen einfacher, da diese sich nun nicht mehr verbiegen können.¹⁰⁶ Zudem bietet Juno: New Origins die Möglichkeit, Menschen zu fremden Himmelskörpern zu schicken, während dies in KSP ausschließlich mit den kleinen grünen Kerbals möglich ist.

Alles in allem wirkt somit Juno: New Origins wie eine plausible Alternative zu KSP. Insbesondere für Schulen, an denen die Lernenden hauptsächlich an Tablets arbeiten, erscheinen diese beiden Spiele aktuell alternativlos. Dennoch habe ich mich aus mehreren Gründen dafür entschieden, an KSP festzuhalten. Obwohl KSP durch seine Vielzahl an Teilen Überforderungspotenzial bietet, lässt sich

¹⁰⁴ Vgl. Jundroo-LLC (2015); Vgl. Jundroo-LLC (2019); Vgl. Jundroo-LLC (2023)

¹⁰⁵ Vgl. Jundroo-LLC (2023)

¹⁰⁶ Vgl. Jundroo-LLC (2015); Vgl. Jundroo-LLC (2023)

dieses Problem, wie in 4.2 beschrieben, durch die Gruppenfunktionen bedeutend minimieren. Ähnliches ist in Juno: New Origins mit den komplexen Antriebseinstellungen nicht möglich. Hinzu kommt, dass Juno: New Origins durch die eher sterile Inszenierung mehr an eine Simulation als an ein Videospiel erinnert, während KSP durch die Musik und die kleinen grünen Wesen, die live mit ihrer Mimik auf den aktuellen Raketenflug reagieren, deutlich sympathischer wirkt. Somit ist hier mit einer höheren Akzeptanz seitens der Lernenden zu rechnen. Diese kann zudem durch die Spielmechanik der individualisierbaren Flagge gesteigert werden, wonach Schüler*innen eigene Bilder als Flagge in das Spiel einfügen und diese auf ihrem Raumfahrzeug oder in Flaggenform auf Himmelskörpern platzieren können.



Abbildung 12: Flagge mit eingefügten Flaggenbild

5. Projektarbeiten

Die bisherigen Kapitel haben gezeigt, wie komplex die Entwicklung und Durchführung eines fehlerfreundlichen Unterrichtsmaterials auf Basis von KSP ausfallen könnte. Bereits erwähnte KSP-basierte Unterrichtskonzepte von Zipfel und Hehmeyer lassen zudem vermuten, dass ein entsprechendes Unterrichtsmaterial bedeutend mehr Unterrichtszeit beanspruchen wird, als eine 45- bis 90- minütige Unterrichtsstunde zur Verfügung stellt.¹⁰⁷ Somit wirkt es ratsam, das Unterrichtsmaterial in Form einer Projektarbeit umzusetzen. Konkret bietet sich nach Traub, beispielsweise zur Erreichung eines gemeinsamen Gruppenziels, die Arbeit in selbstgesteuerten Kleingruppenprojekten an.¹⁰⁸ Was diese Arbeitsform auszeichnet und worauf bei der Planung und Durchführung derartiger Unterrichtskonzepte zu achten ist, soll in diesem Kapitel weiter erläutert werden. Da selbstgesteuerte Kleingruppenprojekte auf Konzepte des selbstgesteuerten und kooperativen Lernens zurückgreifen und Lernende unter anderem mit Problemlöseaufgaben konfrontieren, sollen zuvor ebendiese Konzepte inklusive Handlungsempfehlungen beschrieben werden.

5.1 Problemlösung und selbstgesteuertes Lernen

Anhand von Kapitel 4 ist davon auszugehen, dass Lernende in einer KSP-Projektarbeit beispielsweise das Erreichen eines fremden Himmelskörpers als Ziel haben werden. Da ein derartiges Vorhaben in KSP für viele Schüler*innen eine bis dato unbekannte Aufgabe darstellt und sie daher zu Beginn des Projektes nicht genau wissen, wie sie das Ziel erreichen können, spricht man nach Rott et al. hier von einer *Problemlöseaufgabe*.¹⁰⁹ Das Lösen von Problemen ist insbesondere im mathematischen Kompetenzmodell nach Winter verankert und stellt eine der drei Grunderfahrungen der mathematischen Bildung im gymnasialen Fachlehrplan von Sachsen-Anhalt dar.¹¹⁰ Das Lösen von Problemen wird dazu in der wissenschaftlichen Disziplin der *Heuristik* untersucht. So konnten unterschiedliche Arten von Problemen charakterisiert werden. Beispielsweise können Probleme entweder genau eine oder mehrere Lösungen besitzen. Ebenso spricht man von methodenoffenen Problemen, falls es zu eindeutigen Lösungen unterschiedliche Lösungswege gibt.¹⁰⁹ Im Fall von KSP handelt es sich bei der Aufgabe, eine Rakete auf Mun zu landen, um ein derartiges Problem, da dieses eine Vielzahl an Lösungen in Form von Raumfahrzeugen und Lösungswegen in Form von Flugrouten zulässt.

¹⁰⁷ Vgl. Hehmeyer (2019); Vgl. Zipfel (2021);

¹⁰⁸ Vgl. Traub (2022)

¹⁰⁹ Vgl. Rott, Bruder, Heinrich & Bauer (2023)

¹¹⁰ Vgl. LISA (1) (2022)

Um ein Problem zu lösen, existieren unterschiedliche Lösungsstrategien, welche auch als *Heurismen* bezeichnet werden.¹¹¹ Taktiken wie das Rückwärtsarbeiten oder das Zerlegen in Teilprobleme können im Unterricht unterschiedlich gefördert werden. Zum einen können Heurismen explizit im Unterricht erklärt und geübt werden. Zum anderen können sie aber auch durch Heurismen-begünstigende Aufgaben implizit eingebaut werden. Nach Rott et al. bietet sich im Idealfall eine Kombination beider Methoden zur Erlernung von Heurismen an, da diese am besten explizit angesprochen werden können, wenn die Lernenden bereits vorher zumindest implizit damit gearbeitet haben.¹¹¹ Allerdings stellt das generelle Erlernen von Problemlösekompetenzen einen schwierigen und langwierigen Prozess dar, welcher oftmals von Mathematiklehrkräften eher vernachlässigt wird. Neben Kommunikations-, Erkenntnisgewinnungs- und Bewertungskompetenzen benötigen Lernende zur Lösung von Problemen zusätzlich Managementfähigkeiten. Dazu gehören metakognitive Fähigkeiten wie Selbstkontrolle, Selbststeuerung oder ein konstruktiver Umgang mit Fehlern.¹¹¹ Damit Lernende über derartige Problemlösefähigkeiten verfügen, müssen diese jedoch erst erlernt werden. Nach Rott et al. gelingt dies am besten durch Problemlöseaufgaben selbst, sofern die dabei gewonnenen Erfahrungen jeweils geeignet reflektiert werden.¹¹¹ Hier muss insbesondere das zum Lösen nötige fachliche Wissen möglichst dem Wissen der leistungsschwächeren Lernenden entsprechen. Andernfalls ist bei diesen deutlich schneller mit einem kognitiven Overload zu rechnen, falls sie sowohl fachlich als auch heuristisch eher wenige Kompetenzen aufweisen. Daher wird empfohlen, die Lernenden gegebenenfalls mit Hilfsmitteln und Feedback zusätzlich zu unterstützen.¹¹¹

Das Lösen von Problemen geht oftmals mit dem Konzept des selbstgesteuerten Lernens einher. Traub beschreibt selbstgesteuertes Lernen als einen Prozess, welcher den aktiven und konstruktiven Erwerb von Wissen zum Ziel hat. Dieser Prozess beansprucht dabei eine Kombination von motivationalen, emotionalen sowie kognitiven Ressourcen einer Person.¹¹² Dazu benötigen die Lernenden die gleichen metakognitiven Fähigkeiten, die auch zum Lösen von Problemen notwendig sind. Das bedeutet, dass diese Kompetenzen auch durch selbstgesteuertes Lernen erlernt und vertieft werden können.¹¹² Da die Motivation der Lernenden die treibende Kraft im selbstgesteuerten Lernprozess darstellt, sollte entsprechendes Unterrichtsmaterial möglichst die Interessen der Lernenden beinhalten. Dies kann sowohl den Wissenserwerbs als auch die Gefühle beim Bearbeiten beeinflussen und neues Interesse wecken. Zusätzlich kann die Motivation durch spürbaren Lernfortschritt und informative Rückmeldungen gesteigert werden. Ebenso motivationsförderlich beschreibt Traub die Verwendung von bedeutungshaltigen, authentischen Kontexten sowie die Übertragung von Verantwortung auf die Lernenden.¹¹² Während ersteres beispielsweise durch die verknüpfte Anwendung mehrerer bekannter

¹¹¹ Vgl. Rott, Bruder, Heinrich & Bauer (2023)

¹¹² Vgl. Traub (2022)

Wissensbestände auf eine Alltagssituation realisiert werden kann, lässt sich letzteres insbesondere durch die Kombination von selbstgesteuerten und kooperativen Lernmethoden konstruktiv integrieren. Dazu ist allerdings notwendig, dass sich die Lernenden unter anderem in die Gruppe ausreichend sozial eingebunden fühlen. Wie dies gelingen kann und welche Vorteile kooperative Lernmethoden mit sich bringen können, soll im kommenden Abschnitt genauer erläutert werden.

5.2 Kooperatives Lernen

Neben Aspekten des selbstgesteuerten und problemorientierten Arbeitens beinhalten Projektarbeiten oftmals auch Elemente des kooperativen Lernens. Dieses beschreibt eine Interaktionsform, in der Schüler*innen gemeinsam beziehungsweise durch einen wechselseitigen Austausch Wissensbestände erwerben und Kompetenzen aufbauen und damit auf ein gemeinsames Ziel hinarbeiten.¹¹³ Charakteristisch für dieses soziale Miteinander ist beispielsweise die wechselseitige Hilfeleistung unter den Lernenden. Dabei agieren die Lernenden größtenteils frei oder werden zumindest nicht direkt von der Lehrkraft gelenkt oder beaufsichtigt.¹¹⁴ Zum einen liegt der Fokus somit auf dem sozialen Lernen von beispielsweise Team- und Kommunikationsfähigkeit.¹¹⁵ Dies fördert zudem die Offenheit und Hilfsbereitschaft der Lernenden, baut Egoismus und Konkurrenzdenken ab und schafft ein gemeinsames Verantwortlichkeitsgefühl.¹¹³ Zum anderen fokussiert die Methodik somit auch inhaltliches Lernen, wodurch sich unter anderem Transfer-, Verständnis- sowie Anwendungsaufgaben bearbeiten lassen und in der Zone der nächsten Entwicklung agiert werden kann.¹¹⁴ Nach Krüger et al. stellt Kooperation zudem durch das gemeinsame Prüfen von Hypothesen und das Diskutieren von Ergebnissen die Basis von naturwissenschaftlicher Arbeit dar, welche somit insbesondere bei naturwissenschaftlichen Lernkontexten exemplarisch vermittelt werden kann.¹¹⁴

Wichtig ist, zu beachten, dass trotz des Fokus auf inhaltlichem Lernen die Qualität des Endproduktes kein Gütekriterium für eine effektive Lerngelegenheit darstellt.¹¹⁵ Auch wenn es beispielsweise im Fall von KSP das Ziel einer Gruppe war, auf Mun zu landen, die Rakete es aber aufgrund mehrerer Fehlschläge bis zum Ende der Arbeitszeit lediglich in einem Orbit um den Mun geschafft hat, heißt dies nicht, dass die Lernenden kaum etwas gelernt haben. Daher empfiehlt Traub, in kooperativen Lernformen den Fokus auf das Lernen der Gruppenmitglieder und weniger auf das Gruppenprodukt zu richten.¹¹⁵ Dennoch gibt es unter Lehrkräften Befürchtungen von Unruhe, geringer Arbeitsteilung sowie dem Aufkommen von Trittbrettfahrern, welche der Gruppendynamik eher schaden.¹¹⁴ Umso bedeutsamer wirkt es daher, alle Schüler*innen einer Gruppe möglichst gleichsam am Geschehen zu beteiligen und die Verantwortung gerecht aufzuteilen.¹¹⁵ Krüger et al. raten daher besonders zu

¹¹³ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018); Vgl. Traub (2022);

¹¹⁴ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018)

¹¹⁵ Vgl. Traub (2022)

individueller und wechselseitiger Verantwortlichkeit, sodass jeder Lernende gleichsam zur Erreichung des Gruppenzieles beiträgt. Zeitgleich sollten den Gruppen ausreichend Freiräume für eigene Entscheidungen gelassen werden.¹¹⁶ Dazu zählt auch die Möglichkeit, ein eigenes Gruppenziel wählen zu können und die Arbeitsteilung in der Gruppe zu entscheiden, da so zusätzlich das Autonomieerleben der Lernenden und damit ihre Lernmotivation gesteigert werden kann.¹¹⁷ Motivierende Elemente wie Gruppenbelohnungen werden hingegen von ihnen als eher überflüssig empfunden, sofern die Aufgabenstellung hinreichend Interesse weckt. Falls dennoch Gruppenbelohnungen implementiert sind, sollten diese möglichst nur die Leistung der gesamten Gruppe belohnen und unabhängig von individueller Leistung vergeben werden.¹¹⁶ Des Weiteren empfehlen Traub sowie Krüger et al. zur Bereicherung von Gruppenarbeiten

- die Produktion eigener Ideen und die Ausbildung eines Zusammengehörigkeitsgefühls zu ermöglichen,
- die Gruppengröße auf zwei bis vier Lernende zu beschränken, sodass alle Gruppenmitglieder an der Bearbeitung gemeinsam teilhaben können,
- dezidierte Reflexionsmöglichkeiten des Gruppenverhaltens auf Basis der freien Meinungsäußerung sowie Verbesserungsmöglichkeiten zu implementieren,
- selbständiges Arbeiten inklusive der Möglichkeit, Umwege aus Gründen der Neugierde zu realisieren sowie
- Gelegenheiten zu schaffen, in denen sich die Gruppenmitglieder gegenseitig Informationen mitteilen müssen.¹¹⁸

Zudem beschreiben sie mehrere Maßnahmen, welche die Schüler*innen während einer Gruppenarbeit unterstützen würden.¹¹⁸ Zum Beispiel kann die benötigte wechselseitige Verantwortlichkeit erreicht werden, indem jedes Gruppenmitglied jeweils nur einen Teil der nötigen Informationen erarbeitet, da so jedes Gruppenmitglied als Expert*in seines Fachgebietes einen eigenen Beitrag zum Erreichen des Ziels liefern muss. Dies hat zudem den Effekt, dass sich so deutlich vielschichtigere Projekte in den Gruppen umsetzen lassen. Im Fall von KSP wäre es beim Ziel, einen anderen Himmelskörper zu erreichen, nach Kapitel 4 beispielsweise sinnvoll, Expert*innenrollen für unterschiedliche Phasen der Mission auszubilden. Hier ist allerdings darauf zu achten, dass trotz der Arbeitsteilung weiterhin auch Kooperation zwischen den Expert*innen gefordert werden muss.¹¹⁶ Für die Umsetzung scheint es zudem bedeutsam zu sein, auf möglichst präzise und verständlich

¹¹⁶ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker (2018)

¹¹⁷ Vgl. Traub (2022)

¹¹⁸ Vgl. Krüger, Parchmann, & Schecker (2018); Vgl. Traub (2022)

formulierte Arbeitsaufträge zu achten, da diese signifikant das Eingreifen der Lehrkraft vermindern und die Arbeitsergebnisse der Gruppen verbessern können.¹¹⁹

5.3 Erarbeitung eines Konzepts für ein selbstgesteuertes Kleingruppenprojekt

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, stellt projektorientiertes Arbeiten im Schulkontext oftmals eine Methodik dar, welche Elemente des kooperativen und selbstgesteuerten Lernens miteinander vereint. Der Idee nach können von Schüler*innen sowohl selbstorganisiertes Lernen und Arbeiten als auch solidarisches Handeln durch Projektunterricht trainiert und zeitgleich Selbstwert und Handlungskompetenzen erlebt werden.¹¹⁹ Dazu reicht es nach Traub aber nicht aus, lediglich für eine hohe Beteiligung der Lernenden zu sorgen. Hinzu kommt allgemein eine klare Sprache der Lehrperson sowie eine strukturierte und geschickte Steuerung des Lerntempos.¹¹⁹ Um dies zu erreichen, bietet sich nach Becker & Metz die Verwendung der eben beschriebenen Expert*innenrollen an. Dabei ist für das gegenseitige Lehren und Lernen relevant, dass die entsprechenden Rollen gleichbedeutend für das Gruppenziel gestaltet sind.¹²⁰ Für eine optimale Umsetzung raten sie zudem,

- mit einer Aneignungsphase zu beginnen, in der die Expert*innen ihr Fachwissen erwerben,
- diese an eine Vermittlungsphase anzuschließen, in der die Gruppenmitglieder ihr neues Wissen wechselseitig erklären sowie
- mit einer Verarbeitungsphase zu enden, in der die Gruppe gemeinsam an einer bestimmten Aufgabe arbeitet.¹²⁰

Als ein konkretes Beispiel für einen derartigen Projektablauf kann die Methode des sogenannten *Gruppenpuzzles* angesehen werden.¹²⁰ Hier werden drei bis vier Lernende jeweils in einer Stammgruppe zusammengefasst. Nach einer Einführung in das Projektthema wird jedem Gruppenmitglied ein Teilgebiet zugeordnet, um dieses im Anschluss beispielsweise in Form von Texten zu erschließen. Nach dieser Einzelarbeitsphase bilden nun alle Expert*innen mit dem gleichen Teilgebiet jeweils eine neue Gruppe, in der sie sich über die Inhalte und die damit einhergehenden Fragen austauschen. Anschließend kehren die Schüler*innen in ihre Stammgruppen zurück, um die Ergebnisse der Expertengruppen zu berichten, sodass auch die anderen Mitglieder der Gruppe die Teilgebiete der anderen verstehen. Abschließend wird das neu Gelernte überprüft, indem beispielsweise ein Test zu den Fragen beantwortet oder ein gemeinsames Gruppenprodukt ausgearbeitet wird.¹²⁰

Ähnlich zu dem von Becker & Metz genannten Ablauf lässt sich auch das sogenannte *Sandwichprinzip* nach Wahl beschreiben, welches ebenso zur Neukonzeption von selbstgesteuerten

¹¹⁹ Vgl. Traub (2022)

¹²⁰ Vgl. Becker & Metz (2022)

Kleingruppenprojektarbeiten als Orientierung dienen kann.¹²¹ Wie bei einem Sandwich sollte eine Projektarbeit aus mehreren zueinander überleitenden Phasen bestehen, wobei es sich hier um kollektive Austauschphasen und individuelle, selbstgesteuerte Verarbeitungsphasen handelt, welche sich abwechseln. Die Einstiegsphase sollte dazu sowohl am fachlichen Vorwissen als auch an den Interessen möglichst vieler Lernenden anknüpfen. Hingegen wird das Projektende mit einem bewussten inhaltlichen, emotionalen und sozialen Abschluss gekennzeichnet. Beispielsweise können dazu Gruppen ihre Produkte vorstellen oder die Zusammenarbeit gemeinsam reflektieren. Generell sollte zwischen den Projektphasen jeweils eine Gelenkstelle eingeplant werden, in der das bisher Geleistete reflektiert werden muss und somit der Plan zum Erreichen des Projektziels gegebenenfalls an die Reflexionserkenntnisse angepasst werden kann. So wie im Gruppenpuzzle sollen zudem Austauschphasen mit Mitgliedern aus anderen Gruppen eingerichtet werden, wodurch Gruppen sich gegenseitig bei der Lösung von Problemen unterstützen können. Um Alleingänge einzelner Lernenden zu vermeiden, sollte zudem das Projekt so konzipiert sein, sodass kooperatives Vorgehen notwendig ist, um im geplanten Zeitraum das Ziel zu erreichen. Hierbei helfen insbesondere Diskussionsmöglichkeiten, in denen komplexe Situationen die Lernenden dazu anregen, ihre individuellen Interpretationen der Situation zu vergleichen.¹²¹

Über das Sandwichprinzip nach Wahl hinaus hat Traub weitere Punkte herausgearbeitet, welche sie für die Neukonzeption einer Projektarbeit für Kleingruppen beachten würde.¹²¹ Analog zu den bisherigen Kapiteln empfiehlt sie unter anderem, das Thema des Projektes in einem möglichst authentischen Kontext zu inszenieren und dabei die Problemlösefähigkeiten, Wissensbestände und Neigungen der Lernenden möglichst gut abzuspassen. Die Lehrkraft ist dabei in ihrer beratenden Rolle lediglich dafür verantwortlich, dass die Lernenden bei ihrem Vorhaben ein für sie passendes Anforderungsniveau wiederfinden. Aufgrund der Beraterrolle der Lehrperson sollten Schüler*innen möglichst selbst einen Plan entwickeln, welcher die Zielsetzung, Lernschritte und Abläufe festlegt. Entsprechende Freiheiten sollten die Lernenden daher auch in ihren Handlungsmöglichkeiten haben. Für einen fehlerfreundlichen Umgang bietet sich dennoch der Einbau von Trainingsphasen ein, in denen das neue Wissen von den Experten erprobt werden kann. Des Weiteren empfiehlt Traub vor Projektbeginn eine Planungsphase, sodass die Lernenden sich bereits vorher auf das Projekt vorbereiten können.¹²¹

¹²¹ Vgl. Traub (2022)

6. Didaktische Analyse

Im Rahmen der Kapitel 2 bis 5 wurde eine Vielzahl an Aspekten und Handlungsempfehlungen beleuchtet, die für die Planung eines fehlerfreundlichen, KSP-basierten Unterrichtsvorhabens bedeutsam sind. Ebenso wurden bereits Materialien von Zipfel und Hehmeyer beschrieben, welche den Einsatz von KSP im Unterricht ermöglichen sollen.¹²² Da der Fokus des Konzepts von Zipfel das Machen von Fehlern kaum thematisiert und Hehmeyer lediglich einen groben Ablauf skizziert, ist davon auszugehen, dass ein neu konzipiertes Unterrichtsmaterial, welches sich an Hehmeyers Ideen orientiert, die größten Erfolgchancen verspricht, um Lernenden ihre Fehlschläge in KSP positiv erleben zu lassen. Daher sollen nun im Folgenden die Konzipierung des Projektes und die damit einhergehenden Designentscheidungen auf Basis des zusammengetragenen Wissens erörtert werden. Die entstandenen Materialien befinden sich auf der DVD im Anhang im Ordner „*Unterrichtsmaterial 1.0*“.

In den vergangenen Kapiteln wurde zudem mehrfach die Bedeutsamkeit von Lernvoraussetzungen und möglichen alltäglichen Anknüpfungspunkten hervorgehoben. Daher sollen zuvor anhand des Fachlehrplans von Sachsen-Anhalt und des Bildungsgehaltes nach Klafki ebendiese bisher fehlenden Informationen erlangt werden. Eine tiefergehende Einbindung von Lehr- und Lernvoraussetzungen ist dabei aber nicht zielführend, da das entstehende Material in unterschiedlichen Schulklassen erprobt werden soll.

6.1 Bildungsgehalt und geeignete Klassenstufen

Die Relevanz des zu planenden Projektes ergibt sich unter anderem aus der Präsenz des Themas im Alltag der Schüler*innen. Klafki unterscheidet bei diesem Lebensweltbezug zwischen der gegenwärtigen und zukünftigen Bedeutung des Inhaltes aus Schüler*innensicht¹²³. Betrachten wir zunächst KSP, fällt auf, dass die Software trotz der Komplexität von Raumfahrt an die Gegenwartsbedeutung der Lernenden anknüpfen kann. Zum einen ist das Medium Videospiele mittlerweile vielen Schüler*innen aus ihrer Freizeit bekannt. Zum anderen leben wir in einem Jahrzehnt, in dem jede Woche mehrere Raketenstarts in unterschiedlichen Ländern stattfinden.¹²⁴ Aufnahmen von fremden Galaxien, der Marsoberfläche oder auch von missglückten Raketenstarts schaffen es zudem nicht selten in die Nachrichten.¹²⁵ Noch alltäglicher im Leben der Schüler*innen ist die Begegnung mit eigenen Fehlschlägen. Wie in Kapitel 2 bereits beschrieben, werden Kinder und Jugendliche in ihrem Leben sowohl in der Schule als auch zuhause täglich mit ungünstigen Entscheidungen und deren Konsequenzen konfrontiert. Da Menschen allgemein als nicht unfehlbar

¹²² Vgl. Hehmeyer, (2019); Vgl. Zipfel, (2021)

¹²³ Vgl. Kircher, (2015)

¹²⁴ Vgl. Lowne, (2020-2024)

¹²⁵ Vgl. Tagesschau, (2024)

gelten, ist davon auszugehen, dass die Schüler*innen auch in ihrem zukünftigen Job und in ihrem Privatleben Fehlschläge erleiden werden und daher einen möglichst konstruktiven Umgang mit diesen erlernen sollten. Ähnlich vorbereitend auf das spätere Berufsleben könnte sich zudem das Zusammenspiel aus KSP und dem Projektcharakter des Vorhabens auswirken. Die in 4.1 beschriebene Komplexität des Raketenbaus und die daher notwendige Ausbildung von Expertenrollen findet sich schließlich auch in Berufsgruppen wieder, in denen mehrere Menschen mit unterschiedlichen Qualifikationen am gleichen Produkt arbeiten. Dazu passend fordert der gymnasiale Fachlehrplan Physik in Sachsen-Anhalt, dass „die Schülerinnen und Schüler durch eigene Tätigkeit erfahren, dass naturwissenschaftliches Arbeiten Ausdauer und Kooperation erfordert und ebenso Kreativität, Intuition sowie Offenheit für neue Wege im Erkenntnisprozess gefragt sind“.¹²⁶ Die bisherigen Kapitel lassen vermuten, dass das angestrebte Projekt einen Teil zur Erreichung dieser Forderung beitragen kann.

Neben derartigen Anforderungen an den Unterricht finden sich in den Fachlehrplänen von Sachsen-Anhalt für die Fächer Physik und Astronomie jeweils klassenstufenspezifische Auflistungen von Kompetenzen und Wissensbeständen wieder.¹²⁷ Demnach werden an Gymnasien in der 9. Klasse im Astronomieunterricht die Keplerschen Gesetze behandelt, während im Physikunterricht bereits teilweise die vektorielle Addition von Kräften behandelt wird. Diese Inhalte sind nach 4.1 Grundlage für den Bau von Raketen und deren Orbitverhalten und können somit Lernende bei der Analyse von Fehlschlägen unterstützen. Fehlt derartiges Wissen, ist nach Kapitel 2 davon auszugehen, dass die Schüler*innen bedeutend größere Probleme bei der Findung von Fehlerursachen haben werden und somit die Fehlersuche lediglich in Überforderung mündet. Entsprechend sinnvoll wirkt es daher, das zu planende Projekt frühestens ab der 9. Klasse an Gymnasien durchzuführen. Am empfehlenswertesten wirkt dabei in Sachsen-Anhalt die Durchführung des Projektes ab der 10. Klasse, da hier die Schüler*innen im Physikunterricht zusätzlich das Newtonsche Gravitationsgesetz sowie die kosmischen Geschwindigkeiten kennenlernen.¹²⁸ Diese Klassenstufe hat zudem den Vorteil, dass die Lernenden laut Fachlehrplan im Mathematikunterricht mehr Gelegenheiten hatten, in Problemlöseaufgaben heuristische Strategien zu erlernen und Lösungswege zu reflektieren. Insbesondere durch die Komplexität des Vorhabens scheint es sehr sinnvoll, dass die Lernenden bereits Problemlösekompetenzen aufbauen konnten. Neben einer Durchführung an Gymnasien ist auch die Umsetzung an Sekundarschulen denkbar. Im Physik- und Astronomieunterricht werden hier ebenso die Grundlagen der Raumfahrt wie Kräfte, Beschleunigung sowie die Keplerschen Gesetze bis zur 10.

¹²⁶ LISA (2), (2022)

¹²⁷ Vgl. LISA (2), (2022); Vgl. LISA (1), (2019); Vgl. LISA (2), (2019); Vgl. LISA, (2017)

¹²⁸ Vgl. LISA (1), (2022)

Klasse unterrichtet.¹²⁹ Da diese allerdings nicht so intensiv vertieft werden wie an Gymnasien und generell ab der 10. Klasse ein besonders großer Fokus auf den Abschlussprüfungen liegt, wirkt die Umsetzung im Physikunterricht an Sekundarschulen eher unwahrscheinlich.

6.2 Erörterung des entwickelten Materials

Wie bereits durch die letzten Kapitel angedeutet, soll nun ein selbstgesteuertes Kleingruppenprojekt konzipiert werden, in dem Schüler*innen mithilfe des Videospiele Kerbal Space Program die Angst vor Fehlschlägen genommen wird und Fehler als Lernchance präsentiert werden. Aus diesen Kriterien ergeben sich somit für das zu planende Projekt folgende Lernziele:

1. Die Lernenden können Fehlschläge analysieren und daraus Handlungsalternativen ableiten.
 - a. Sie sind daher in der Lage, den Verlauf einer Mission zu beschreiben.
 - b. Die Lernenden können Abweichungen vom Missionsplan benennen.
 - c. Zudem können sie diese Abweichungen als Folge ihrer vorangegangenen Entscheidungen reflektieren und entsprechende Handlungsalternativen erörtern.
2. Die Schüler*innen können durch den Bau und Flug von Raketen in KSP Merkmale naturwissenschaftlichen Arbeitens charakterisieren und reflektieren.
 - a. Sie sind somit in der Lage, gemachte Fehlschläge und die daraus resultierenden Konsequenzen zu beschreiben.
 - b. Entsprechend können die Lernenden die Entwicklung ihrer Sachkompetenz bezüglich KSP auf Basis ihrer Fehlschläge reflektieren.
 - c. Die Schüler*innen können diese Fortschritt mit Fehlschlägen und Entwicklungen in historischen Raumfahrtprogrammen vergleichen und Gemeinsamkeiten erörtern.
3. Die Schüler*innen sind in der Lage, Informationen über Fehlschläge und Erfolge bezüglich KSP untereinander auszutauschen und wissenschaftlich zu diskutieren.
 - a. Entsprechend sind sie in der Lage, aus den Fehlschlagsbeschreibungen der Mitschüler*innen relevante Informationen zu erschließen.
 - b. Die Lernenden können diese Informationen mit ihren eigenen Erfahrungen mit KSP vergleichen und Unterschiede beschreiben.

6.2.1 Rollen von Schüler*innen und Lehrpersonen sowie Fokus des Unterrichtsmaterials

Um derartige Lernziele in Form von selbstgesteuerter Kleingruppenprojektarbeit umzusetzen, wurde in Kapitel 5 die Verteilung von Expert*innenrollen innerhalb der Gruppen empfohlen. Zur Schaffung einer entsprechenden Notwendigkeit und Bedeutsamkeit jeder Rolle können die unterschiedlichen physikalischen Herausforderungen genutzt werden, welche den verschiedenen Phasen einer Mission

¹²⁹ Vgl. LISA (1), (2019); Vgl. LISA (2), (2019)

in KSP innewohnen. Für das Projekt wurde sich für eine Mission zu einem der Kerbin-Monde entschieden, da diese aus insgesamt 5 bis 9 Phasen besteht. Im Fall einer bemannten Mission, in der auf der Oberfläche von Mun gelandet werden soll und die Crew nach Kerbin zurückkehrt, ergeben sich somit folgende Phasen:

- (1) Start auf der Oberfläche von Kerbin
- (2) Erreichung eines Orbits um Kerbin
- (3) Erreichung eines Transferorbits zu Mun
- (4) Erreichung eines Orbits um Mun
- (5) Landung auf Mun
- (6) Start von der Oberfläche von Mun
- (7) Erreichung eines Orbits um Mun
- (8) Erreichung eines Transferorbits zu Kerbin, der möglichst in einem Suborbit auf Kerbin endet
- (9) Landung auf Kerbin

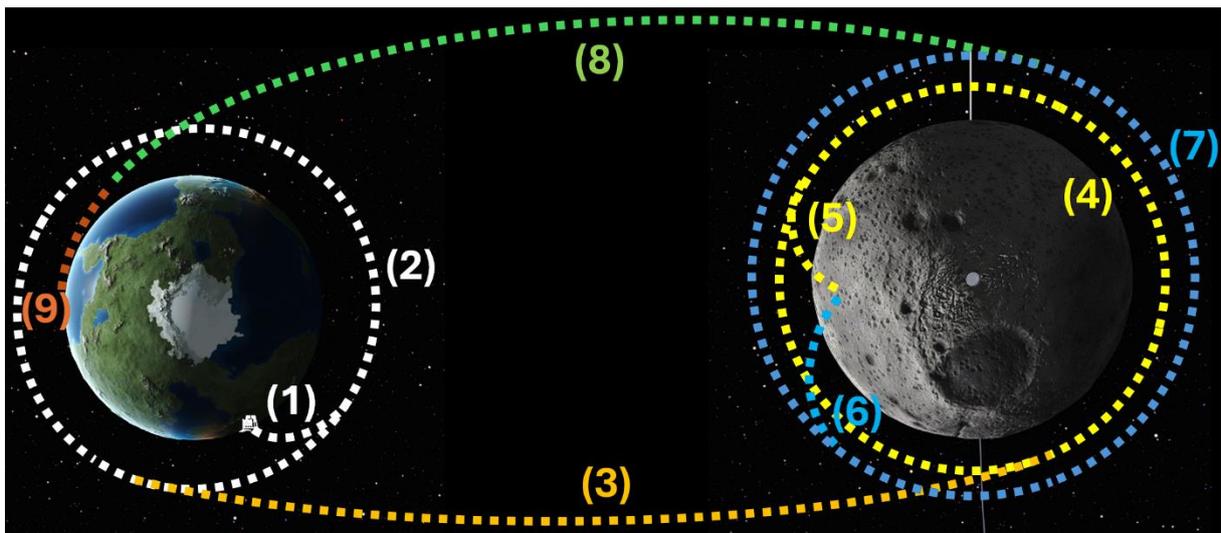


Abbildung 13: Skizzierte Darstellung der Phasen einer bemannten Mun-Mission in KSP

Eine unbemannte Mission ohne geplanten Rückflug würde entsprechend nach Schritt 5 enden. Auch wenn sich die Phasen in ihrer Zielsetzung unterscheiden, gleichen sie sich in den damit einhergehenden Herausforderungen. Beispielsweise finden Phase 3, 4, 7 und 8 im Vakuum und in Schwerelosigkeit statt, sodass hier Flugmanöver ohne Zeitdruck mit Hilfe der Manöverplanungsansicht durchgeführt werden können. Daher bietet sich die Verteilung von Aufgaben auf die folgenden drei Experten*innenrollen an.

Table 2: Verteilung von Aufgaben der Expert*innen bei einer bemannten und unbemannten Mun-Mission

Kerbin-Expert*innen	Orbit-Expert*innen	Mond-Expert*innen
(1) Start auf der Oberfläche von Kerbin	(3) Erreichung eines Transferorbits zu Mun	(5) Landung auf Mun
(2) Erreichung eines Orbits um Kerbin	(4) Erreichung eines Orbits um Mun	(6) Start von der Oberfläche von Mun
(9) Landung auf Kerbin	(8) Erreichung eines Transferorbits zu Kerbin, der möglichst in einem Suborbit auf Kerbin endet	(7) Erreichung eines Orbits um Mun

Diese Aufteilung konfrontiert nur jeweils eine Expert*innengruppe mit bestimmten Herausforderungen wie die Landung auf einem Himmelskörper mit und ohne Atmosphäre. Wie gefordert sind somit alle Expert*innen einer Gruppe gleichsam unabdingbar für den Erfolg der Mission und besitzen damit Verantwortung über ihre Phasen. Aus der Anzahl an Expert*innenrollen ergibt sich eine Gruppengröße von mindestens drei Schüler*innen. Da die Anzahl an Lernenden einer Klasse allerdings nur in 33,3% der Fälle restlos durch drei teilbar ist, sollten auch Gruppen aus vier Lernenden erlaubt werden. In dem Fall muss eine Expert*innenrolle in der Gruppe doppelt besetzt werden. Die zwei gleichen Expert*innen könnten dazu ihre Phasen jeweils erneut untereinander aufteilen und sich somit weiter spezialisieren. Allerdings variiert die Komplexität der einzelnen Phasen teilweise stark und damit auch der Zeitaufwand, der zum Meistern dieser Phasen benötigt wird, wodurch diese Methodik weniger sinnvoll wirkt. Alternativ könnten die Expert*innen auch zusammenarbeiten und somit gemeinsam über aufkommende Fehlschläge diskutieren. Hier besteht allerdings der Nachteil, dass einer der Expert*innen zum Trittbrettfahrer mutiert. Entsprechend kann hier keine konkrete Empfehlung ausgesprochen werden, außer den Schüler*innen in Vierergruppen diese Entscheidung selbst zu überlassen.

Genauso wichtig wie die Arbeitsteilung in den Gruppen ist auch, wie diese durch die Arbeit am Gruppenziel auf Wissensbestände und Kompetenzen aus dem Fachunterricht angewiesen sind. Bei der Durchführung in einer gymnasialen 10. Klasse wäre beispielsweise denkbar, dass die Schüler*innen für jede Phase zuvor eine Schätzung des dafür benötigten Δv anhand physikalischer Gesetze erarbeiten sollen. Allerdings ist nach 4.2 davon auszugehen, dass der Cognitive Load bei vielen Lernenden bereits ohne derartige Mathematisierungen hoch einzuschätzen ist und somit insbesondere Leistungsschwächere darunter leiden würden. Dadurch, dass derartig komplizierte Rechenaufgaben

den Spielspaß einiger Lernender negativ beeinflussen würden, bietet es sich allenfalls an, Schätzungen in Unterrichtsstunden vor dem Projekt zu berechnen und sie dann im Projekt zu verwenden. Da die Lernenden zudem auch ohne tiefgehende Berechnungen astronomisch-physikalische Inhalte in KSP erleben, erscheint es stattdessen sinnvoller, das Projekt hauptsächlich auf das Machen von Fehlern zu fokussieren. Entsprechend muss auch abgewogen werden, wie mit Fehlern während des Projektes umgegangen werden muss. Zum einen wird in Kapitel 2 unter anderem die Vorwegnahme von Fehlern als eher lernhinderlich beschrieben. Zum anderen dürfen keine Fehlersituationen durch unklare Formulierungen seitens der Lehrkraft entstehen, da die Schüler*innen durch derartige Fehler lediglich frustriert werden. Allgemein sollte die Lehrkraft während des gesamten Projektes für ein möglichst gutes Fehlerklima in der Klasse sorgen. Entsprechend reagiert sie in Fehlersituation ohne Häme und Personenbezug und unterlässt das Bermudadreieck der Fehlerkorrektur sowie das Publimachen von Fehlern. Stattdessen nimmt die Lehrkraft im Großteil der Zeit eine beratende Rolle ein, gibt Lernenden gegebenenfalls begründetes Feedback und nimmt deren Gefühle ernst. Generell ist das Projekt möglichst wenig kompetitiv zu gestalten. Daher sollte das Gruppenprodukt nicht im Vordergrund stehen und dieses entsprechend auch nicht benotet werden.

6.2.2 Präparation der Spieldateien

Ähnlich elementar für das Projekt ist die Vorbereitung eines Spielstandes in KSP. Dies hat den Vorteil, dass der Spielstand lediglich einmal auf jeden Computer kopiert werden muss und die Erstellung nicht zusammen mit den Schüler*innen erfolgen muss. Um das Ziel einer durchzuführenden Mondmission für die Lernenden zu erleichtern, wurden im Spielstand folgende Einstellungen getätigt:

- Damit die Schüler*innen im Fall einer unbemannten Mondmission keine zusätzlichen Relay-Satelliten im Orbit platzieren beziehungsweise auf Empfangsprobleme stoßen, wurde der *Range Modifier* von Antennen auf 1,5x erhöht und der *Occlusion Modifier* auf 0x verschoben. Mit diesen Einstellungen muss dennoch mindestens eine weitere Antenne am Raumschiff angebracht werden, um spätere Empfangsprobleme zu vermeiden.
- Um die negativen Konsequenzen von Fehlschlägen in KSP zu verringern, wurde der *Sandbox*-Spielmodus für den Spielstand gewählt. Entsprechend verfügen die Schüler*innen über ein unbegrenztes Kapital.
- Um den Wiedereintritt in die Atmosphäre zu vereinfachen, wurde das *Kerbal G-Force Limit* deaktiviert, sodass die Astronaut*innen nicht mehr von zu hohen Beschleunigungen ohnmächtig werden. Aus demselben Grund wurde *Re-Entry Heating* auf 80% festgelegt, wodurch eine Raumkapsel für den Wiedereintritt zwar nach wie vor einen Hitzeschild benötigt, aber seitlich angebrachte Teile deutlich weniger Gefahr laufen, von diesem nicht ausreichend geschützt zu sein.

Neben diesen Einstellungen wurden im Spielstand mehrere Raketen und Raumschiffe erstellt und teilweise gestartet. Mit der *Load*-Funktion lassen sich diese gestarteten Raketen an gewünschten Positionen speichern und beliebig oft neu laden. Nicht gestartete Raketen lassen sich wiederum von den Lernenden in der Raketenwerkstatt laden und modifizieren. Diese Speicher- und Lademöglichkeiten bieten somit eine Grundlage, mit der die Schüler*innen später in Form von Aufgaben an Expertise gewinnen können. Um das bloße Nachbauen von diesen vorgefertigten Raketen einzuschränken, sind nicht alle von mir erstellten Raketen und Raumfahrzeuge für die Schüler*innen in der Raketenwerkstatt sichtbar.

Über diese Spielstandeinstellungen hinaus wurden weitere Präparationen an KSP vorgenommen. Um eine möglichst hohe Kompatibilität mit Schulcomputern zu erreichen, sollten die Grafikeinstellungen zu Beginn auf ein Minimum reduziert und dann sukzessive bis zu einem weiterhin spielbaren Punkt wieder erhöht werden.¹³⁰ Um zudem beim Bau von Raketen die Usability zu erhöhen und den Cognitiv Load zu verringern, wird die Anzahl an unterschiedlichen Bauteilen stark reduziert. Dazu wird der *Advanced Mode* der Raketenwerkstatt verwendet, welcher sich mit einem Linksklick auf das Dreieck in der links-oberen Interface-Ecke befindet. Somit kann jede Gruppe von Expert*innen einen eigenen Reiter an Bauteilen erhalten, in dem ausschließlich Teile vorhanden sind, die sie für ihre jeweiligen Phasen benötigen. Trotz dieser Einschnitte in die Freiräume der Expert*innen besitzen die Schüler*innen weiterhin die Möglichkeit, auf Probleme mit unterschiedlichen Teilen und Konstruktionen kreativ zu reagieren. Gleichzeitig kann nach wie vor auf die vollständige Teilauswahl zugegriffen werden, falls dies in individuellen Situationen nötig ist.



Abbildung 14: Neu erstellte Reiter für Expert*innen

6.2.3. Zeitrahmen der Projektarbeit

Bevor im nächsten Abschnitt der Ablauf des Projektes beschrieben wird, soll hier kurz auf die zeitliche Rahmung des Projektes eingegangen werden. Auch wenn nach Kapitel 4 KSP als ein unterrichtstaugliches Videospiel verstanden werden kann, darf die Komplexität der Software nicht außer Acht gelassen werden. Trotz der Arbeitsteilung durch die Expert*innenrollen ist die Landung auf einem der Kerbin-Monde nach wie vor ein kompliziertes Unterfangen, welches gegebenenfalls mehrere Anläufe benötigen wird. Durch die Forderung nach einem fehlerfreundlichen Projektablauf muss nach Kapitel 2 generell in jede Arbeitsphase ausreichend Zeit zum mehrfachen Erleben und Reflektieren von Fehlern eingeplant werden und das, ohne das Missionsziel zu gefährden.

¹³⁰ Anmerkung des Autors: Konkret liegt dieser Punkt vor, wenn der Start einer Rakete auf dem Bildschirm nicht hakend wirkt oder wie ein Daumenkino aussieht.

Desweiteren wird nach Kapitel 3 empfohlen, sowohl ausreichend Zeit zur freien Erkundung des Spiels als auch zur Erlernung der Handhabung einzuplanen. Ebenso muss nach Kapitel 5 genügend Zeit für Reflexions- und Austauschphasen eingeplant werden. Um diesen Ansprüchen nachzukommen, wurde daher das Projekt für einen Zeitrahmen von insgesamt drei 90-minütigen Unterrichtsstunden konzipiert. Auch wenn dies zur Erreichung von drei Lernzielen nach vergleichsweise viel Zeit klingt, wurde der Projektablauf möglichst zeiteffizient konzipiert und ist im Angesicht des Ziels weiterhin eher knapp bemessen. Da das Material im Rahmen dieser wissenschaftlichen Hausarbeit allerdings auch getestet werden soll und dazu entsprechende Schulen angeworben werden müssen, wurde die Projektlänge auf diese Projekttag-übliche Zeitspanne beschränkt.

6.2.4 Projektablauf

Die folgenden Erörterungen beziehen sich auf den „*Unterrichtsverlaufsplan*“ sowie die Dateien im „*Trainingsmissionen für Experten*“- und dem „*PowerPoints*“- Ordner, welche auf der DVD im Anhang im Ordner „*Unterrichtsmaterial 1.0*“ zu finden sind.

Projektorganisation

Um den Schüler*innen innerhalb der Projektzeit möglichst viel Zeit zum Fehlermachen zu ermöglichen, beginnt das Projekt bereits eine Unterrichtsstunde vor dem eigentlichen Projekttag. Hier sollen die Lernenden bereits über das Ziel des Projekts informiert werden. Um als Lehrperson den Lernenden die groben Ziele der Expert*innen zu vermitteln sowie erste Einblicke in das Spiel zu gewährleisten, wurde die Präsentation „*PowerPoint 1 Organisatorisches*“ entworfen. Zudem bekommen die Schüler*innen bereits hier die folgenden organisatorischen Instruktionen, die sie bis zum Projekttag erledigen müssen:

- Da sich nach Kapitel 5 die Arbeitszufriedenheit durch selbstorganisierte Gruppen erhöht, sollen die Schüler*innen Dreier- bis Vierergruppen bilden und die Expert*innenrollen untereinander aufteilen.
- Um sowohl die Interessen als auch Leistungsfähigkeiten der Lernenden zu differenzieren, müssen die Gruppen entscheiden, ob sie eine bemannte oder eine unbemannte Mondmission planen und zu welchem der beiden Monde sie fliegen wollen. Da Mondexpert*innen auf Minmus zwar durch die geringere Fallbeschleunigung leichter landen können, aber dieser Mond für Orbitexpert*innen gleichzeitig schwerer zu erreichen ist, unterscheidet sich somit der Schwierigkeitsgrad mit der Wahl des Gruppenziels für die einzelnen Expert*innen der Gruppe.
- Um in jeder Gruppe das Zusammengehörigkeitsgefühl und somit die intrinsische Motivation der Schüler*innen weiter zu fördern, haben diese die Option, eine eigene Flagge zu designen. Je nach Ziel können sie diese am Projekttag auf dem Mond als Flagge platzieren oder auf ihrer

Rakete abdrucken. Für möglichst wenig Komplikationen sollten diese allerdings vor dem Projekttag an die Lehrkraft geschickt werden, sodass diese die Flaggen in den entsprechenden Spielordner platzieren kann.

Um die Lernenden bei dieser Hausaufgabe zu unterstützen und aktuell abwesende Schüler*innen nachträglich auf das Projekt vorzubereiten, wurde die doppelseitige „Broschüre“ entworfen, welche die eben genannten Informationen zusammenfasst und den Schüler*innen ausreichend Platz zur Organisation ihrer Gruppen lässt.

Projektbeginn und Erlernen der Bedienung von KSP

Der eigentliche Projekttag beginnt so, wie er für gewöhnlich in der Klasse beginnen würde. Da das Material an mehreren Schulen getestet wird und damit mit unterschiedlichen Begrüßungsritualen gerecht werden muss, wurde dazu am Projektbeginn zusätzliche Zeit freigehalten. Im gleichen Zug wird den Schüler*innen zudem der Ablauf des Projektstages beschrieben.

Nach dieser organisatorischen Phase beginnt das Projekt mit einer Bedienungserklärung von KSP. Hier müssen die Schüler*innen die Menüführung der Software verstehen und lernen, wie sie ein Raumfahrzeug steuern und selber bauen können. Da die Lernenden hauptsächlich in Einzelarbeit ihr Expert*innenwissen aufbauen werden, bekommt dazu jeder einen Computer mit KSP. Um die Erklärung der Steuerung zusätzlich zu verbessern, startet die Lehrkraft KSP ebenso und präsentiert den Bildschirminhalt sichtbar im Klassenraum. Entsprechend beginnt die Erklärung im Startmenü mit dem Laden des Spielstandes. Um den Cognitiv Load eher sukzessive zu erhöhen, wird im Anschluss die Steuerung von Raketen erklärt. Dazu wurde mit der Loading-Funktion eine Rakete in einen Orbit um Kerbin gespeichert. Zum einen lernen die Schüler*innen somit bereits die Loading-Funktion von KSP kennen. Zum anderen hat dies den Vorteil, dass die Steuerung der Rakete durch die Schwerelosigkeit einigermaßen gefahrlos erkundet und die Bedeutung der Kartenansicht präsentiert werden kann. Insbesondere letzteres stellt eine geeignete Repräsentationsform dar, um die Auswirkung des Schubgebens zu erleben und Orbitalmanöver zu planen. Die Vorspul-Funktion von KSP kann hier dabei helfen, diese abstrakte Darstellungsform zusätzlich zu veranschaulichen. Neben Schubsteuerung, Richtungskontrolle und Kartenansicht sollte hier zudem der Autopilot, die Abtrennung von Stufen und die „Rechtsklickbarkeit“ von Bauteilen wie Solarzellen erklärt werden.

Im Anschluss kann nun die Erklärung des Raketenbaus erfolgen. Dazu bietet es sich an, die aktuelle Rakete über das Menü gemeinsam zu verlassen und zum Space Center zurückzukehren. Im Vehicle Assembly Building angekommen werden die Schüler*innen zur Verringerung des Cognitive Loads

direkt zu den erstellten Teilereitern aus Abbildung 14 geführt. Zusätzlich zu den Expert*innenreitern wurde ein „Grundlagen“-Reiter hinzugefügt, welcher die Teileauswahl weiter einschränkt und somit ideal zur jetzigen Erklärung der Grundlagen genutzt werden kann. Entsprechend erklärt die Lehrperson anhand dieses Reiters das Verbinden und Rechtsklicken von Teilen, das Symmetrie-Feature sowie Stabilisierungskabel und die Einstellung der Stufenreihenfolge. Dazu sollte die Lehrperson selbst über ihren Computer eine Rakete konstruieren und daran stückweise diese Features erläutern. Ebenso kann hier die EDU-Version exklusive *Ressource Flow Analyse* erklärt werden. Diese visualisiert,

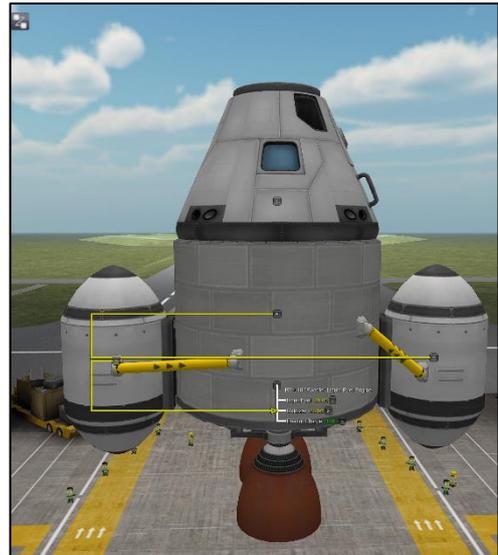


Abbildung 15: Ressource Flow Analyse des Raketenantriebs

von welchen Treibstofftanks welcher Antrieb seinen Treibstoff bezieht. Des Weiteren sollte die Lehrperson das Laden und Speichern von Raketen erklären und demonstrieren, wie die Missionsflagge gewählt werden kann.

Um das Steuern und Konstruieren von Raumfahrzeugen aktiv zu trainieren und zeitgleich Platz für die Kreativität der Lernenden zu schaffen, erfolgt nach der Erklärung der Steuerung eine 30-minütige Erkundungsphase. Hier haben die Schüler*innen in Einzel- oder Teamarbeit unter anderem die Möglichkeit, bestimmte Teilgruppen näher kennen zu lernen. Beispielsweise nutzen Booster ausschließlich den Treibstoff, den sie in sich tragen und können nach der Zündung nicht mehr reguliert werden. Um den Lernenden in der Erkundung dennoch ein Ziel als Orientierung an die Hand zu geben, sollen diese innerhalb der Zeit eine Rakete konstruieren und mit dieser möglichst hoch fliegen. Um insbesondere leistungsschwächere und unsichere Schüler*innen nicht mit dieser Aufgabe zu überfordern, wurde zusätzlich eine „Grundlagen“-Rakete zum Laden im Vehicle Assembly Building hinzugefügt. Anstelle eine eigene Rakete zu konstruieren, haben die Schüler*innen ebenso die Möglichkeit, diese für die Erkundung zu nutzen und sukzessive mit anderen Teilen zu modifizieren. Da zudem davon auszugehen ist, dass sich nicht alle Lernenden an sämtliche Tastenbelegungen aus der Erklärungsphase erinnern können, wurden diese auf einer Folie in „PowerPoint 2 Projekt“ zusammenfassend aufgelistet. Dennoch aufkommende Fragen der Lernende werden während der Erkundungsphase von der Lehrkraft beantwortet.

Da Kapitel 5 die Implementierung von Reflexionsgelenkstellen zwischen den Projektphasen empfiehlt, sollen die Lernenden im Anschluss der Erkundungsphase die Möglichkeit bekommen, ihren Mitschüler*innen ihre Erlebnisse zu beschreiben. Dazu fragt die Lehrperson die Klasse sowohl nach

Bedienungserfahrungen als auch nach erlebten Schwierigkeiten. Sofern an allen Computern der Ton angestellt ist, sollten während der Erkundungsphase einige Explosionen im Klassenraum zu hören sein, welche somit die Fehlschläge der Lernenden als etwas gewöhnliches präsentieren sollten. Entsprechend kann die Lehrkraft auch nach den größten Explosionen fragen und wie die Lernenden damit umgegangen sind. Diese Umstände sollten somit die Lernenden ermutigen, offen über Fehlschläge zu reden. Dies könnte wohlmöglich bereits jetzt aufzeigen, dass Fehlschläge dennoch helfen können, einem Ziel näher zu kommen.

Gewinnung von Expertise

Da die Lernenden nun ausreichend mit der Software vertraut sind, können die Expert*innen jeder Gruppe ihre nötigen Kompetenzen bezüglich ihrer Missionsphasen aufbauen. Daher erfolgt anschließend an das Reflexionsgelenk eine Einweisung in die bevorstehende Erarbeitungsphase. Hier lernen die Schüler*innen das Zeichen kennen, welches ihrer Expert*innenrolle zugeordnet ist und im Baumenü ihren Teilereiter repräsentiert. Zudem erhalten die Schüler*innen den Arbeitsauftrag,

- Probleme und Unsicherheiten zu dokumentieren, da diese in der darauffolgenden Phase mit anderen Expert*innen diskutiert werden sollen sowie
- eine Checkliste zu erstellen, welche für den späteren gemeinsamen Raketenbau als Unterstützung dienen soll.

Für die Erarbeitung der Expertise standen bei der Materialkonzeption unterschiedliche Ansätze zur Verfügung. Im Sinne von Kapitel 2 und 5 sollte möglichst wenig vom Erarbeitungsprozess vorweggenommen und stattdessen viel Freiraum für eigene kreative Lösungswege gewährleistet werden. Entsprechend sinnvoll wirkt da eine erneute Erkundung mit einer auf die Missionsphasen angepassten Zielsetzung. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Lernenden für einen derartig offenen Ansatz bedeutend mehr Zeit zur Erreichung der Ziele benötigen sowie durch die große Anzahl an möglichen Fehlerursachen lediglich größerem Frust ausgesetzt sind. Stattdessen erhalten Expert*innen zu ihren Missionsphasen konkrete Ziele und jeweils eine Anleitung, wie sie diese erfolgreich erreichen. Beispielsweise müssen Kerbinexpert*innen in „Mission 1“ eine Rakete von der Startrampe bis in einen Orbit um Kerbin lenken.

Insgesamt wird jede Aufgabe jeweils mehrmals von den Expert*innen geübt. Um die Fehlerquellen beim ersten Mal auf die Flugkünste der Expert*innen zu beschränken, wird die erste Mission zu einer Aufgabe immer anhand einer vorgefertigten Rakete trainiert. Diese können von den Schüler*innen durch die Load-Funktion beliebig oft geladen und wiederholt werden. In der darauffolgenden Mission erhöht sich der Schwierigkeitsgrad derselben Aufgabe, indem diese nun mit einer selbstkonzipierten Rakete wiederholt werden soll. Dazu wurde für einen Großteil der Missionen eine Ladung vorbereitet,

welche jeweils bis zum Phasenziel transportiert werden soll und somit die Expert*innen auf den gemeinsamen Raketenbau vorbereitet. Da allerdings nur die Missionen der Kerbin-Expert*innen auf der Startrampe beginnen, müssen die gebauten Raumfahrzeuge der anderen Expert*innen an eine geeignete Position verschoben werden. Dies erfolgt über das *Cheat*-Menü von KSP, welches sich mit einer Tastenkombination aufrufen lässt und Raketen direkt in einen gewünschten Orbit positionieren kann. Somit können die Expert*innen auch ohne die Hilfe ihrer Gruppenmitglieder ihre Missionen durchführen und sind entsprechend unabhängig vom Lerntempo ihrer Kolleg*innen. Um die Expert*innen auf ihr gewähltes Gruppenziel optimal vorzubereiten, wurden für gleiche Missionen unterschiedliche Raketen vorbereitet. So können beispielsweise Kerbinexpert*innen in Mission 3 unterschiedlich große Ladungen wählen und Mondexpert*innen haben die Möglichkeit, zwischen Landeversuchen auf Mun und Minmus zu wählen. Falls eine Gruppe den Rückflug zu Kerbin plant, müssen die Gruppenmitglieder allerdings entsprechend zusätzliche Missionen im gleichen Zeitraum meistern.

Zur Verteilung der Expert*innenaufgaben wurden Arbeitsblätter erstellt, welche inklusive eines Deckblattes mit Expert*innensymbol und einer Steuerungs- und Bedienungserklärung von KSP von der Lehrkraft zusammengetackert werden können. Neben den Aufgabenzielen und dazu passenden Anleitungen beinhalten diese Arbeitshefte zusätzlich:

- Bilder, welche komplexe Anleitungsschritte der Missionen visualisieren,
- Angaben, welche Teile teilweise für bestimmte Phasen benötigt werden und Richtwerte, wie viel Δv die gebauten Raketenstufen in Summe aufbringen sollten sowie
- Hinweise, die bei der kommenden Mission beachtet werden sollten.

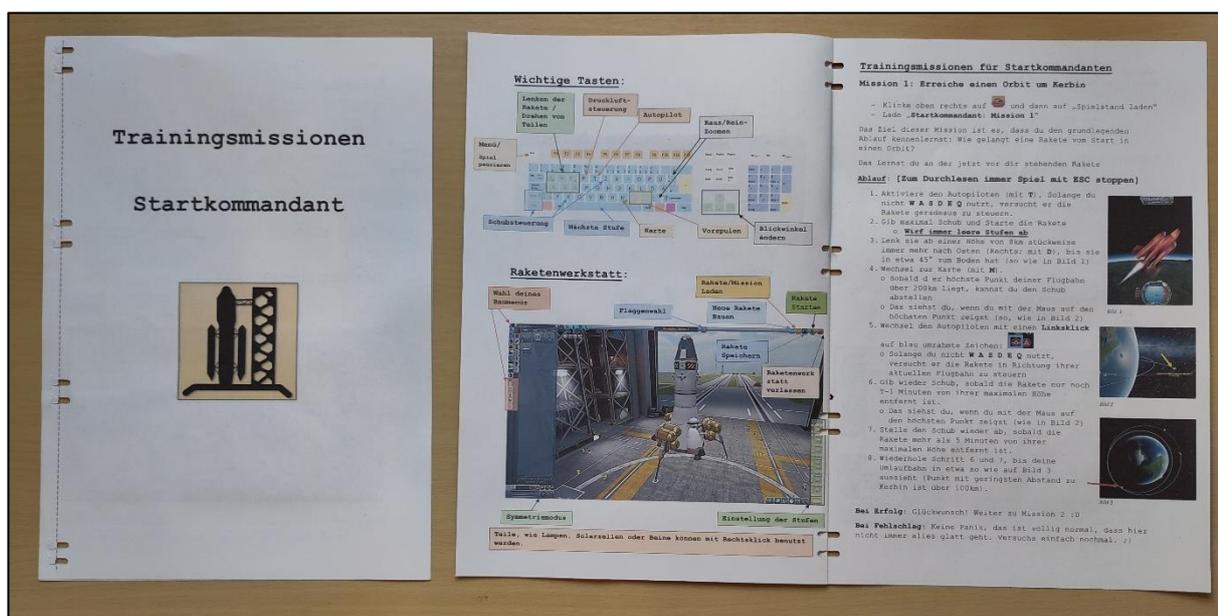


Abbildung 16: Erste Seiten des Arbeitsheftes für Kerbin-Expert*innen (Deckblatt, Bedienungserklärung und erste Mission)

Auch wenn diese Anzahl an fehlerverhindernden Maßnahmen in Anbetracht des Projektziels fraglich erscheint, sollten die Lernenden während dieser Erarbeitungsphase durch die weiterhin vorherrschende Komplexität der Aufgaben nach wie vor Fehlschläge erleiden. Zusätzlich steht denen in Einzelarbeit arbeitenden Schüler*innen hier die Lehrperson zur Verfügung, welche auch hier eine beratende Rolle einnimmt. Alles in allem sollte somit gewährleistet sein, dass Schüler*innen auch trotz mehrerer Fehlschläge in einem Zeitraum von 80 Minuten genug Kompetenz aufbauen, um ihre Missionsphasen ausreichend meistern zu können. Für den Fall, dass eine Gruppe mit geplantem Rückflug allerdings nicht alle notwendigen Extramissionen abschließen konnte, wurde durch die Anordnung der Missionen dafür gesorgt, dass sie dennoch eine unbemannte Mission durchführen können.

Reflexion der Erarbeitungsphase

Wenn bei manchen Expert*innen dennoch ungelöste Probleme oder Fragen existieren, haben die betroffenen Schüler*innen die Möglichkeit, diese im Anschluss an die Erarbeitungsphase zu klären. Dazu bilden die Kerbin-, Orbit- und Mondexpert*innen der Klasse jeweils eine neue Gruppe. Falls die genutzten Computer Laptops sind, können die Expert*innen ihre Fragen und Probleme direkt im Spiel präsentieren. Ebenso besteht bei Windows-Computern die Möglichkeit, mit der Tastenkombination *Windowstaste + G* das Geschehen mitzuschneiden. Da in der Erarbeitungszeit nach wie vor mit Fehlschlägen und entsprechenden Explosionen zu rechnen ist, sollten die Lernenden sich weiterhin ermutigt fühlen, Fehler anzusprechen und mögliche Handlungsalternativen mit anderen Expert*innen zu diskutieren. Als weitere Präventionsmaßnahme erhalten die Lernenden zudem den Arbeitsauftrag, ihre erstellten Checklisten zu vergleichen.

Mit dem Ende des Expert*innentreffs endet aber noch nicht die Reflexion der Erarbeitungsphase. Analog zum Ende der Erkundungsphase findet hier ein weiteres Reflexionsgelenk statt. Da bereits ein Teil der Erarbeitungsphase innerhalb der Expert*innengruppen reflektiert wurde, richtet die Lehrkraft hier ihre Fragen direkt an die einzelnen Expert*innengruppen. Die Lehrkraft fragt daher insbesondere nach den größten Herausforderungen der bevorstehenden Mondmissionen und wie diese von den Expert*innen bisher gelöst wurden.

Da sich diese Reflexion am Ende des zweiten 90-minütigen Unterrichtsblocks befindet, verkündet die Lehrperson an dieser Stelle zudem, dass Gruppen mit geplanter Rückkehr bei fehlenden Erfolgen in den Zusatzmissionen stattdessen eine unbemannte Mission durchführen können. Auch wenn dies die Fehlschläge der Schüler*innen bestraft und die Gruppenmitglieder enttäuschen könnte, erhöht diese Maßnahme gleichzeitig die Erfolgchance der bevorstehenden Mondmission. Wichtig ist dabei, dass die Gruppe die Entscheidung selbst trifft und nicht von der Lehrperson zu einer Missionsart gedrängt wird.

Die gemeinsame Mondmission

Da nun alle Gruppenmitglieder über ausreichend Expertise bezüglich ihrer Missionsphasen aufgebaut haben, kann nun mit dem gemeinsamen Bau und Flug der Mondrakete begonnen werden. Dazu kehren die Schüler*innen aus den Expert*innengruppen wieder in ihre Stammgruppen zurück und sammeln sich jeweils vor einem Computer. Für jede zu planende Flugphase setzen sich die dazu passenden Expert*innen an die Computer und konstruieren somit sukzessive die Rakete. Damit die bereits konstruierten Raketenstufen durch den Weiterbau nicht in ihrem Δv beeinflusst werden, empfiehlt die Lehrkraft beim Baubeginn, die Rakete „rückwärts“ zu planen. Entsprechend sollen sie mit dem Ende der Mission beginnen und den Raketenstart auf Kerbin als letztes planen. Da zudem auch die anderen Gruppenmitglieder über grundlegende Kompetenzen im Raketenbau verfügen, supervidieren diese dabei den aktuell bauenden Lernenden. Da sich insbesondere jede Designentscheidung auf die Baubedingungen der darauffolgenden Expert*innen auswirkt, werden alle Gruppenmitglieder gleichsam zum Mitdenken animiert. Beispielsweise könnte die Kerbin-Expertin dem Mondexperten einer Gruppe empfehlen, das Landesysteme für den Mond kleiner zu planen und somit die Planung der anderen Phasen zu vereinfachen.

Der Start einer Rakete kann direkt nach dem Bau erfolgen. Obwohl es alternativ für die Mitschüler*innen wahrscheinlich spannend wäre, die Raketen der anderen Gruppen ebenso in Aktion zu erleben, würde die Verfolgung jeder Mondmission bedeutend mehr Unterrichtszeit benötigen. Um den Verlauf der Mission dennoch zu dokumentieren, können die Gruppen im Fall von Windows-Computern mit der Tastenkombination *Windowstaste* + *G* den Flug optional aufzeichnen. Die Aufzeichnung kann ebenso nützlich sein, falls es während der Mission zu Fehlern kommt und entsprechende Handlungsalternativen diskutiert werden müssen. Um dazu notwendige Anpassungen an der Rakete vorzunehmen, kann die Gruppe den Flug zurücksetzen und in das Vehicle Assembly Building zurückkehren. Zusätzlich bietet es sich an, die *QuickSave*-Funktion von KSP zu nutzen, um erfolgreich abgeschlossene Flugphasen bei einem Fehlschlag nicht erneut durchführen zu müssen. Dies sorgt für einen geringeren Zeitaufwand bei der Fehlerbehebung und schwächt somit die negativen Folgen des Fehlschlags ab. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Ermittlung von Fehlerursachen und deren Korrektur wenig Zeit in Anspruch nehmen wird. Beispielsweise bietet die Einstellung der Stufenreihenfolge bei dem Ausmaß des Vorhabens großes Fehlerpotential. Daher sollte auch hier die Lehrperson eine beratende Rolle einnehmen und den Gruppen gegebenenfalls helfen, Probleme in der konstruierten Rakete zu identifizieren. Ebenso sollte die Lehrperson bei einer erfolgreichen bemannten Mondlandung zu der entsprechenden Gruppe gehen und erklären, wie diese ihre Astronaut*innen steuern können.

Abschluss des Projekts

Nach dem Ende der 65-minütigen Mondmissionsphase wird die verbleibende Zeit für einen gemeinsamen Abschluss des Projektes genutzt. Hier berichtet jede Gruppe ihre aktuelle Situation in der Mission, was auf dem Weg dahin bisher schief lief und was sie aus diesen Fehlschlägen lernen konnten. Durch die im Verlauf des Projektes erlebten Fehlschläge und die damit einhergehenden, offen angesprochenen Fortschritte bietet sich nun die allgemeine Thematisierung des Umgangs mit Fehlern an. Dazu greift die Lehrkraft die Tatsache der regelmäßigen Explosionen auf und beschreibt, dass Fehler bei einer derartig komplizierten Aufgabe etwas sehr Nachvollziehbares sind. Da die Lehrperson für die Durchführung des Projektes entsprechend eigene Expertise in KSP aufgebaut haben muss, kann sie beispielsweise auch von eigenen Fehlschlägen bei ihren ersten Mondmissionen berichten. Daraufhin fragt die Lehrkraft die Schüler*innen, welche Emotionen die Fehlschläge des heutigen Tages in ihnen ausgelöst haben und wie sie damit umgegangen sind. Auch wenn die Lernenden nach wie vor das Thematisieren persönlicher Fehlschläge als unangenehm empfinden könnten, fühlen sie sich wohlmöglich durch die Projekterfahrungen ermutigt, ihre Erfahrungen mit dem Umgang mit Fehlern zu teilen.

Dass Fehler, neben den negativen Emotionen, auch zum Fortschritt führen können, haben viele der Lernenden im Projektverlauf ebenso erlebt. Um den Schüler*innen das Lernen aus Fehlschlägen als eine derartig heuristische Methode zu vermitteln, präsentiert die Lehrkraft Fehlschläge des sowjetischen und amerikanischen Mondprogramms. Anschließend erklärt sie aber auch die Schlüsse, die daraufhin von den jeweiligen Verantwortlichen gezogen wurden und wie diese zu Fortschritt führten. Abschließend präsentiert die Lehrkraft über die PowerPoint-Präsentation den Zusammenschritt, den SpaceX zu ihrer Entwicklung der Falcon-9-Trägerrakete erstellt hat. Den stückweisen Fortschritt von SpaceX kann die Lehrkraft nun auf den erlebten Fortschritt der Lernenden während des Projektes beziehen und erwähnen, dass auch Gruppen, die bis jetzt nicht das Ziel erreicht haben, dies mit etwas mehr Arbeitszeit definitiv erreichen würden. Alles in allem wird somit betont, dass Fehlschläge:

- auch professionellen Institutionen passieren,
- schmerzhaft sein können, aber Lernchancen mit sich bringen und
- kein Indiz für mangelnde Intelligenz darstellen.

7. Methodik

Um der Frage nachzugehen, inwiefern Schüler*innen durch das in Kapitel 6 beschriebene Unterrichtsmaterial positive Erfahrungen bezüglich ihrer Fehlschläge erleben, soll das Material an Schulen erprobt werden. Dabei wird sich am Prinzip der Designforschung orientiert, wonach jede Durchführung anschließend reflektiert wird und entsprechende Optimierungen am Unterrichtsmaterial vorgenommen werden.¹³¹ Daher findet vor den Erprobungen in Schulen am 11. Mai 2024 ein zusätzlicher Testlauf mit Personen aus meinem Bekanntenkreis statt.¹³² Da nach 6.1 eine Durchführung mit Schüler*innen frühestens ab der 9. gymnasialen Klassenstufe zu empfehlen ist, wurden mehrere Schulen in Sachsen-Anhalt für einen Projekttag ab der entsprechenden Altersklasse angefragt. Somit kann das Material in Form eines Projekttages am 13. Juni an der *Neuen Schule Magdeburg* sowie am 19. Juni am *Christian-Wolf-Gymnasium* in Halle in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Physiklehrkräften erprobt werden. Die dazu notwendige Einrichtung der Schulcomputer sowie die Projekteinführung findet zudem am 3. Juni beziehungsweise am 12. Juni jeweils eine Woche vor den Projekttagen statt.

Zur Bestimmung der Angst der Schüler*innen vor eigenen Fehlern sowie ihrer Wahrnehmung von Fehlern als Lernchance haben Spychiger et al. bereits 2006 einen Fragenbogen entwickelt.¹³³ Dieser umfasst acht Fragen zur Skale der Lernchancewahrnehmung und fünf zur Skale der Fehlerangst. Nach Spychiger et al. und einer Studie von Heinze et al. von 2012 weisen diese Skalen jeweils ein Chronbachs Alpha von über 0,7 auf und besitzen somit eine akzeptable interne Konsistenz.¹³⁴ Spychiger et al. merken zudem an, dass die auch Skalen durch leichte Abwandlungen der Fragen auf gewünschte Unterrichtssituationen spezifiziert werden können.¹³³

Auf Basis der eben genannten Skalen wurden insgesamt zwei Fragebögen entwickelt, welche auf der DVD im Anhang im Ordner *Fragebögen* zu finden sind. Im Ersten wurden die Fragen von Spychiger et al. so umgeschrieben, dass diese sich auf den Physikunterricht der Lernenden fokussieren. Der zweite wiederum wurde so umformuliert, dass er ausschließlich die wahrgenommenen Lernchancen und Ängste während des Projektes adressiert. Da sich allerdings nicht sämtliche Fragen des Originalfragebogens auf letzteren anpassen ließen, umfassen die erstellten Fragebögen lediglich sechs Fragen zur Fehlerwahrnehmung als Lernchance und vier Fragen zur Fehlerangst. Wie sich diese Änderung auf die interne Konsistenz der Skalen auswirkt, soll im folgenden Kapitel diskutiert werden.

¹³¹ Vgl. Krüger, Parchmann & Schecker, (2014)

¹³² Idee für Vorgehen Vgl. Becker & Metz, (2022)

¹³³ Vgl. Spychiger, Kuster & Oser, (2006)

¹³⁴ Vgl. Spychiger, Kuster & Oser, (2006); Vgl. Heinze, Ufer, Rach & Reiss, (2012); Anmerkung des Autors: Heinze et al. fügten der Skale der Lernchancen eine weitere Frage hinzu und erreichten somit ein Chronbachs Alpha von 0,82

Durch diese unterschiedlichen Fragebögen kann zwar keine Einstellungsänderung der Schüler*innen gegenüber Fehlern gemessen werden, da sich Einstellungen aber allgemein über eher längere Zeitspannen verändern, wirkt eine derartige Messung auch nicht zielführend. Stattdessen soll ein Vergleich der Fragebögen lediglich zeigen, inwiefern das entwickelte Unterrichtsmaterial Fehler positiver erleben lässt, als es der alltägliche Physikunterricht tut. Dazu wird der erste Fragebogen bereits am Tag der Projektorganisation von den Schüler*innen ausgefüllt, während der zweite am Ende des Projektes angesiedelt ist. Letzterer verfügt zusätzlich über mehrere Zeilen, in denen die Lernenden weiteres Feedback und Verbesserungsvorschläge bezüglich des Materials äußern können. Im Rahmen des Datenschutzes beinhaltet jeder Fragebogen zudem eine Anonymitätserklärung sowie die Möglichkeit, die angegebenen Daten nicht in die Studie einfließen zu lassen. Die entsprechenden Datenschutzhinweise werden außerdem vor dem Austeilen der Fragebögen von mir vorgetragen.

8. Auswertung

Wie bereits beschrieben, wurde das erstellte Unterrichtsmaterial im Rahmen dieser wissenschaftlichen Hausarbeit insgesamt dreimal erprobt. Der Verlauf dieser Durchgänge und die daraus abgeleiteten Optimierungen am Material sollen nun in den folgenden Abschnitten beschrieben werden. Abschließend werden zudem die Ergebnisse der Fragebögen diskutiert. Die jeweiligen angepassten Versionen des Materials sowie eine Tabellenkalkulation mit den Ergebnissen der Fragebögen befinden sich auf der DVD im Anhang. Dabei entspricht das:

- „*Unterrichtsmaterial 1.1*“ der Anpassungen nach der Erprobung mit Bekannten,
- „*Unterrichtsmaterial 1.2*“ der Anpassungen nach der Neuen Schule Magdeburg und
- „*Unterrichtsmaterial 1.3*“ der Anpassungen nach dem Christian-Wolf-Gymnasium.

8.1 Erprobung mit Bekannten

8.1.1 Lehr-Lernsituation

Die erste Durchführung des entworfenen Unterrichtsmaterials fand in meiner privaten Wohnung statt. Entsprechend der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Hardware beschränkte sich die Anzahl an Teilnehmenden auf drei Personen. Somit bildeten eine Medizinstudentin, ein in Ausbildung befindlicher Veranstaltungstechniker sowie ein Neuntklässler des Georg-Cantor-Gymnasiums eine Gruppe. Die Software war insgesamt zwei der Proband*innen bereits bekannt, diese haben bisher allerdings kaum Erfahrung gesammelt. Durch die geringe Anzahl an Personen wurde bewusst auf die Austauschphase zwischen den Expert*innen und auf die Nutzung der Fragebögen verzichtet. Somit lag der Fokus des Versuchsdurchlaufes auf der empfundenen Usability von KSP, der Verständlichkeit der Aufgabenstellungen und Anleitungen sowie dem Vergleich zwischen der veranschlagten und tatsächlich benötigten Zeit. Als weitere Abweichung vom Unterrichtsverlaufsplan ergab sich zudem, dass die Gruppe erst am Tag des Projektes gemeinsam ihr Missionsziel wählten und die Rollen verteilten.

8.1.2 Auswertung der Durchführung

Zu Beginn lässt sich festhalten, dass sämtliche plenumsbasierte Projektphasen wie die Bedienungserklärung innerhalb der geplanten Zeitfenstern abgeschlossen werden konnten. Ebenso ausreichend wirkten die 30 Minuten an Erkundungszeit, da alle Expert*innen während der Erarbeitungsphase das Bauen und Steuern von Raketen ausreichend beherrschten. Dennoch kam es bei allen Spielenden vermehrt zu Fehlschlägen. Statt entmutigt zu wirken, starteten sie erneute Anläufe und wurden sukzessive besser. Entsprechend plausibel erscheint hier bereits, dass die Software beziehungsweise das Material zum Lernen aus den eigenen Fehlschlägen motivieren kann. Allerdings zeigte sich auch, dass der Zeitraum der Erarbeitungsphase insbesondere für Mondmissionen mit

geplantem Rückflug knapp bemessen ist. Innerhalb der 80 Minuten schaffte es lediglich der Orbit-Experte, alle Missionen erfolgreich abzuschließen, während die anderen zwei die letzte Aufgabe lediglich anfangen konnten. Die Gruppe beharrte, trotz der teilweise fehlenden Expertise, weiterhin auf dem Ziel einer bemannten Mun-Mission mit Rückflug. Der Bau der gemeinsamen Rakete verlief ebenfalls wie geplant. Neben gegenseitigen Ratschlägen und gemeinsamer Entscheidungsfindung wurde ebenso die Weiternutzung bestimmter Raketenstufen für unterschiedliche Missionsphasen diskutiert. Die konstruierte Rakete schaffte es tatsächlich bis zur Mun-Oberfläche, aber kippt bei der Landung um. Da die *Quicksave*-Funktion entgegen der Empfehlung nicht verwendet wurde, hätte die Mission von der Startrampe von Neuem beginnen müssen, was in der restlichen Arbeitszeit nicht möglich gewesen wäre.

Auch wenn die Gruppe das Projekt trotz der missglückten Landung als spannend empfand und Spaß dabei hatte, zeigte die Erprobung mehrere Problemstellen auf. Beispielsweise wurden Raketenantriebe ohne Beachtung ihrer Schubkraft an der Rakete angebracht, wodurch die Mun-Rakete auf der Startrampe kaum abheben konnte. Entsprechend wirkt es sinnvoll, bei der Erklärung der Raketenteile auf die Schubkraft eines Antriebs einzugehen. Generell wurden Aspekte wie Stufen, Treibstofffluss und Booster von mir bei der einleitenden Erklärung kaum thematisiert. Um ersteres besser vermitteln zu können, sollte die Lehrkraft gegebenenfalls die Grundlagenrakete als Anschauungsobjekt zu Hilfe nehmen. Um die Aufmerksamkeit der Lernenden zusätzlich auf die erstellten Teilerweiterer zu lenken, wurde in die Vorbereitungsaufgaben der Lehrkraft die optionale Löschung von zwei Spieleordner hinzugefügt. Das dadurch gelöschte Bauteil des Salatkopfes schaffte es, eine ungeplante Erkundungsphase des



Abbildung 17: Salatkopf-Bauteil

vollständigen Teilerweiterer zu initiieren, welche ein Gruppenmitglied durch die Fülle an Bauteilen kurzzeitig überwältigte. Neben Anpassungen bei der Erklärung des Vehicle Assembly Buildings wurde auch die Erklärung der Raketensteuerung überarbeitet. Da der Grundlagensatellit schnell durch ungünstiges Schubgeben auf Kerbin abstürzt, wurde dieser auf einen höheren Orbit verschoben und sein Raketentriebwerk gedrosselt.

In der Erarbeitungsphase erlitten die Expert*innen zudem Fehlschläge aufgrund unklarerer Kommunikation. Beispielsweise wurde zum Lesen der Anleitung das Spiel nicht pausiert, wodurch notwendige Manöver nicht rechtzeitig durchgeführt werden konnten. Um dies in Zukunft zu verhindern, wird nun in jeder Anleitung auf die Nutzung der *ESC*-Taste verwiesen. Hinzu kommen mehrere Anpassungen in den Anleitungen der Mondexpert*innen. Diese betreffen zum einen den

Autopiloten, der bei zu geringen Geschwindigkeiten automatisch den Modus wechselt. Zum anderen sollten Mondpilot*innen bereits ab einer Höhe von 20 000 Meter das erste Abbremsmanöver vornehmen. Zudem fragten sich die Mondexpertin und der Orbitexperte, ob sie in ihrer jeweiligen zweiten Mission zur Missionserfüllung ihre Rakete von der Startrampe bis zum Startorbit mit einer weiteren Rakete transportieren müssen. Daraufhin wurden die Missionsbeschreibungen beider Rollen entsprechend angepasst. Im gleichen Zug wurden die Hinweiskästchen visuell hervorgehoben, da diese nur wenig Beachtung fanden. Hinzu kam die Behebung von falsch benannten Missionen, die von Orbitexpert*innen geladen werden konnten.

Auch wenn bereits durch diese Erprobung einige ungewollte Arbeitshürden aus dem Material entfernt werden konnten, ist dennoch davon auszugehen, dass die folgenden Durchführungen weitere Problematiken aufzeigen. Zum einen konnte hier die Phase des Expert*innenaustauschs nicht erprobt werden. Zum anderen kannten zwei der drei Gruppenmitglieder die Software bereits und haben somit auf vorhandener Expertise aufbauen können.

8.2 Erprobung an der Neuen Schule Magdeburg

8.2.1 Lehr-Lernsituation

An der Neuen Schule Magdeburg konnte Unterrichtsmaterial im Rahmen des Physikunterrichts in einer 10. gymnasialen Klasse erprobt werden. Dazu nahmen fünf von den elf Schüler*innen der Klasse sowie zwei Sechstklässlerinnen an dem Projekt teil. Erwähnenswert ist zudem die Schüler*innen-Zentriertheit der Schule, wodurch alle Lernenden der Klasse selbstständiges Lernen in Kleingruppen bereits gewohnt sind. Zum Schulkonzept gehört ebenso, dass alle Schüler*innen ein digitales Endgerät besitzen. Da allerdings nur drei Schüler*innen Laptops besitzen, wurden mir, neben meinen privaten Computern, zusätzliche Laptops aus der Didaktik der Physik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg zur Verfügung gestellt. Die Durchführung des Projekttag fand im naturwissenschaftlichen Raum der Schule statt, welcher über eine Vielzahl an Steckdosen und einen Beamer verfügt. Abschließend soll hier nicht unerwähnt bleiben, dass ich erst vor wenigen Monaten ein vierwöchiges Praktikum an der Schule abgeleistet hatte und alle zum Praktikum anwesenden Schüler*innen bereits unterrichten durfte.

8.2.2 Auswertung der Durchführung

Im Rahmen der zweiten Erprobung besuchte ich am 3. Juni die Neue Schule Magdeburg und stellte das Projekt im Physikunterricht der 10. Klasse vor. Neben den geplanten Hausaufgaben empfahl ich den Schüler*innen zudem, am Projekttag eine Computermaus mitzubringen, da diese aus meiner Erfahrung heraus die Bedienung von KSP signifikant vereinfacht. Dabei löste die Ankündigung der Gruppenarbeit erste Diskussionen unter den Schüler*innen bezüglich möglicher Ziele und

Rollenverteilungen aus. Zudem äußerte ein Schüler hörbar, dass er „wahrscheinlich gleich mit Spielen anfängt, sobald er es installiert hat“. Darüber hinaus entwarf eine Gruppe bis zum Projektbeginn eine eigene Flagge, welche sie an ihren Raketen befestigen wollte. Entsprechend lässt sich vermuten, dass die erdachte Präsentation und Organisation des Projektes an die Interessen von Schüler*innen anknüpfen konnte.

Der eigentliche Projekttag startete allerdings holpriger als erwartet. Unglücklicherweise fand am selben Tag eine schulinterne Feier statt, welche von den anderen Mitschüler*innen der Oberstufenklasse organisiert wurde. Entsprechend fiel ein Teil der Klasse am Projekttag weg. Da für das Projekt mindestens sechs Schüler*innen benötigt wurden, fragte die anwesende Physiklehrkraft vor Projektbeginn in anderen Klassen Lernende für das Projekt an. Die daraufhin erschienenen zwei Sechstklässlerinnen waren mir bereits aus meinem Praktikum bekannt und als leistungsstark in Erinnerung geblieben. Um diese ebenso in das Projekt einzuführen, präsentierte ich diesen vor Projektbeginn die Informationen aus der „*Powerpoint 1 Organisation*“. Somit entstanden eine Dreiergruppe und einer Vierergruppe. In letzterer nahmen die Sechstklässlerinnen die Rollen der Mond- und Orbitexpertinnen ein, während die zwei Elftklässler gemeinsam die Rolle der Kerbinexperten wählten. Vor Projektbeginn berichtete zudem ein Schüler, dass er KSP bereits installiert hatte. Daher mussten der Spielstand sowie Anpassungen am Spiel am betroffenen Gerät nachträglich implementiert werden. Dazu hat sich ein prophylaktisch vorbereiteter USB-Stick als zeiteffizientes Werkzeug erwiesen.

Während der Erprobung ergaben sich ebenso unerwartete Probleme wie auch einige spontan entstandene positive Abweichungen vom Verlaufsplan, welche jeweils zu Anpassungen im Material führten. Beispielsweise kam es während der Erklärung dazu, dass KSP auf zwei Geräten nicht im Vollbildmodus startete und somit die Erklärung der Spielsteuerung hinausgezögert wurde. Entsprechend sollte das Spiel vor Projektbeginn möglichst auf jedem Gerät mindestens einmal gestartet werden. Als die Erklärung der Raketensteuerung im Fokus stand, wich ich unbeabsichtigt von der Reihenfolge der zu klärenden Tasten ab. Somit führte ich spontan den Autopiloten direkt nach den Ausrichtungstasten ein. Dies hatte den Vorteil, dass die Raketen der Schüler*innen daraufhin nicht mehr unkontrollierbar rotierten und somit die Bedeutung des Autopiloten hervorgehoben wurde. Im Verlauf des Projektes tauchte zudem mehrmals die Frage nach der aktuellen Flughöhe und Fluggeschwindigkeit der Rakete auf. Daher sollten diese Informationen ebenso bereits in der Steuerungserklärung vermittelt werden. Während der Erklärung zeigte sich zudem, dass das Material aktuell die Nutzung einer Maus sowie das Vorhandensein einer Tastatur mit Nummernblock voraussetzt. Zum einen wurde die Ausrichtung der Kamera ausschließlich durch Mausbewegungen erklärt, zum anderen lässt sich in der mauslosen Kamerasteuerung in KSP durch die

Grundeinstellungen beispielsweise nicht zoomen. Entsprechend muss vor Projektbeginn die Tastenbelegung in den Einstellungen von KSP gegebenenfalls angepasst werden. Außerdem zeigte bereits die Erklärungsphase, dass die englischsprachige Menüführung in KSP für Lernende deutlich anspruchsvoller ist als erwartet. Somit ergab sich, dass ich bis zur Erprobung am Christian-Wolf-Gymnasium einen Großteil der englischsprachigen Bezeichnungen von Menüpunkten und Bauteilen manuell im „dictionary.cfg“ sinngemäß in die deutsche Sprache überführte. Zusätzlich zu den Menüführungsschwierigkeiten wurde auch die Erklärung der Stufeneinstellung von der Klasse als sehr komplex wahrgenommen. Um hier einen kognitiven Overload in Zukunft zu minimieren, soll zur Erklärung nicht mehr die Grundlagenrakete verwendet werden. Stattdessen baut die Lehrkraft, wie ursprünglich gedacht, eine Rakete Teil für Teil und erklärt an dieser die einzelnen Aspekte des Raketenbaus.

Ähnlich ereignisreich verliefen die Erkundungsphase und Erarbeitung der Expertise. Hier lässt sich positiv hervorheben, dass alle Schüler*innen motiviert mit der Software arbeiteten. Dies ging so weit, dass auch die jeweiligen Phasen nur mit Nachdruck und Geduld meinerseits beendet wurden. Entsprechend lässt sich vermuten, dass die Schüler*innen trotz der physikalisch-astronomischen Thematik und den Handlungsanweisungen des Materials Spaß beim Arbeiten mit KSP hatten. Während der Erkundungsphase nutzten die Lernenden zur Vertiefung der Spielmechaniken sowohl die Grundlagenrakete als auch selbst erdachte Raketen. An der Stelle zeigte sich, dass die Schüler*innen bereits hier erste Fehler machten und lernten, wie sie diese in Zukunft vermeiden können. Ein gutes Beispiel stellte eine Schülerin dar, deren Raketen mehrmals durch fehlerhafte Stufeneinstellungen bereits auf der Startrampe explodierten. Während der gemeinsamen Planung der Mondrakete sorgte sie wiederum maßgeblich dafür, dass die Stufen der Rakete fehlerfrei eingestellt waren. Derartige Entwicklungen konnten während dieser und der Erarbeitungsphase beim Großteil der Lernenden beobachtet werden. Somit lässt sich das erste Lernziel als erreicht ansehen.

Schwierigkeiten traten hingegen insbesondere in der Erarbeitungsphase auf. Trotz der geringen Anzahl an Schüler*innen gab es kaum Zeiträume, in denen ich keinem der Expert*innen zur Seite stehen musste. Auffällig war dabei, dass ich in Summe mehr Zeit bei den Sechstklässlerinnen verbracht habe als beim Rest der Klasse. Obwohl die Missionen von allen Expert*innen intuitiv in der richtigen Reihenfolge bearbeitet wurden, war trotz Anpassungen in 8.1.2 für manche Schüler*innen nicht klar, dass in Mission 2 jeweils das gleiche wie in Mission 1 erreicht werden soll. Entsprechend wurde dies in der neuen Materialiteration noch mehr hervorgehoben. Ein weiteres Problem, welches bei vielen Schüler*innen auftrat, war die Einrastfunktion von Windows. Wird fünfmal hintereinander die *shift*-Taste gedrückt, öffnet sich ein Dialogfenster, welches fragt, ob die Funktion aktiviert werden soll. Da diese Taste zur Schubkontrolle benötigt wird und das Spiel durch dieses Dialogfenster nicht pausiert

wird, verlieren betroffene Schüler*innen in kritischen Situationen die Kontrolle über das Raumfahrzeug. Die Funktion lässt sich allerdings in den Windows-Einstellungen abschalten. Während dies im Projekt erst in der Pause von mir geschah, sollte das Abschalten in späteren Durchführungen bereits vor dem Projekt passieren. Neben diesen allgemeinen Problemen konnten auch rollenspezifische Lernhindernisse identifiziert werden. Zum Beispiel wünschten sich die Kerbin- und Orbitexpert*innen im Nachhinein Checklisten benötigter Bauteile, wie sie bereits bei Mondexpert*innen in Mission 2 zu finden sind. Auch wenn die Nutzung von Raketenantrieben und Treibstofftanks für mich selbstverständlich erscheint, wurden durch dieses Feedback entsprechende Konstruktionsmissionen mit Checklisten ausgestattet. Möglicherweise behebt diese Maßnahme ebenso das Taumeln von Raketen, welches vor allem bei Kerbinexpert*innen mehrmals zu einem Kontrollverlust führte. Da die Raketen in diesen Fällen meist zum Großteil aus Boosterstufen bestanden, wurden diese in den Checklisten zusammen mit Flügeln als optional vermerkt.

Orbitexpert*innen hatten hingegen Schwierigkeiten mit dem Manövertool aus Mission 1. Insbesondere das Warten auf den richtigen Zeitpunkt zur Schubvergabe stellte eine häufige Fehlerursache unter den Schüler*innen dar. Diese Schwierigkeiten ließen sich allerdings lösen, indem ich den Orbitexpert*innen die automatisierte Vorspul-Funktion an der Navigationskugel erläuterte. Daher wurde diese nun ebenso in die Anleitung der Missionen übernommen. Zudem wurden die Solarzellen an der Sonde aus Mission 1 angepasst, da diese durch eine ungünstige Ausrichtung bei einer Orbitexpertin einen Stromausfall verursachten. Die wenigsten Komplikationen traten bei den Mondexpert*innen auf. Hier wurde ich von einer Schülerin lediglich gefragt, was in der Anleitung von Mission 1 in Schritt 2 mit „einen Ort unterhalb deiner Umlaufbahn“ gemeint ist. Entsprechend wurde dieser Schritt umformuliert. Die Umformulierung hätte wohlmöglich auch die Irritationen der anderen Mondexpertin verhindert. Diese zeigte sich verwirrt, dass die Rakete nach einer gewissen Schubzeit wieder an Tempo gewinnt. Da dies aber möglicherweise auch durch die tendenziell überdimensionierten Antriebssysteme der Landesonde beim Abbremsvorgang schnell passieren kann, wurden diese in den Missionen nachträglich gedrosselt.



Abbildung 18:
Schaltfläche zur
Aktivierung der
Vorspul-Funktion

Trotz dieser zahlreichen ungeplanten Hindernisse schafften es dennoch alle Expert*innen, Mission 2 bis zum Ende der Erarbeitungsphase abzuschließen oder dem zumindest nahe zu sein. Somit besaßen alle Schüler*innen nun die nötige Erfahrung, um zumindest eine unbemannte Mondmission durchführen zu können. In der anschließenden Expert*innenrunde begannen nun die Lernenden, sich untereinander bezüglich ihrer aktuellen Fragen und Unsicherheiten auszutauschen. Die Mondexpert*innen beendeten den Austausch allerdings nach fünf Minuten, da sie sich "bereit

fühlten“. Das Ansprechen der Checklisten konnte sie allerdings zu einem weiteren Austausch motivieren. Generell wirkten einige Lernende wenig motiviert und wollten stattdessen die Zeit lieber für die Weiterarbeit an den Missionen nutzen. Entsprechend lässt sich Lernziel 3 nur teilweise als erreicht ansehen. Möglicher Grund dafür könnte die Tatsache sein, dass die Lernenden ohne ihre Endgeräte in die Expert*innengruppen gingen. Eventuell sind sie eher geneigt, in der Gruppe Unsicherheiten anzusprechen, wenn diese in KSP begutachtet werden können. Da die Methode der Expert*innengruppen allerdings eher für bedeutend größere Schüler*innenzahlen ausgelegt ist, sollen hier vorerst keine Änderungen im Verlaufsplan erfolgen.

Während ich in der Erarbeitungsphase viel in die Identifikation von Fehlerursachen und Aufklärung von Verständnisproblemen eingebunden war, verlief der gemeinsame Bau der Mondraketen deutlich ruhiger. Da eine Gruppe allerdings eine bemannte Mission plante, obwohl nicht alle Expert*innen die dafür nötige Erfahrung besaßen und ich ihnen die unbemannte Alternative anbot, entschieden sie sich bewusst für eine dritte Variante, indem sie für ihren Astronauten lediglich den Hinflug planten. Da es sich lediglich um ein Spiel handelt und der moralisch fragliche Ansatz dieser Methode die Gruppe nicht hinderte, ließ ich sie fortfahren. Während des gemeinsamen Raketenbaus wurde in allen Gruppen gemeinsam an der Mondrakete gearbeitet und sich gegenseitig Hinweise gegeben. Dazu beachteten die Gruppen die das jeweilige Δv ihrer Missionsphasen und verglichen es mit ihren Arbeitsmaterialien. Allerdings verwendeten die Kerbinexpert*innen der Vierergruppe anscheinend seit Mission 2 ausschließlich die Bauteile des Grundlagenreiters. Als ich die Schüler*innen darauf hinwies, nutzten sie unter Frust die ihnen bis dato unbekannt Teile. Hier wurde von mir versäumt, dies frühzeitig zu erkennen und die Existenz der gruppenspezifischen Teilegruppen mehr hervorzuheben. Dennoch gelang es allen Gruppen, eine Landung auf Minmus im Rahmen der Projektzeit zu erreichen. Beachtenswert ist, dass die Nutzung der *Quicksave*-Funktion von allen Gruppen benutzt, aber nicht benötigt wurde. Insbesondere zeigte sich hier, dass das spontane Zulassen der unmoralischen Mission der entsprechenden Gruppe viel Spaß ermöglichte, da diese mit ihrem Astronauten auf Minmus herumlaufen, große Sprünge vollbringen und schlussendlich mit ihm ihre selbstdesignte Flagge hissen konnten. Daher wurde diese dritte Missionsart nun als „unmoralische“ Alternative in den Unterrichtsverlaufsplan implementiert.

Die abschließende Reflexion verlief ebenso einigermaßen planmäßig. Unter anderem berichtete hier die Schülerin mit den anfänglichen Schwierigkeiten bezüglich der Stufeneinstellung ihren Werdegang. Insbesondere nach der Präsentation von Fehlschlägen in der realen Raumfahrt sowie persönlichen Fehlschlagserfahrungen in KSP fühlten sich mehrere Lernende ermutigt, zusätzlich etwas über ihren Umgang mit Fehlern im Projektverlauf zu beschreiben. Beispielsweise zeigten sich die Sechstklässlerinnen über ihren Zuwachs an Expertise sowie das Vorgehen von SpaceX erstaunt.

Allerdings beschrieben sie ihre Fehlschläge als äußerst frustrierend, da sie die Ursachen nur selten identifizieren konnten. Dies passt zu den beschriebenen gehäuften Hilfeanfragen und lässt sich wahrscheinlich auf fehlende physikalische und Problemlösekompetenzen zurückführen. Dies unterstreicht sowohl die Komplexität, die vom Videospiele ausgeht, als auch die in 6.1 formulierte Klassenstufenempfehlung.

8.3 Projekt im Christian-Wolff-Gymnasium Halle

8.3.1 Lehr-Lernsituation

Analog zur Neuen Schule Magdeburg wurde das Projekt auch am Christian-Wolff-Gymnasium im Rahmen des Physikunterrichts einer 10. gymnasialen Klasse durchgeführt. Da das Projekt in der letzten Woche vor den Sommerferien durchgeführt wurde und parallel ein freiwilliger klassenübergreifender Wandertag stattfand, dezimierte sich die Anzahl der teilnehmenden Schüler*innen auf 12. Während Gravitation in Magdeburg bereits im Winter behandelt wurde, stellte hier der Projekttag den Abschluss dieses Themenkomplexes dar. Zudem ist durch die Partnerschaft der Schule mit dem Schülerforschungszentrum Halle e. V. davon auszugehen, dass manche Lernenden der Klasse bereits selbstständiges und kooperatives Experimentieren und Arbeiten in Projektform gewöhnt sind. Neben einem Beamer stehen für die Durchführung zudem ein Klassensatz an Laptops und Computermäusen zur Verfügung.

8.3.2 Auswertung der Durchführung

Wie im Verlaufsplan vorgesehen, konnte ich die Klasse bereits eine Woche vor Projektbeginn besuchen und die entsprechenden organisatorischen Informationen mit Hilfe der PowerPoint-Präsentation vortragen. Auch hier sorgte die Verkündung der Aufgabenstellung für erste Diskussionen bezüglich möglicher Ziele und Gruppenaufteilungen. Zudem stellte hier ein Schüler die Frage, wie KSP „in game“ aussieht. Da ich zufällig einen Videotrailer von KSP dabei hatte, entschloss ich mich spontan, diesen der Klasse zu präsentieren. Das Starten des Videos sorgte in der Klasse wieder für Ruhe und brachte mehrere Lernenden wohlmöglich durch die darin enthaltenen Raketenbaufehlschläge regelmäßig zum Grinsen. Da die bisherige PowerPoint-Präsentation KSP demnach wohlmöglich nicht ausreichend gut repräsentierte und das Video potenziell mit einer motivationssteigernden Wirkung einhergeht, wurde dieses nun in die Präsentation implementiert.

Neben meinem Besuch in der Klasse war außerdem die Vorbereitung der Schullaptops geplant. Die einzelne Installation und Präparation der Spieldateien benötigten pro Gerät anfangs zirka 15 Minuten. Spontane Versuche haben ergeben, dass es genügt, wenn ein Laptop projektbereit eingerichtet wird und die Spieldateien im Anschluss auf die anderen Geräte kopiert werden. Allerdings endete hier die Vorbereitung der Geräte nicht. Zum einen existierten zu dem Zeitpunkt noch keine selbsterstellten

Flaggen. Zum anderen fand die Installation vor der Projektdurchführung in Magdeburg statt, wodurch die daraufhin entstandenen Anpassungen nachträglich integriert werden mussten. Um Änderungen der Baugruppen, Schiffe, Flaggen, Sprache und Einstellungen innerhalb einer Stunde vor Projektbeginn auf alle Geräte zu übertragen, präparierte ich zuvor einen USB-Stick mit einer derartigen Ordnerstruktur, sodass diese nur in das Spielverzeichnis kopiert werden muss und automatisch alle zu modifizierenden Dateien mit den neuen überschreibt. Da dies auch die Erstinstallation vereinfacht, wurde die Ordnerstruktur auf der DVD für das Material 1.3 entsprechend angepasst. Allerdings ließen sich so nicht alle gewünschten Anpassungen an den Laptops vornehmen. Fehlende Administratorrechte verwehrten beispielsweise die Entsperrung der Windows-internen Aufnahmefunktion, sodass Missionen lediglich per Smartphone mitgeschnitten werden konnten. Da Administratorrechte ebenso zum Ausschalten der Einrastfunktion benötigt werden, wurde stattdessen die Tastenbelegung von KSP angepasst. Anstelle von *shift* wurde die darüberliegende *capslock*-Taste zur Schuberhöhung verwendet. Um diese Komplikation auch in Zukunft zu vermeiden, wurde die neue Materialversion ebenso auf *capslock* angepasst.

Zum Projekttag selbst formten sich aus den 12 Schüler*innen insgesamt drei Gruppen, wobei eine die bemannte Mission nach Minmus und die anderen zwei eine unbemannte Munlandung als Ziel wählten. Auch wenn die damit einhergehende Fünfergruppe mit zwei Kerbin- und Orbitexpert*innen nicht den geplanten Vorgaben entspricht, wurde diese Konstellation von mir nicht aufgelöst. Zum einen war ich neugierig, ob die Gruppe im Zeitrahmen die geplante Minmusmission absolviert. Zum anderen war ich mir unsicher, wie reibungslos eine Neugruppierung abgelaufen wäre. Mit Beginn der Erklärungsphase starteten alle Schüler*innen KSP und luden den Spielstand. Manche Lernenden navigierten daraufhin in die Spieleinstellungen, um diese zu inspizieren. Allerdings kamen sie aus diesen nicht mehr heraus, was auf einen Fehler in der Software zurückzuführen war. Der Fehler ließ sich nur durch die Tastenkombination *Alt + (FN) + F4* und einen damit möglichen Neustart der Software beheben. Damit der Projektstart nicht unnötig herausgezögert wird, sollte die Lehrperson der Klasse daher in Zukunft von diesem Fehler berichten. Während der Erklärung konnte ich beobachten, wie die Lernenden abwechselnd zu mir und zu ihren Bildschirmen blickten. Ab der Raketenwerkstatt blieb der Blick stückweise immer mehr am eigenen Bildschirm. Möglicherweise gingen die Lernenden bereits automatisch in eine freie Erkundung über. Da daraufhin kaum weitere Fragen bezüglich der Steuerung auftraten, sollte der Zeitraum für lehrkraftfokussierte Erklärungen nicht weiter ausgedehnt werden. Späteres Feedback zeigte allerdings, dass die Schüler*innen die Erklärung der Stufeneinstellung nach wie vor als komplex und verwirrend wahrnahmen. Zum Beispiel fanden sie es schwer erkennbar, welches Symbol der Stufeneinstellung welchem Raketenbauteil zugeordnet ist. Zuerst irritierte mich diese Aussage, da die entsprechenden Raketenteile mit Hilfe des Mauszeigers grünlich hervorgehoben werden. Hier merkte ich allerdings, dass dies nur der Fall ist, wenn in den Grafikeinstellungen

„*Highlight FX*“ aktiviert und damit zusammenhängend mindestens zweifaches *Anti-Aliasing* eingestellt wurde. Durch die getätigten minimalen Grafikeinstellungen kam es allerdings dazu, dass dies während des Projektdurchlaufs deaktiviert war. Entsprechend wurden diese Grafikeinstellungen im neuen Material angepasst und weitere Hinweise bezüglich der Stufenerklärung für die Lehrkraft implementiert. Um ebenso mögliche Unklarheiten bezüglich der Stufensymbole sowie der Stufenreihenfolge zu minimieren, wurden in der neusten Überarbeitung zusätzliche Hinweise in die Steuerungserklärung der Arbeitshefte eingefügt.

Die Anpassungen der Sprache und der Erklärungsphase nach 8.2.2 schien die gewünschte Wirkung zu erzielen. Beispielsweise kam es in der Erkundungsphase nur noch vereinzelt zu Verwechslungen zwischen Treibstofftanks und Boostern. Bemerkenswert ist zudem, dass manche Schüler*innen beim Erkunden des Spiels keine der vorhandenen Computermäuse nutzten. Dennoch wurden die Lernenden durch die Anpassungen der Spieleinstellungen nach 8.2.2 nicht signifikant ausgebremst. Generell lässt sich festhalten, dass ich trotz der höheren Schüler*innenzahl in der Rolle des Beraters signifikant weniger Fragen beantworten musste als noch bei der Erprobung in Magdeburg. Damals häufig gestellte Fragen, beispielsweise nach dem Missionsziel von Mission 2, wurden hier nicht gestellt. Dafür fragte sich ein Mondexperte, warum seine gebaute Landesonde trotz Antennen keinen Empfang hatte. Obwohl der *Occlusion Modifier* nach 6.2.2. so eingestellt wurde, dass Himmelskörper die Sendereichweite von Antennen nicht beeinflussen, schien dies hier dennoch der Fall zu sein. Auch wenn das Phänomen im Nachhinein nicht reproduziert werden konnte, wurde der *Range Modifier* im Spielstand auf 10 erhöht. Neben diesem Einzelfall kam es allerdings zusätzlich zu einem deutlich weitreichenderen Problem. Auch wenn die Laptops eine Neuanschaffung der Schule waren und die Akkus das Projekt laut Lehrkraft durchhalten sollten, meldeten die ersten Lernenden bereits nach 80-minütiger Projektzeit einen niedrigen Akkustand. Um die nötigen Ladekabel zu erhalten, demontierten die Lehrkraft und ich daraufhin den zugehörigen Laptopwagen. Zur Vermeidung von zukünftigen Situationen dieser Art wurde ein entsprechender Hinweis im Unterrichtsverlaufsplan hinzugefügt. Abgesehen von diesen Fällen ergaben sich keine weiteren Optimierungen durch planungsbedingte Fehlschläge.

Anpassungen ergaben sich hingegen durch das Abschlussfeedback sowie Beobachtungen meinerseits. Unter anderem beschrieb eine Schülerin im Feedback, dass sie gerne die Rakete aus ihrer ersten Mission in der Raketenwerkstatt gesehen hätte. Da die Schülerin allerdings auch ohne diese Vorlage Mission 2 erfolgreich abschloss, würde ich an der Argumentation aus 6.2.2 festhalten und diesem Wunsch vorerst nicht nachgehen. Schließlich ist sonst unklar, ob sich weiterhin alle gebauten Raketen, trotz der geringen Teileauswahl, so stark in ihrer Form unterscheiden würden. Hier lässt sich allerdings ein Muster erkennen. Insbesondere die Kerbinexpert*innen neigen sehr dazu, ihre Raketen eher in die

Breite als in die Höhe zu bauen. Hinter diesem Phänomen vermute ich folgendes Zusammenspiel: Zum einen sind die Ladungen für die Kerbinexpert*innenmissionen 2 und 3 relativ niedrig im Vehicle Assembly Building gespeichert, sodass ohne Verschieben der Ladung keine lange Rakete darunter passt. Zum anderen wissen die Schüler*innen wohlmöglich nicht, dass sie Raketen beim Bauen nach oben verschieben können. Daher wurden alle gespeicherten Ladungen nun höher positioniert gespeichert und das Verschieben der gesamten Rakete als Ansprechpunkt in die Steuerungserklärung hinzugefügt. Trotz dieser unscheinbaren Einschränkungen schafften es dennoch alle Expert*innen, mindestens Mission 2 abzuschließen. Dabei ist bemerkenswert, dass die Orbitexpert*innen der Fünfergruppe gemeinsam die Missionen bearbeiteten, während sich deren Kerbinexpert*innen in eine Art Startexpertin und einen Landeexperten aufteilten. Somit verfügt die gesamte Gruppe wohlmöglich über ausreichend Expertise, um die geplante bemannte Munmission durchzuführen. Da alle Gruppenmitglieder in der gemeinsamen Mondmission den Bau allerdings kaum über das einzelne Gerät mitverfolgen konnten, erscheint eine maximale Gruppengröße von vier weiterhin als sinnvoll.

Den Aufbau von Expertise während der Erarbeitungsphasen bemerkten auch einige Lernende. Bereits im Reflexionsgelenk nach der Erkundungsphase schilderte ein Schüler, dass seine Rakete zu Beginn im Flug explodierte, aber nach Anpassungen deutlich weiter fliegen konnte. Dazu sagte er, dass er dieses anschließende Erfolgserlebnis als sehr positiv und motivierend wahrnahm. Derartige Abfolgen aus Fehlschlag, Reflexion, Anpassung und Erfolg ließen sich allgemein während den bisherigen Phasen bei vielen beobachten, wodurch ich Lernziel 1 als erreicht ansehe.

Abschließend fand im zweiten Unterrichtsblock der Austausch zwischen den Expert*innen statt. Dazu nahmen viele Expert*innen ihre nun wieder ausreichend geladenen Laptops mit in den Kreis. Die Gruppen der Mond- und Orbitexpert*innen präsentierten sich gegenseitig ihre Raketendesigns, mit der sie Mission 2 absolviert haben und tauschten sich über die damit einhergehenden Fehlschläge aus. In der Gruppe der Kerbinexpert*innen kam es allerdings kaum zu einem derartigen Austausch. Stattdessen nutzten diese die Zeit, um weitere Missionen zu bearbeiten. Hier stellt sich im Nachhinein die Frage, ob der geringe Austausch auf unkonkrete Diskussionsanweisungen zurückzuführen ist, oder diese auf Grund der dritten Kerbinexpert*innenmission mehr Zeit für die Erarbeitung benötigen. Um Ersteres zu minimieren, wurde daher in die neuste Materialiteration, inspiriert von den anderen Expert*innengruppen, das Präsentieren der selbstgebauten Raketen in die Aufgabe hinzugefügt. Möglicherweise hilft dies, die gewünschte Diskussion zu motivieren und somit Lernziel 2 noch besser zu erreichen.

Mit dem Beginn des dritten Unterrichtsblocks fanden sich die Lernenden wieder in ihren Stammgruppen ein. Dieses Mal wurde dazu am Anfang zusätzlich die unmoralische bemannte Missionsvariante vorgestellt. Das Angebot wurde von der Dreier- und Vierergruppe, welche vorher die

unbemannte Mission planen, direkt angenommen. Dies lässt vermuten, dass die kleinen grünen Wesen in ihren Astronaut*innenanzügen auf Schüler*innen einen signifikant sympathischeren Eindruck machen, als die bloßen Steuercomputer. Besonders erwähnenswert empfinde ich die Reaktion einer rein weiblichen Dreiergruppe. Als diese unter den Astronaut*innen die weibliche Valentina Kerman entdeckten, wirkten alle schlagartig mehr motiviert, die Rakete fertigzustellen und diese Astronautin in die Raumkapsel zu setzen. Der Bau der Mondraketen lief dabei klassenweit ähnlich ab. Alle Gruppenmitglieder saßen jeweils um einen Laptop herum, wobei bestimmte Expert*innen bestimmte Abschnitte entwarfen. Zum Teil öffneten manche Lernenden zusätzlich ihre Laptops und nutzten ihre Raketen aus den Trainingsmissionen als Vorlage. Während des Baus trat allerdings in zwei Gruppen die Frage auf, wie die Rakete entstehen soll. Anstelle der Konstruktion der Rakete in einer einzelnen Spieldatei vermuteten einige, dass wieder Vorlagen geladen werden müssten. Um dieses Missverständnis in Zukunft zu umgehen und die Instruktionen zu Beginn der Phase besser zu veranschaulichen, wurden in die *PowerPoint 2 Projekt* zusätzliche Folien hinzugefügt. Darüber hinaus konnten von mir während des Baus mehrere Schwierigkeiten entdeckt werden. Probleme am Raketendesign ergaben sich beispielsweise aus dem bereits angesprochenen eher breiten Design mancher Raketen sowie durch Fehler in der Stufeneinstellung. Hinzu kam allerdings ein Spielfehler, der bei einer Gruppe das spontane Abfallen von Boosterteilen zur Folge hatte. Dies ließ sich allerdings durch zusätzliche Stahlverbindungskabel beheben. Das schnelle Lösen derartiger Probleme und das Geben von sinnvollen Denkanstößen war mir in diesen Situationen lediglich durch meine eigene Spielerfahrung möglich. Umso bedeutsamer erscheint mir daher, dass zukünftige Lehrpersonen, die dieses Material gegebenenfalls selbst anwenden möchten, ebenso über ausreichend Spielerfahrung verfügen. Dies und weitere Durchführungshinweise inklusive der bisher fehlenden Lernzielaufstellung wurden in die neuste Materialiteration hinzugefügt.

Im Anschluss an die erste gemeinsame Raketenkonstruktion schafften es alle drei Gruppen nach mehreren Versuchen bis zu ihrem jeweiligen Ziel. Alle machten dazu regelmäßig von der *Quicksave*-Funktion Gebrauch, wobei diesmal auch zwei Gruppen einen dabei entstandenen Speicherpunkt nach einem Fehlschlag luden. Allerdings gelang nicht allen Gruppen vor der gemeinsamen Reflexion die Landung auf ihrem Zielort. Hier bot ich mit Einverständnis der Lehrperson den Gruppen spontan an, die aktuelle Mission nach der Reflexion ohne Zeitdruck zu beenden. Diese Entscheidung wurde von den Lernenden positiv aufgenommen. Trotz Projektende konnten so zwei Gruppen ihre Raketen nachträglich erfolgreich landen. Eine Gruppe konnte allerdings nicht mit ihrem Astronauten aussteigen, da ein Bauteil den Kapselzugang blockierte. Zusätzlich zu dem Hinweis im Arbeitsheft der Kerbinexpert*innen wurde in den Unterrichtsverlaufsplan das Üben des Aussteigens vor Missionsbeginn als Hinweis hinzugefügt. Die Gruppe von Expertinnen war allerdings nicht von diesem Konstruktionsfehler betroffen. Als bemerkenswert ist hier die erneut aufflammende Motivation

hervorzuheben, als die Gruppe Valentina aus der Kapsel aussteigen ließ und mit ihr über Minus spazierte. Während die Mädchen der Gruppe wenige Minuten zuvor nach der Landung sofort den Klassenraum verlassen wollten, blieben sie stattdessen länger und machten sogar mit ihren Smartphones Fotos von Valentina, wie sie die selbstdesignte Flagge der Gruppe auf dem Mond platzierte. Somit kann empfohlen werden, diese zusätzliche Arbeitszeit anzubieten oder gegebenenfalls die Bearbeitungszeiten zu verlängern.

Da sich die abschließende Reflexion nicht signifikant vom Durchlauf in Magdeburg unterschied, wird diese hier nicht weiter erwähnt. Umso erwähnenswerter empfinde ich stattdessen das abschließende Feedback der Schüler*innen sowie der Lehrkraft. Der Projekttag wurde von den Lernenden trotz der sehr naturwissenschaftlichen Thematik und den bereits erwähnten Schwierigkeiten als spannend empfunden. Insbesondere die Erkundungsphase wurde als notwendig empfunden, da sie hier die Steuerung erlernten. Ein Schüler hob zudem die Möglichkeit, kreativ zu sein, positiv hervor. Während des Abbaus beschrieb die mich betreuende Lehrkraft zudem ihre Beobachtungen. Das Thematisieren von eigenen Fehlern empfand er als sehr gelungen und alltagsrelevant. Zudem beschrieb er, dass das Projekt bei allen Schüler*innen Erfolgserlebnisse auslöste, was seiner Erfahrung nach bei manchen Schüler*innen der Klasse im Unterricht nur äußerst selten passiert.

8.4 Auswertung der Fragebögen

Zur Auswertung der ausgefüllten Fragebögen wurden den vier Antwortmöglichkeiten jeweils eine Zahl zugeordnet. Während „stimmt ganz und garnicht“ als 1 definiert wird, entspricht „stimmt voll und ganz“ einer 4. In dieser Quantisierung wurden die Antworten der Schüler*innen in die Tabellenkalkulationsdatei „Auswertung“ übernommen, welche sich auf der DVD im Anhang befindet. Ebenso finden sich hier erneut die folgenden Diagramme und die dafür notwendigen Berechnungsalgorithmen.

Zu Beginn muss jedoch festgehalten werden, dass die Stichproben durch die zeitversetzte Messung der Skalen nicht identisch sind und damit einer entsprechenden Unsicherheit ausgesetzt sind. Im Fall der Neuen Schule Magdeburg nahmen von den ursprünglich acht Schüler*innen der ersten Messung lediglich fünf am Projekttag teil. Hinzu kamen zwei zusätzliche Schüler*innen, welche ausschließlich an der zweiten Messung teilnahmen. Aufgrund dieser uneinheitlichen Stichprobe werden die Ergebnisse dieser Erprobung somit nicht zur Beantwortung der Forschungsfrage benutzt. Zur Vollständigkeit befinden sich für Interessierte die damit einhergehenden Diagramme auf der DVD im Anhang. Auch wenn die Ergebnisse der Neuen Schule Magdeburg nicht verwendet werden, ergeben sich dennoch aus den Messdaten Informationen über die interne Konsistenz der Fragebogenitems, welche in Tabelle 3 aufgelistet wurden.

Tabelle 3: Errechnete interne Konsistenz der erstellten Skalen

Cronbachs Alpha	Fehlerangst im Physikunterricht	Lernchance aus Fehlern im Physikunterricht	Fehlerangst im Projekt	Lernchance aus Fehlern im Projekt
Neue Schule Magdeburg	0,34	0,45	0,16	0,45
Christian-Wolff-Gymnasium	0,79	0,33	0,65	0,79

Die Tabelle legt nahe, dass die für das Projekt modifizierten Fragebögen eine signifikant geringere innere Konsistenz aufweisen als das Original. Entsprechend fraglich wirkt somit, ob die Fragebögen die Fehlerangst und die Wahrnehmung von Fehlern als Lernchancen der Lernenden ausreichend zuverlässig messen konnten. Bemerkenswert ist zudem die generelle Differenz der berechneten Chronbachs-Alpha-Werte. Während die Skale der Fehlerangst im Physikunterricht an der Neuen Schule Magdeburg mit 0,34 als inakzeptabel einzustufen ist, lässt sich diese Skale am Christian-Wolff-Gymnasium als akzeptabel ansehen. Wie die interne Konsistenz der Skalen nun einzuordnen ist, bleibt ohne weitere Durchführung somit eher unklar.

Im Fall, dass sich diese in Zukunft noch als akzeptabel erweisen, kann der folgenden Analyse der Ergebnisse des Christian-Wolff-Gymnasiums mit mehr Vertrauen begegnet werden. Obwohl auch hier die Stichprobe durch das Fehlen eines Lernenden am Projekttag nicht identisch ist, soll diese Tatsache im Folgenden zur Vereinfachung vernachlässigt werden. Tabelle 4 zeigt die errechneten arithmetischen Mittel und die Standardabweichungen der Fehlerangst der Lernenden bezüglich des Physikunterrichts und während des Projektes.

Tabelle 4: Gemessene Angst vor Fehlern (Christian-Wolff-Gymnasium)

Durchschnitt: Angst vor Fehlern im Physikunterricht	Standardabweichung: Angst vor Fehlern im Physikunterricht	Durchschnitt: Angst vor Fehlern im Projekt	Standardabweichung: Angst vor Fehlern im Projekt
2,08	± 0,80	1,50	± 0,65

Es zeigt sich, dass die durchschnittliche Fehlerängste der Schüler*innen jeweils innerhalb der Standardabweichungen liegen. Dennoch lässt sich anhand der Antwortanzahlen der Diagramme 1 & 2 eine Tendenz erkennen.

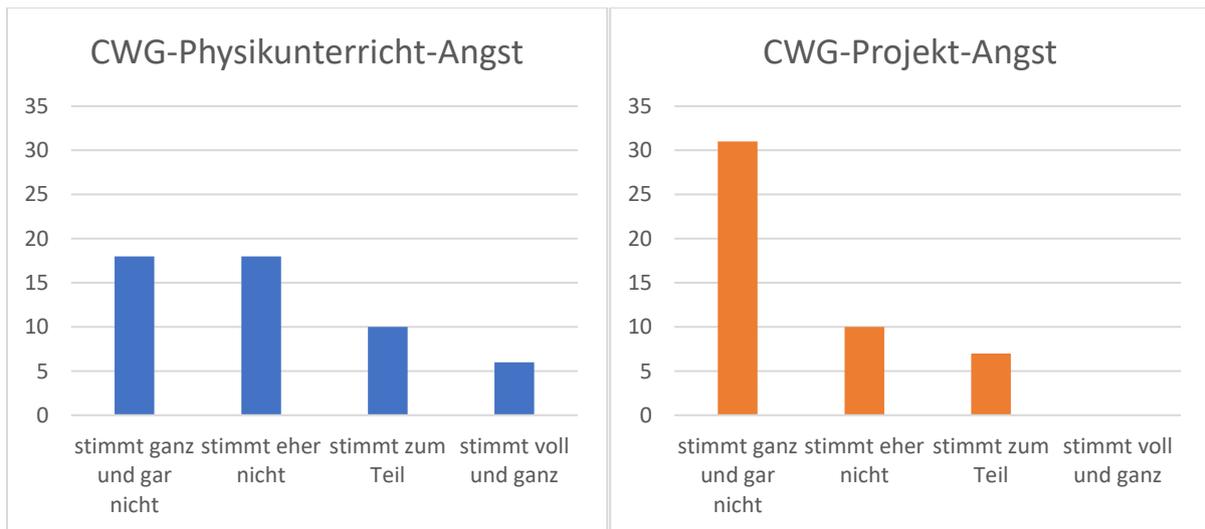


Diagramme 1 & 2: Verteilung der Antwortanzahl bezüglich der Fehlerangst im Physikunterricht und im Projekt (Christian-Wolff-Gymnasium)

Während Aspekte des Physikunterrichts insgesamt in 18 Schüler*innenantworten „ganz und garnicht“ mit Fehlerangst in Verbindung gebracht wurden, liegt diese Zahl in Bezug auf das Projekt bei 31. Hingegen ist die Anzahl der anderen Antworten in Bezug auf das Projekt jeweils geringer als auf den Physikunterricht. Gleiches lässt das folgende Boxplot-Diagramm vermuten.

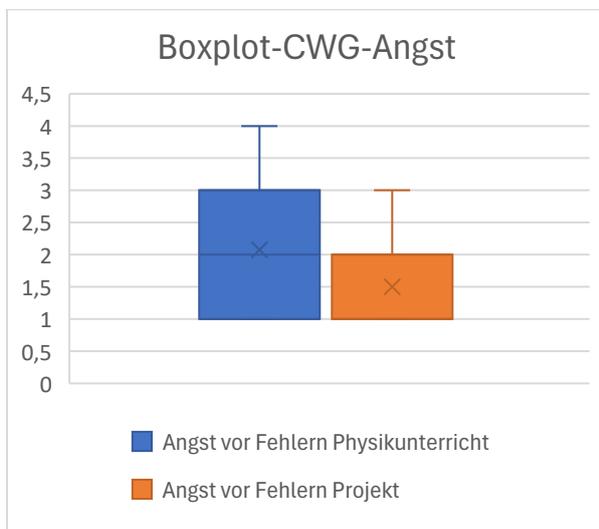


Diagramm 3: Boxplot-Diagramm bezüglich der Fehlerangst im Physikunterricht und im Projekt (Christian-Wolff-Gymnasium)¹³⁵

Diagramm 3 zeigt, dass das obere Quartil der Fehlerangstantworten bezüglich des Projekts tiefer liegt als das Quartil des Physikunterrichts. Somit zeigt sich die Tendenz, dass das Projekt die Schüler*innen

¹³⁵Anmerkung des Autors: „stimmt ganz und garnicht“ = 1, „stimmt eher nicht“ = 2, „stimmt zum Teil“ = 3, „stimmt voll und ganz“ = 4

durchschnittlich weniger Angst vor ihren eigenen Fehlern empfinden ließ, als es normalerweise in ihrem Physikunterricht der Fall ist.

Ähnliche Erkenntnisse ergeben sich auch aus den Visualisierungen der gemessenen Wahrnehmung von Fehlern als Lernchance. Das arithmetische Mittel und die Standardabweichung dieser beiden Skalen werden in Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5: Gemessene Wahrnehmung von Fehlern als Lernchance (Christian-Wolff-Gymnasium)

Durchschnitt: Lernchance aus Fehlern im Physikunterricht	Standardabweichung: Lernchance aus Fehlern im Physikunterricht	Durchschnitt: Lernchance aus Fehlern im Projekt	Standardabweichung: Lernchance aus Fehlern im Projekt
2,82	± 0,57	3,25	± 0,50

Auch hier zeigt die Tabelle, dass die Durchschnitte der gemessenen Wahrnehmungen von Fehlern als Lernchance in Bezug auf das Projekt und den Physikunterricht jeweils innerhalb der Standardabweichungen liegen. Die Diagramme 4 & 5 lassen dennoch durch die Visualisierung der Antwortanzahlen eine klare Tendenz vermuten.

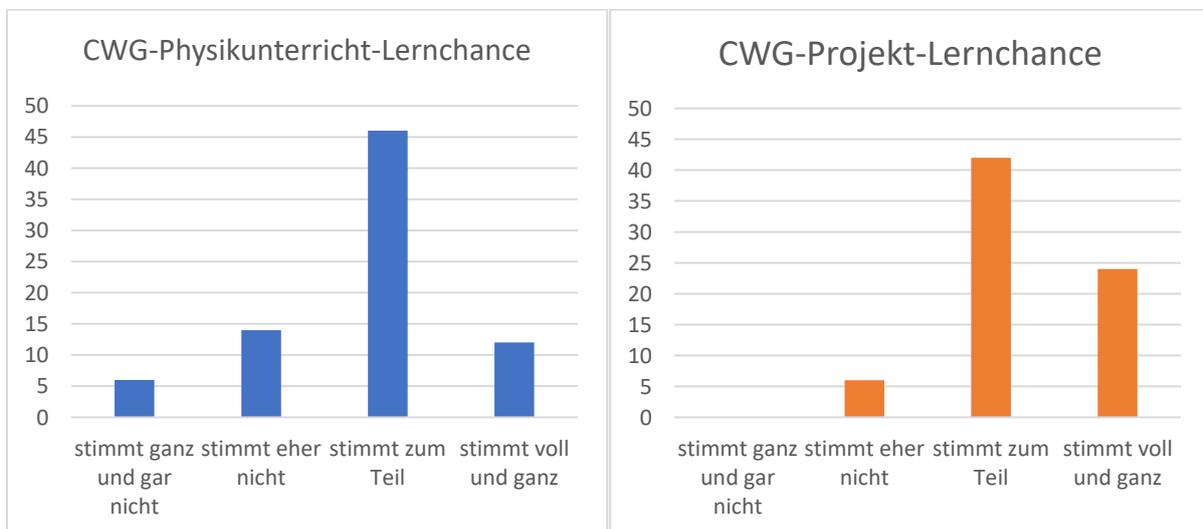


Diagramme 4 & 5 Verteilung der Antwortanzahl bezüglich der Wahrnehmung von Fehlern als Lernchance im Physikunterricht und Projekt (Christian-Wolff-Gymnasium)

Hier zeigt sich, dass in Bezug auf das Projekt doppelt so oft „stimmt voll und ganz“ angekreuzt wurde, als in Bezug auf den Physikunterricht. Während zudem sechsmal Aspekte von Fehlerlernchancen im Physikunterricht als „stimmt ganz und garnicht“ und 14-mal mit „stimmt eher nicht“ empfunden

wurden, wurde keiner dieser Aspekte in Bezug auf das Projekt als „stimmt ganz und gar nicht“ wahrgenommen. Diese Beobachtung verdeutlicht insbesondere das zugehörige Boxplot-Diagramm.

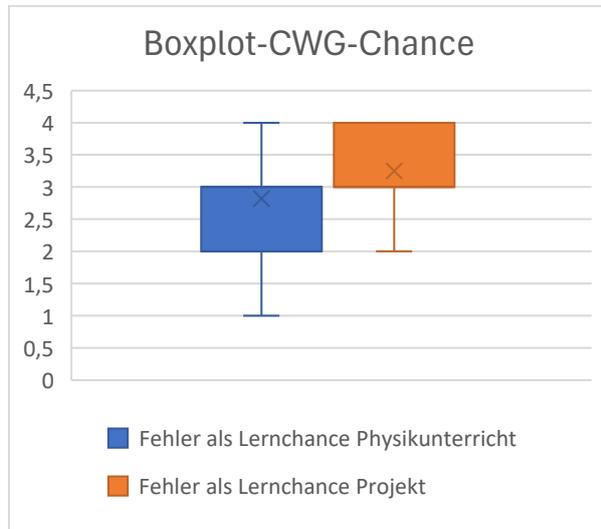


Diagramm 6: Boxplot-Diagramm bezüglich der Wahrnehmung von Fehlern als Lernchance im Physikunterricht und im Projekt (Christian-Wolff-Gymnasium)¹³⁶

Diagramm 6 zeigt, dass das Interquartil bezüglich des Projektes im Vergleich zum Interquartil des Physikunterrichtes um eine Einheit nach oben positioniert ist. Somit zeigt sich auch hier die Tendenz, dass Fehlschläge im Projekt mehr als Lernchance wahrgenommen wurden, als es im Physikunterricht der Fall ist. Eine stärkere Aussagekraft sollte diesen quantitativen Erkenntnissen allerdings angesichts der bereits genannten Unsicherheiten nicht zugesprochen werden.

¹³⁶ Anmerkung des Autors: „stimmt ganz und garnicht“ = 1, „stimmt eher nicht“ = 2, „stimmt zum Teil“ = 3, „stimmt voll und ganz“ = 4

9. Schlussfolgerung

Wie bereits in Abschnitt 8.4 beschrieben wurde, lässt sich die Forschungsfrage mit Hilfe der ausgefüllten Fragebögen nicht mit ausreichender Sicherheit beantworten. Lediglich die Daten aus dem Christian-Wolff-Gymnasium ermöglichen die Schlussfolgerung von Tendenzen. Umso bedeutsamer für die Forschungsfrage erscheinen daher die qualitativen Beobachtungen, welche ebenfalls in Kapitel 8 festgehalten wurden. Hier sind einige Situationen beschrieben, in denen Schüler*innen Fehler in KSP passierten und sie somit in die Lage versetzten, stückweise Expertise aufzubauen. Trotz der zahlreichen Fehlkonzeptionen des Unterrichtsmaterials meinerseits bemerkten manche Lernende ihren Fortschritt bereits in den Anfangsphasen des Projekts und sprachen im Rahmen dessen offen über ihre gemachten Erfahrungen. Dass Schüler*innen während des Projektes Angst vor eigenen Fehlschlägen empfanden, ließ sich hingegen nicht beobachten, wobei hier fraglich ist, wie sich diese äußern würde. Stattdessen wurde beobachtet, dass Schüler*innen trotz bereits erlebter Fehlschläge Missionen weiterverfolgten. Obwohl den Schüler*innen daher die Risiken von erneuten Fehlschlägen permanent bewusst waren, ließen sie sich von einer wohlmöglich damit einhergehenden Fehlerangst nicht merklich beeinflussen. In Anbetracht der in 8.4 beschriebenen Tendenzen lässt sich somit schlussfolgern, dass Schüler*innen ihre eigenen Fehler während der Projektarbeit insgesamt positiver wahrnahmen als im alltäglichen Physikunterricht.

Somit stellt Kerbal Space Program ein Videospiel dar, welches durch seine Anpassbarkeit für den Einsatz im Unterricht geeignet ist. Insbesondere die kleinen grünen Wesen sowie das eigenständige und kreative Arbeiten mit diesen scheint, zusammen mit der Wahrnehmung von Erfolgen und Lernfortschritten, eine motivierende Wirkung auf Schüler*innen zu haben. Da Fehlschläge einen bedeutsamen Teil des Spielprinzips darstellen, ist die Software mit dem hier erarbeiteten Material eine Option, um Schüler*innen den Umgang mit Fehlschlägen im Alltag, Beruf und in den Naturwissenschaften näher zu bringen. Allerdings darf das hier erarbeitete Material nicht als eine einmalige fehlerfreundliche Erfahrung verstanden werden, welche die Einstellung der Schüler*innen gegenüber ihren eigenen Fehlschlägen ausreichend nachhaltig verändert. Die Durchführung des Materials im Physikunterricht ersetzt nicht die Tatsache, dass die Lehre selbst fehlerfreundlicher gestaltet und gelebt werden muss. Das Unterrichtsmaterial kann aber als eine Möglichkeit gesehen werden, das Thema offen im Unterricht anzusprechen und für Lernende nahbar zu machen.

Auch wenn damit alles gesagt scheint, werfen die Erkenntnisse aus den Erprobungen mehrere Fragen auf. Trotz der Nutzung von bereits etablierten Fragebögen ließen sich mit den modifizierten Versionen dieser die Forschungsfragen nur bedingt beantworten. Wie in Kerbal Space Program gilt es daher, Optimierungen an der Methodik vorzunehmen und somit beispielsweise die interne Konsistenz der erstellten Skalen zu ermitteln. Da im Rahmen dieser wissenschaftlichen Hausarbeit lediglich zwei

Durchführungen möglich waren, sind generell weitere Versuchsreihen mit größeren Stichproben nötig, um die hier festgehaltenen Ergebnisse zu evaluieren oder zu falsifizieren. Dazu gehört auch, das Problem mit den nicht identischen Stichproben zu lösen. Bisher unklar ist zudem, wie erfolgreich andere Lehrpersonen das Projekt anhand des hier erarbeiteten Materials umsetzen können. Beispielsweise wurde der Unterrichtsverlaufsplan zwar für eine mögliche Weiternutzung konzipiert, ist aber in den Durchläufen lediglich von mir verwendet worden. In Bezug auf die zukünftige Verwendung von Serious Games im Unterricht stellt sich mir seit der Valentina-Mädchengruppe aus Abschnitt 8.3.2 die Frage, wie bedeutsam die Identifikation der Schüler*innen mit den Spielfiguren für die Motivation ist. Möglicherweise könnte dieser Frage im Rahmen einer Weiterentwicklung des Materials nachgegangen werden. Nach 3.4 existieren kostenlose Tablet-fähige Alternativprogramme zu Kerbal Space Programm, welche allerdings nur gesichtslose Astronaut*innen beinhaltet. Im Sinne der Designforschung würden derartige Vergleichsuntersuchungen weitere Unterrichtsmaterialien erzeugen, die insbesondere Schulen mit Klassensätzen an Tablets zugutekommen würden.

Falls sich im Rahmen weiterer Untersuchungen neue Erkenntnisse bezüglich der hier nachgegangen Forschungsfrage ergeben, fühlen Sie sich hiermit eingeladen, diese an mich über bille.lukas@googlemail.com weiterzuleiten. Um die Forschung unabhängig von mir weiterzuführen, wurden alle erstellten Materialien auf der DVD im Anhang zusätzlich in ihrem bearbeitbaren Word- und PowerPoint-Dateiformat beigelegt.

10. Literaturverzeichnis

- [Kerbal Space Program] *I want to use KSP for a school, museum or another educational related project. May I?* (2022). Abgerufen am 29. 5 2024 von Private Division Support: <https://support.privatedivision.com/hc/en-us/articles/360037768193--Kerbal-Space-Program-I-want-to-use-KSP-for-a-school-museum-or-another-educational-related-project-May-I>
- Barany, A., & Foster, A. (2020). Identity Exploration in a Kerbal Space Program Community Forum. *ICLS 2020 Online Conference* (S. 325-332). The International Society of the Learning Sciences.
- Becker, W., & Metz, M. (2022). *Digitale Lernwelten - Serious Games und Gamification: Didaktik, Anwendungen und Erfahrungen in der Beruflichen Bildung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Billion-Kramer, T. (2021). *Nature of Science: Lernen über das Wesen der Naturwissenschaften*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Bowman, A. (2023). *Now This: The Apollo 11 Crew*. Abgerufen am 18. 7 2024 von NASA: <https://www.nasa.gov/image-detail/now-this-apollo-11-crew/>
- Breiner, T. C., & Kolibius, L. D. (2019). *Computerspiele: Grundlagen, Psychologie und Anwendungen*. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- Bruner, J. (1997). *Der Prozeß der Erziehung* (3. Ausg.). Berlin: Berlin Verlag.
- Chott, P. O. (1999). Ansätze zur Förderung einer „Fehlerkultur“. *PÄDForum* 3, 238-248.
- Demtröder. (2020). *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme* (9. Ausg.). Berlin: Springer Spektrum.
- Denny, M., & MCFadzean, A. (2019). *Rocket Science: From Fireworks to the Photon Drive*. Cham, Schweiz: Springer Nature Switzerland AG.
- Dott, T., & Musk, E. (2021). *Starbase Tour with Elon Musk [PART 1 // Summer 2021]*. Abgerufen am 22. 7 2024 von Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=t705r8lCkRw>
- Dott, T., & Musk, E. (2022). *Go up SpaceX's Starship-catching robotic launch tower with Elon Musk!* Abgerufen am 22. 7 2024 von Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=XP5k3ZzPf_0
- Eltern ohne Filter (Hrsg.). (2024). *[FEHLERKULTUR UND SCHULE]* 🏠. Abgerufen am 25. 7 2024 von Instagram: <https://www.instagram.com/p/C9NaQqVMkSf/?igsh=Y3QzMmEwOW41MjR1>

Erfolgreiche Landung: Wieso China Gestein von der Rückseite des Mondes sammelt. (2024).

Abgerufen am 19. 7 2024 von Schweizer Radio und Fernsehen:

<https://www.srf.ch/news/erfolgreiche-landung-wieso-china-gestein-von-der-rueckseite-des-mondes-sammelt>

Fachlehrplan Gymnasium Astronomie. (2017). Abgerufen am 13. 5 2024 von Landesinstitut für

Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt (kurz LISA): https://www.bildung-lsa.de/index.php?KAT_ID=15682#art43156

Fachlehrplan Gymnasium Mathematik. (2022). Abgerufen am 24. 7 2024 von Landesinstitut für

Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt (kurz LISA (1)): https://www.bildung-lsa.de/files/b45de329c361a40a2f0a7211902d5815/FLP_Mathe_Gym_010822_swd.pdf

Fachlehrplan Gymnasium Physik. (2022). Abgerufen am 13. 5 2024 von Landesinstitut für

Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt (kurz LISA (2)): https://www.bildung-lsa.de/index.php?KAT_ID=15682#art43156

Fachlehrplan Sekundarschule Astronomie. (2019). Abgerufen am 13. 5 2024 von Landesinstitut für

Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt (kurz LISA (2)): https://www.bildung-lsa.de/index.php?KAT_ID=16003#art43364

Fachlehrplan Sekundarschule Physik. (2019). Abgerufen am 13. 5 2024 von Landesinstitut für

Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt (kurz LISA (1)): https://www.bildung-lsa.de/index.php?KAT_ID=16003#art43364

Falanghe, F., & Shaer, R. (27. 4 2015). Kerbal Space Program. Take 2 Interactive.

File:Houston-06-Nasa-Saturn V-1980-gje.jpg. (1980). Abgerufen am 18. 7 2024 von wikimedia

commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Houston-06-Nasa-Saturn_V-1980-gje.jpg

Gerzer, R. (2022). *Astronomische Raumfahrt: Beginn eines neuen Zeitalters.* Berlin: Springer-Verlag GmbH, DE.

Gyroscopes. (2024). Abgerufen am 30. 5 2024 von esahubble.org:

<https://esahubble.org/about/general/gyroscopes/>

Hascher, T., & Hagenauer, G. (2010). Lernen aus Fehlern. *Bildungspsychologie*, 377-381.

Hehmeyer, K. (2019). *My Students Try Kerbal Space Program And The Experience Is Priceless.*

Abgerufen am 23. 7 2024 von Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=9_bYRbf46EE

- Heinicke, S., & Peters, S. (2014). Was ist Experimentieren? Populäre sichtweisen unter der Lupe. *Unterricht Physik, 144*, S. 10-13.
- Heinze, A., Ufer, S., Rach, S., & Reiss, K. (2012). The Student Perspective on Dealing with Errors in Mathematics Class. In E. Wuttke, & J. Seifried, *Learning from Errors at School and Work* (S. 65-79). Opladen, Berlin & Farmington Hills: Verlag Barbara Budrich.
- Intercept Games. (24. 2 2023). Kerbal Space Program 2. Private Division.
- Jundroo-LLC. (2015). *Juno*. Abgerufen am 30. 5 2024 von Simplerockets.com:
<https://www.simplerockets.com/>
- Jundroo-LLC. (2015). *SimpleRockets*. Abgerufen am 23. 7 2024 von Steam:
<https://store.steampowered.com/app/343090/SimpleRockets/>
- Jundroo-LLC. (2015). SimpleRockets . Jundroo, LLC.
- Jundroo-LLC. (2019). *Use our games, for free, in education*. Abgerufen am 23. 7 2024 von simplerockets.com: <https://www.simplerockets.com/Education>
- Jundroo-LLC. (2023). *Juno: New Origins*. Abgerufen am 23. 7 2024 von Steam:
https://store.steampowered.com/app/870200/Juno_New_Origins/
- Jundroo-LLC. (2023). Juno: New Origins (Simple Rockets 2). Jundroo, LLC.
- Kerbal Space Program 2*. (2023). Abgerufen am 29. 5 2024 von store.privatedivision.com:
<https://store.privatedivision.com/de/game/kerbal-space-program-2>
- Kerbal Space Program*. (2024). Abgerufen am 29. 5 2024 von store.privatedivision.com:
<https://store.privatedivision.com/de/game/buy-kerbal-space-program-ksp#schl%C3%BCselfunktionen>
- Kircher, E. (2015). Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler, *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (3.Auflage Ausg., S. 75-106). Berlin: Springer Verlag Berlin-Heidelberg.
- Krüger, D., Parchmann, I., & Schecker, H. (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Krüger, D., Parchmann, I., & Schecker, H. (2018). *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland.

- Link, A. (2024). *KSP 2 - Einblicke in die "zum Scheitern verurteilte" Entwicklung aus erster Hand: "Wir haben das falsche Produkt ausgeliefert" [Update]*. Abgerufen am 23. 7 2024 von pcgameshardware: <https://www.pcgameshardware.de/Kerbal-Space-Program-2-Spiel-72055/News/Einblicke-in-die-zum-Scheitern-verurteile-Entwicklung-1448229/>
- Lowne, M. (2020-2024). *Space This Week*. Abgerufen am 7. 8 2024 von Youtube: <https://www.youtube.com/playlist?list=PL9TJhYxFTqCiTspb5fTOB8Unrl085UWdT>
- Minecraft Education. (2016). Mojang Studios.
- Nickel, S. (22. 7 2020). *Minecraft*. Abgerufen am 10. 7 2024 von Games im Unterricht: <https://games-im-unterricht.de/unterrichtskonzepte/minecraft>
- Oser, F., Hascher, T., & Spychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des "negativen" Wissens. In W. Althof (Hrsg.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern. Beiträge und Nachträge zu einem interdisziplinären Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstags von Fritz Oser* (S. 11-42). Opladen: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Persson, M., & Bergensten, J. (18. 11 2011). *Minecraft Java Edition*. Mojang Studios.
- Rott, B., Bruder, R., Heinrich, F., & Bauer, C. (2023). Problemlösen lernen. In R. Bruder (Hrsg.), *Handbuch der Mathedidaktik* (S. 313-339). Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- SpaceX. (2017). *How Not to Land an Orbital Rocket Booster*. Abgerufen am 4. 6 2024 von Youtube: <https://youtu.be/bvim4rsNHkQ?si=vyZE5fn9iAPxV9XF>
- SpaceX. (2021). *Starship | SN15 | Flight Test Recap*. Abgerufen am 30. 5 2024 von Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=7CZTLogln34>
- SpaceX. (2024). *STARSHIP'S FOURTH FLIGHT TEST*. Abgerufen am 22. 7 2024 von <https://www.spacex.com/launches/mission/?missionId=starship-flight-4>
- Spychiger, M., Kuster, R., & Oser, F. (2006). Dimensionen von Fehlerkultur in der Schule und deren Messung. Der Schülerfragebogen zur Fehlerkultur im Unterricht für Mittel- und Oberstufe. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28, 87-110. doi:10.25656/01:4140
- Spychiger, M., Oser, F., Hascher, T., & Mahler, F. (1999). Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule. In W. Althof (Hrsg.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern: Beiträge und Nachträge zu einem interdisziplinären Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstags von Fritz Oser* (S. 43-71). Opladen: Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Squad. (2014). *KSP: Asteroid Redirect Mission is Officially Released!* Abgerufen am 17. 7 2024 von Steam:
<https://steamcommunity.com/games/220200/announcements/detail/1315356550594321621>
- Squad. (2015). *Kerbal Space Program*. Abgerufen am 17. 7 2024 von Steam:
https://store.steampowered.com/app/220200/Kerbal_Space_Program/#:~:text=%E2%80%A2Build%20spaceships,%20rockets,
- Suppert, S. (2021). *"Game-based learning" als spielerischer Weg zum Erfolg: Eine Betrachtung des Einsatzes von Spielen im Unterricht*. Salzburg: Delta Phi B.
- Tagesschau. (2024). *SpaceX meldet Verlust von Riesenrakete*. Abgerufen am 7. 8 2024 von Tagesschau: <https://www.tagesschau.de/ausland/amerika/spacex-testflug-100.html>
- teachergaming.com*. (29. 5 2024). Von TEACHERGAMING: <https://teachergaming.com/> abgerufen
- Traub, S. (2022). *Projektarbeit erfolgreich gestalten*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- White, S. (2014). *Minecraft in space: why Nasa is embracing Kerbal Space Program*. Abgerufen am 25. 6 2024 von The Guardian:
<https://www.theguardian.com/technology/2014/may/22/kerbal-space-program-why-nasa-minecraft>
- Zipfel, A. (2021). *Kerbal Space Program*. Abgerufen am 30. 5 2024 von Games im Unterricht:
<https://games-im-unterricht.de/unterrichtskonzepte/kerbal-space-program>

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rathaus der Minecraftstadt „Jesenburg“ und eine automatisierte Trankbraumaschine (eigene Abbildung)	12
Abbildung 2: Vergrößerte Aufnahme der Kartenansicht und Standartansicht einer Rakete in Kerbal Space Program (eigene Aufnahmen aus KSP).....	18
Abbildung 3: Werbebild zu Kerbal Space Program(aus Kerbal Space Program (2024)).....	20
Abbildung 4: Aufnahme vom Planeten „Kerbin“, welcher von den Monden „Mun“ und „Minmus“ umkreist wird (eigene Aufnahme aus KSP)	20
Abbildung 5: Mit dem Start dieser Rakete wirkt die Schubkraft der Booster jeweils ein Drehmoment auf die Aufhängung der Booster, wodurch diese elastisch verformt werden. (eigene Aufnahme aus KSP)	22
Abbildung 6: Resultierende Drehmomente bei unterschiedlichen Positionen des Center of Thrust zum Massemittelpunkt der Rakete. (eigene Aufnahme aus KSP)	23
Abbildung 7: Center of Thrust und Massemittelpunkt einer einstufigen Rakete (eigene Aufnahme aus KSP)	23
Abbildung 8: Informationen zu MUN aus KSP (eigene Aufnahme aus KSP)	23
Abbildung 9: Wiedereintritt in KSP und Realität (eigene Aufnahme aus KSP; Aufnahme aus SpaceX, FOURTH FLIGHT TEST (2024)).....	26
Abbildung 10: Navigationskugel in KSP (eigene Aufnahme aus KSP).....	30
Abbildung 11 Aufnahmen aus Simple Rockets und Juno: New Origins (Aufnahme von Jundroo-LLC (2015) und Jundroo-LLC (2023)	32
Abbildung 12: Flagge mit eingefügten Flaggenbild (eigene Aufnahme aus KSP).....	33
Abbildung 13: Skizzierte Darstellung der Phasen einer bemannten Mun-Mission in KSP (eigene Abbildung).....	43
Abbildung 14: Neu erstellte Reiter für Expert*innen (eigene Aufnahme aus KSP).....	46
Abbildung 15: Ressource Flow Analyse des Raketenantriebs (eigene Aufnahme aus KSP)	49
Abbildung 16: Erste Seiten des Arbeitsheftes für Kerbin-Expert*innen (Deckblatt, Bedienungserklärung und erste Mission) (eigene Abbildung).....	51
Abbildung 17: Salatkopf-Bauteil (eigene Aufnahme aus KSP)	58
Abbildung 18: Schaltfläche zur Aktivierung der Vorspul-Funktion (eigene Aufnahme aus KSP).....	62

12. Betreuer und Umfang der Betreuung

Im Rahmen der hier vorliegenden wissenschaftlichen Hausarbeit wurde ich von Doktor Andreas Helzel betreut. Herr Helzel unterstützte meine Literaturrecherche mit Literaturempfehlungen und beriet mich bei Fragen bezüglich der möglichen Struktur der Hausarbeit. Zudem stammt von ihm die Empfehlung, nach einer kostenlosen Education-Version von Kerbal Space Programm zu suchen.

Daher danke ich Herrn Helzel für seine wertvollen Anregungen und die damit einhergehende Zeit.

Ebenso möchte ich allgemein der Didaktik der Physik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg danken, dass ich zur Erprobung des Materials mehrere Endgeräte ausleihen durfte. Fragen in Bezug auf mögliche Auswertungsmethoden der Fragebögen wurden zudem von Doktorin Inka Haak beantwortet.

Abschließend möchte ich mich bei allen Schüler*innen und Lehrkräften der Neuen Schule Magdeburg und des Christian-Wolff-Gymnasiums sowie meinen Freund*innen bedanken, welche an den Erprobungen des Unterrichtsmaterials beteiligt waren.

13. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende wissenschaftliche Hausarbeit samt den beigefügten Anlagen selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Ausführungen, die wörtlich, inhaltlich oder sinngemäß anderen Quellen entnommen sind, wurden als solche kenntlich gemacht. Desweiteren versichere ich, dass die Hausarbeit weder in gleicher noch in ähnlicher Fassung Bestandteil einer anderen Studien- oder Prüfungsleistung war.

Ort/Datum

Unterschrift

14. Anhang

Die entstandenen Unterrichtsmaterialien sowie die Datenauswertung der hier vorliegenden wissenschaftlichen Hausarbeit befinden sich auf der DVD.

Die verwendete Education-Edition von Kerbal Space Program wurde über eine Anfrage beim Publisher Private Division über den folgenden Link kostenlos zur Verfügung gestellt:

<https://support.privatedivision.com/hc/en-us/requests/new>

Die formulierte Nachricht lautete wie folgt:

„Dear Private Division support,

I'm studying at Martin Luther University Halle-Wittenberg (Germany) to become a teacher for physics, math and astronomy . For my final assignment I would like to develop teaching aids for a KSP based teaching method in school. My idea is to split the students in groups with specific roles (e.g. lead engineer, landing engineer...). The groups' goal is for example to plan and perform a landing on Mun.

Last week I present this idea to the doctors and professors of the institute of physic didactic at my University. They liked the idea but they also mentioned the price of KSP as a big obstacle for teachers who would like to use my material.

I found some information on the internet that there is an educational edition for KSP, so I would like to know: How can teachers get access to that? And how about the price? Is it a cheaper version of KSP or even for free?

Best regards,

Lukas Bille“

Bei weiteren Fragen zum erarbeiteten Unterrichtsmaterial kann eine E-Mail an bille.lukas@googlemail.com geschickt werden.