MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Quantenphysik in der Unterstufe - nötige fachliche Voraussetzungen“

verfasst von / submitted by

David Binder, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Education (MEd)

Wien, 2021 / Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet:	A 199 520 523
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Masterstudium Lehramt Sek (AB) Lehrverbund UF Mathemtik Lehrverbund UF Physik Lehrverbund
Betreut von / Supervisor:	Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Mitbetreut von / Co-Supervisor:	Mag. Dr. Marianne Korner

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.
Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 25.08.2021

David Binder, BEd

Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit behandelt die Entwicklung und Erprobung einer Unterrichtssequenz zum Thema Quantenphysik in der Unterstufe. Ausgehend von der Tatsache, dass die Quantenphysik erst am Ende der Oberstufe unterrichtet wird, wird im Rahmen dieser Arbeit versucht die nötigen fachlichen Voraussetzungen, für ein Unterrichten in der Unterstufe, zu finden und altersgerechte Erklärungen zu entwickeln. Ein weiteres Ziel ist eventuell auftretende Lernhindernisse dieser Altersgruppe hervorzuheben. Grundlage dafür ist das Milq-Konzept, ein Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik, welches für das Unterrichten in der Oberstufe entwickelt wurde, aber auch für die Unterstufe anwendbar ist. Die Erklärungen wurden empirisch erprobt und mittels Expertenvalidierung kontrolliert. Die dafür gewählte Methode ist die der Akzeptanzbefragung, welche genutzt wird, um die Erklärungen der Themen in einem Gespräch mit den Schüler*innen zu überprüfen. Die Lehrperson tritt dabei als Interviewer*in auf, indem er bzw. sie das Gespräch mithilfe eines Interviewleitfadens leitet. Das Interview wird aufgezeichnet und das Gesprächsmaterial in weiterer Folge transkribiert. Durch die Analyse der Akzeptanzbefragung soll herausgefunden werden, inwieweit die entwickelten Erklärungen für die Schüler*innen verständlich und die praktischen Anwendungsbeispiele lösbar sind bzw. wo Lernhindernisse auftreten. Aus dieser Analyse wird ein Unterrichtsentwurf mit den nötigen fachlichen Vorrausetzungen, für das Unterrichten der Quantenphysik in der Unterstufe, entwickelt.

Abstract

This master thesis deals with the development and testing of a teaching sequence on the topic of quantum physics for the eighth school year. Based on the fact that quantum physics is only taught at the end of high school, this thesis tries to find out the necessary technical requirements for teaching quantum physics for the eighth school year and to develop age-appropriate explanations. In addition, another goal is to find possible learning obstacles in the explanations for this age group. The basis for this is the Milq concept, a teaching concept for quantum mechanics, which is also applicable for the 8th grade. The explanations were also empirically tested and checked by means of an expert validation. The method chosen is the acceptance questioning, which is applicable to check the explanations of the topics in conversation with the students. The teacher thereby acts as an interviewer by leading the conversation with the help of an interview guide. The interview is audio recorded and the interview material transcribed afterwards. The goal of the acceptance interview is to find out to what extent the developed explanations are understandable for the students, how solvable the applications are and where learning obstacles do occur. From the results of this analysis, a lesson plan with the necessary technical prerequisites for teaching quantum physics in the eighth school year will be developed.

Inhalt

1 Einleitung 1

2 Theoretische Grundlagen 3

2.1 Lehr-Lern-Theorien und Konstruktivismus 3

2.1.1 Lehr-Lern-Theorien im Allgemeinen 4

2.1.2 Konstruktivismus 5

2.2 Interessens- und kontextorientierter Unterricht 9

2.2.1 Interessensorientierter Unterricht 9

2.2.2 Interessenstypen im Physikunterricht 11

2.2.3 Kontextorientierter Unterricht 12

2.3 Das Milq-Konzept 13

2.3.1 Grundlagen des Konzepts 14

2.3.2 Die Wesenszüge der Quantenphysik nach Müller 14

2.3.3 Quantenphysik in der Sekundarstufe I – Analyse der Voraussetzungen 17

2.4 Die Forschungsfragen 19

3 Methode der Akzeptanzbefragung 20

3.1 Grundlagen zur Akzeptanzbefragung 20

3.2 Umsetzung der Methode 22

3.3 Sample-Beschreibung 22

4 Planung der Intervention 25

4.1 Didaktische Analyse 25

4.1.1 Didaktische Analyse zum Determinismus 26

4.1.2 Didaktische Analyse zur Wahrscheinlichkeit 27

4.1.3 Didaktische Analyse zur Wellenlehre 29

4.2 Detaillierte Beschreibung und Begründung 31

4.2.1 Beschreibung zum Thema Determinismus 31

4.2.2 Beschreibung zum Thema Wahrscheinlichkeit 32

4.2.3 Beschreibung zur Wellenlehre 33
4.3 Erstfassung der Intervention 34
5 Ergebnisse 49
5.1 Vorbereitung 49
5.1.1 Wiederholung der Erklärung 49
5.1.2 Anwendung 51
5.2 Ergänzungen 53
5.3 Überblick der Auswertung 55
5.4 Detaillierte Auswertung 59
5.4.1 Determinismus 59
5.4.2 Wahrscheinlichkeit 63
5.4.3 Wellenlehre 77
5.5 Expertenvalidierung 91
5.5.1 Determinismus 91
5.5.2 Wahrscheinlichkeit 92
5.5.3 Wellenlehre 92
6 Diskussion und Fazit 94
6.1 Interpretation der Auswertungen zur Intervention hinsichtlich der Altersangemessenheit 94
6.1.1 Determinismus 94
6.1.2 Wahrscheinlichkeit 95
6.1.3 Wellenlehre 95
6.2 Interpretation der Auswertungen zur Intervention hinsichtlich möglicher Lernhindernisse 96
6.2.1 Determinismus 96
6.2.2 Wahrscheinlichkeit 97
6.2.3 Wellenlehre 98
6.3 Überarbeitungen zur Intervention 99

6.4 Unterrichtssequenz auf Basis der Intervention 100
6.5 Limitationen, Ausblick und Schlussbemerkungen zur Masterarbeit 100
7 Literaturverzeichnis 103
8 Anhang 108
8.1 Überarbeitete Intervention (3. Fassung) 108
8.2 Unterrichtssequenz auf Basis der Intervention 123
8.3 Vollständige Transkription 137

1 Einleitung

Ausgangspunkt dieser Masterarbeit ist die Entwicklung einer Unterrichtssequenz zur Vorbereitung zum Thema Quantenphysik für die Unterstufe.

Die Quantenphysik ist eine der wichtigen Säulen der modernen Physik. Sie bildet die Grundlage zur Beschreibung der Phänomene der Atomphysik, der Festkörperphysik und der Kern- und Elementarteilchenphysik, aber auch verwandter Wissenschaften wie der Quantenchemie. Die Quantenphysik unterscheidet sich von der klassischen Physik fundamental: Mechanische Vorgänge lassen sich leicht beobachten und diese Beobachtungsprozesse nehmen keinen Einfluss auf den Vorgang selbst. In der Quantenphysik sind vergleichbare Beobachtungen nicht möglich, weil jede Messung das System verändert (vgl. Bitzenbauer & Meyn, 2019, S. 17). In der Quantenphysik wird nicht mehr über die Realität selbst, sondern über die Modelle der Realität gesprochen. Wir werden durch die Quantenphysik zum Umdenken gezwungen, weil wir mit den klassischen Denkmustern keinen Erfolg mehr finden. Das sind Gründe, warum dieses Gebiet der Physik für uns so schwer zu erlernen ist (vgl. Schecker, Wilhelm, Hopf, & Duit, 2018).

Wieso soll so ein komplexes Thema, wie die Quantenphysik, schon früher unterrichtet werden? Wie oben geschrieben, ist die Quantenphysik ein wichtiger Bestandteil der Physik. Die wichtigsten Aspekte sollten so früh wie möglich übermittelt werden, da nicht alle die Möglichkeit haben werden, das in der Oberstufe zu lernen. Sollte die Schule, nach dem verpflichteten 9. Schuljahr, verlassen werden oder die Oberstufe in einer berufsbildenden Schule wie z.B. eine HTL, HAK usw. absolviert werden, wird man nichts von diesem Teilgebiet hören. Da ich es als Teil der Allgemeinbildung erachte, sollte die Quantenphysik schon in der Unterstufe unterrichtet werden.

Für das Unterrichten der Quantenphysik in der Unterstufe müssen jedoch alle nötigen fachlichen Lernvoraussetzungen gegeben sein. Die Themen Determinismus, Wahrscheinlichkeit und Wellenlehre sind laut Lehrplan erst in späteren Schulstufen vorgesehen. Für die Unterrichtssequenz werden im Rahmen der Masterarbeit die notwendigen Voraussetzungen für die Unterstufe herausgearbeitet und erprobt. Ziel ist es, altersgerechte Erklärungen der notwendigen Themen zu erstellen, damit ein sinnvoller Zugang zur Quantenphysik möglich ist. Erprobt werden die Erklärungen mit Hilfe der Methode der Akzeptanzbefragung. Hier wird in Form eines Gespräches, zwischen einer Lehrperson und einem*r Schüler*in, eine Erklärung nähergebracht. Das gesamte Gesprächsmaterial wird mit Audio auf-

gezeichnet, transkribiert und anschließend analysiert. Aus der Analyse kann interpretiert werden, wie weit eine Erklärung verstanden wurde bzw. ob und welche Lernhindernisse aufgetreten sind.

Ziele dieser Arbeit sind einerseits die notwendigen fachlichen Voraussetzungen für einen sinnvollen Zugang der Quantenphysik in der Unterstufe zu untersuchen. Weiters sollen die, aus den nötigen fachlichen Voraussetzungen, resultierenden Erklärungen altersgerecht und verständlich für die Unterstufe ausgearbeitet sein. Außerdem soll nach Lernhindernissen der, aus den nötigen fachlichen Voraussetzungen, resultierenden Erklärungen gesucht werden.

Die vorliegende Masterarbeit gliedert sich in fünf Kapitel. In Kapitel 2 wird auf die theoretischen Grundlagen, auf denen die Forschungsarbeit beruht eingegangen: konstruktivistischen Lehr Lern-Theorien, über interessens- und kontextorientiertem Unterricht bis hin zum Unterrichtskonzept der Quantenphysik. Abgeschlossen mit der Formulierung und Beschreibung der entwickelten Forschungsfragen zu dieser Arbeit. Das Kapitel 3 beinhaltet die Beschreibung zur Methode der Akzeptanzbefragung. Danach wird die Umsetzung erläutert und abschließend auf die Sample-Beschreibung der Stichprobe eingegangen. Die Planung der Intervention wird im dritten Kapitel nähergebracht. Hier wird für alle Themenbereiche zunächst die didaktischen Analysen vorgestellt, anschließend detaillierte Beschreibungen und Begründungen der Themenauswahl gegeben. Die Planung der Intervention wird im vierten Kapitel nähergebracht. Hier wird für alle Themenbereiche zunächst die didaktischen Analysen vorgestellt, anschließend detaillierte Beschreibungen und Begründungen der Themenauswahl gegeben und abschließend eine Erstfassung der Intervention gezeigt. Im folgenden fünften Kapitel wird der empirische Teil bearbeitet und die Ergebnisse analysiert. Zunächst werden die Rahmenbedingungen der Akzeptanzbefragungen beschrieben. Nach einigen Ergänzungen für ein besseres Verständnis der Analyse wird anschließend eine Übersichtstabelle, der nachfolgenden detaillierten Auswertung des Gesprächsmaterial, gezeigt. Das Material wird in kleine Unterthemen unterteilt, jede Gruppe analysiert und nach der Akzeptanz bewertet. Jede Bewertung wird durch Ausschnitte aus dem Gesprächsmaterial begründet. Abgeschlossen wird das Kapitel mit der Expertenvalidierung für die Bestätigung einer objektiven Bewertung. Im abschließenden Kapitel 6 wird die Auswertung der Akzeptanzbefragung, nach den gestellten Forschungsfragen, gedeutet und diskutiert. Nach der Beschreibung der überarbeiteten Interventionen und die daraus resultierende Unterrichtssequenz folgt abschließend die Limitation, ein Ausblick auf mögliche Erweiterungen und Schlussbemerkungen zur Masterarbeit.

2 Theoretische Grundlagen

Für die, in dieser Masterarbeit zugrunde liegenden, theoretischen Aspekte, werden im Unterkapitel 2.1 konstruktivistische Lehr und Lern-Theorien nähergebracht, beginnend mit einer allgemeinen Erläuterung, über die Beschreibung wichtiger Aspekte bis hin zur tieferen Diskussion über konstruktivistische Theorien. Abgeschlossen wird dieser Teil mit den Merkmalen von konstruktivistisch orientiertem Unterricht nach Widodo und Duit (2004, S. 238). Im Unterkapitel 2.2 wird der Interessens- und kontextorientierte Unterricht behandelt. Hier wird zunächst über die Definition, Bedeutung und die verschiedenen Facetten von Interesse und Motivation eingegangen. Anschließend werden die Ergebnisse der IPN-Interessensstudie aus den Jahren 1984-1989 (vgl. Hoffmann, Häußler, & Lehrke, 1998) diskutiert und die Interessenstypen im Physikunterricht vorgestellt (vgl. Häußler, Bünder, Duit, Gräber, & Mayer, 1998a). Abgerundet mit einer Definition, Unterscheidung und der Umsetzung von Kontext im Unterricht. Das Unterkapitel 2.3 beinhaltet ein Unterrichtskonzept zur Quantenphysik, das Milq-Konzept von Rainer Müller (vgl. Müller, 2005b). Zuerst wird allgemein und anschließend detailliert über das Konzept berichtet. Im abschließenden Unterpunkt wird auf die Besonderheiten, für das Unterrichten der Quantenphysik in der Sekundarstufe I, eingegangen. Abgerundet wird dieses Kapitel mit der Beschreibung der entstandenen Forschungsfragen in 2.4.

2.1 Lehr-Lern-Theorien und Konstruktivismus

Konstruktivistische Sichtweisen sind nun seit über 40 Jahren die wichtigsten Säulen in der Forschung des Lehrens und Lernens. Insbesondere in den Didaktiken der Naturwissenschaften sind sie bis heute starke Leitbilder. Im Laufe dieser langen Zeit haben sich jedoch die Akzente des Konstruktivismus verlagert, wodurch in der Literatur diesbezüglich eine breite Facette entstanden ist (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 234). Es hat ein uneinheitliches und teilweise verwirrendes Bild um den Konstruktivismus und ihre Varianten gebildet (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 868).

Bevor ausführlich über den Konstruktivismus zu lesen ist, wird zuerst auf Lehr-Lerntheorien allgemein eingegangen.

2.1.1 Lehr-Lern-Theorien im Allgemeinen

Wissenschaftliche Definitionen zu „Lernen“ gibt es unzählig. Bower und Hilgard definieren „Lernen“ folgendermaßen:

„Lernen bezieht sich auf die Veränderung im Verhalten oder im Verhaltenspotential eines Organismus hinsichtlich einer bestimmten Situation, die auf wiederholte Erfahrungen des Organismus in dieser Situation zurückgeht, vorausgesetzt, dass diese Verhaltensänderung nicht auf angeborene Reaktionstendenzen oder vorübergehende Zustände zurückgeführt werden kann“ (vgl. Bower & Hilgard, 1983, S. 31).

Es thematisiert den Prozess, der Veränderung von Handlung, Denken und Empfinden der Lernenden und verändertes Verhalten bewirkt. Eine Lerntheorie ist der Versuch das Wissen über das Lernen zu systematisieren und zusammenfassen (vgl. Reuter, 2015, S. 3).

Der Versuch alle Lernformen mittels einer Lerntheorie zu beschreiben oder zu erklären, ist bis heute gescheitert. Hierfür hilft die Vielfalt der Lerntheorien, welche auf bestimmte Aspekte den Fokus setzen und andere vernachlässigen (vgl. Reinmann, 2011, S. 2).

Im pädagogischen Diskurs haben sich drei Lerntheorien gefestigt, welche den Lernprozess unterschiedlich definieren: Behaviorismus, Kognitivismus und der Konstruktivismus.

2.1.1.1 Behaviorismus

Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts dominierte der Behaviorismus in der Theorie des Lernens. Die wichtigste Grundlage dieser Theorie bildet das Reiz-Reaktions-Modell. „Das Gehirn wird als ein Organ angesehen, das auf Reize mit angeborenen oder erlernten Verhaltensweisen reagiert“ (vgl. Reinmann, 2011, S. 3). Das Lernen wird also nun als Wissenschaft vom Verhalten und nicht mehr als Wissenschaft vom Seelischen interpretiert. „Verhalten ist immer die Reaktion auf einen Reiz, und deshalb kann Verhalten in Form von Reiz-Reaktions-Zuordnungen verstanden werden“ (vgl. Hecht & Desnizza, 2012, S. 126). Ein Zugang dieser Lerntheorie ist einen neutralen Reiz zeitlich mit einem Reiz koppeln, welcher eine reflexartige Reaktion zu Folge hat. Ziel ist, diese Reaktion allen durch den ersteren Reiz hervorzurufen. Emotionale Reaktionen wie Furcht und Stress haben sich als sehr wirksam herausgestellt (vgl. Reinmann, 2011, S. 3). Ein Beispiel hierfür wäre eine Beobachtung aus dem 19. Jahrhundert. Hunde speichelten verstärkt, sobald zugeteilte Personen Futter brachten. Später reichte schon die Anwesenheit dieser Personen für ein erhöhtes Speicheln (vgl. Hecht & Desnizza, 2012, S. 127). Ein weiterer Zugang vom Behaviorismus ist das Verknüpfen eines spontanen Verhaltens mit einem angenehmen Reiz

beziehungsweise entfernen eines unangenehmen Reizes. Hierbei kann dieses Verhalten verstärkt und auf eine bestimmte Weise geformt werden (vgl. Reinmann, 2011, S. 3).
Der Übergang zum Kognitivismus entspricht auch der historischen Abfolge. Es ist zu bemerken, dass beim Kognitivismus da angesetzt wurde, wo behavioristische Erläuterungen kompliziert oder nicht mehr tragbar erschienen (vgl. Gieseke & Arnold, 2012, S. 105).

2.1.1.2 Kognitivismus

Der Kognitivismus wurde spätestens seit Beginn der 1980er Jahre führend in der Lerntheorie. Unter anderem wurde er auch Informationsverarbeitungsparadigma genannt. Hier wird „das Lernen als mentaler Prozess, der ähnlich wie die Informationsverarbeitung im Computer abläuft und zu Wissensrepräsentationen im Gehirn führt“ (vgl. Reinmann, 2011, S. 4). Hier liegt der Fokus in der Veränderung im Inneren des Lernens. Außerdem wird die Informationsverarbeitung, also das Lernen, als aktiver Prozess gesehen. Eine wesentliche Veränderung bezüglich des Behaviorismus ist, dass „der Mensch als Konstrukteur seiner Wirklichkeit, als aktiver, denkender, Ziele verfolgender, planender Akteur […] verstanden [wird]“ (vgl. Schaller, 2012, S. 121). Wissen kann durch Aufnahme und Verarbeiten von Information erlangt werden, welche im Gehirn gesichert werden. Hier wird die Frage bearbeitet, mit welchen Methoden die Menschen zu Problemlösungen kommen. Bei diesem Ansatz ist das Lernen ein mentaler Prozess, welcher sich wiederum, analog den Informationsverarbeitungen im Computer, modellieren lässt. Der Lehr- und Lernprozess wird als Informationsübertragung von Lehrende zu Lernende vorgestellt, wobei im Gehirn Wissen, in Form von verarbeiteten Informationen, gespeichert wird.
Der Mensch agiert bei den kognitivistischen Ansätzen weniger mechanisch als im Behaviorismus. Dem Menschen wird hier mehr als ein reaktives Verhalten zugeteilt (vgl. Reinmann, 2011, S. 3).

2.1.2 Konstruktivismus

Wie bereits erwähnt haben sich die Akzente des Konstruktivismus, mit der Zeit, verlagert, wodurch mehrere Variationen der konstruktivistischen Sichtweise entstanden sind. In zeitlicher Analogie sind der „radikale“, „soziale“ und „moderate“ Konstruktivismus die Hauptträger dieser Theorie (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 234).

Der *radikale Konstruktivismus* ist der Ansicht, „[…] dass Wahrnehmung Konstruktion und Interpretation ist und Objektivität, subjektunabhängiges Denken und Verstehen unmöglich

sind“ (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 868). Es wird somit behauptet, dass die Wirklichkeit immer kognitiv konstruiert ist und erst beim Teilen mit anderen verbindlich wird. Eine direkte Erfassung einer außen liegenden Wirklichkeit ist nicht möglich, was bedeutet, dass sämtliches Erkennen des Menschen an eine Beobachtungsperspektive geknüpft ist. Alles Wissen ist eine Konstruktion vom Menschen selbst (vgl. Riemeier, 2007).
Aus dieser Kernannahme wurden Folgerungen und Begründungen postuliert, welche wissenschaftsgeschichtlich gesehen neue Erkenntnisse brachte. Folgende drei Argumentationskategorien ließen sich daraus bilden:

(1) gehirnphysiologische
(2) kognitionswissenschaftliche und
(3) systemtheoretische

Annahmen.
(1) Für eine Wahrnehmung stellen die Sinnesorgane notwendige Reize, jedoch findet die eigentliche Wahrnehmung in den Hirnregionen statt.
(2) Entspricht einem Modell der Informationskonstruktion. Hier wird die Kommunikation nicht als ein Austausch verstanden, sondern „als Anregung zur Konstruktion, als orientierende Interaktion“ (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 869).
(3) Die Verfechter des radikalen Konstruktivismus bezeichnen sich selbst als Systemtheoretiker, die lebende Systeme als autopoietische Systeme interpretieren (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 869). Ein autopoietisches System wird als selbstorganisierendes und reproduzierendes System definiert (vgl. Wiehl, 2017). Sie sind also der Meinung, dass das System nicht nur sein Verhalten, sondern überhaupt seine Existenz durch sich selbst erzeugt.

Beim *sozialen Konstruktivismus* werden Gemeinsamkeiten in bestimmten Situationen bezüglich ihrer Konstruktivität gesucht. Gemeint ist zum Beispiel in der Alltagswelt oder bei bestimmten Arten von Sozialbeziehungen. Hier ist Denken und Wissen situiert und bekommt erst durch fortlaufendes Handeln Bedeutung (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 870).

Auf diese Form des Konstruktivismus wurde die Gestaltung von Lernumgebungen für die Steigerung der Wissensaufnahme ein Thema (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 874). So kam in den 1990er Jahre eine neue Interpretation, der *moderate Konstruktivismus*, auf. Hierbei wird davon ausgegangen, „dass zwar jedes Wissen, also auch wissenschaftliches

Wissen, menschliche Konstruktion ist, stellt aber grundsätzlich die Existenz einer gewissen „Realität“ nicht in Frage“ (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 234). Bei dieser Form steht der/die Lernende und dessen Lernprozess im Fokus (vgl. Riemeier, 2007). Diese Variante versucht den radikalen und den sozialen Konstruktivismus zu verbinden. Wissen soll aus zwei Komponenten bestehen. Die persönlichen mentalen Repräsentationen der Lernenden und die soziale und materielle Situation, in der gelernt wird (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 234). Der moderate Konstruktivismus kann folgend charakterisiert werden:

Lernen ist *konstruktiv*: Informationen sollen nicht einfach aufgenommen werden um sie anschließend entsprechend einzubetten, sondern die Lernenden konstruieren aktiv Bedeutsamkeiten auf Basis ihrer bisherigen Vorstellungen. Die bereits vorhandenen Vorstellungen können fachwissenschaftlichen Vorstellungen Wiedersprechen, wodurch es zu Lernhindernissen führen kann, aber es kann sich auch eine lernförderliche Basis eines Lernprozesses bilden.

Lernen ist *selbstdeterminiert*: Die Umgebung kann einen Lernprozess zwar anregen oder auslösen, aber nicht gesteuert oder kontrolliert werden.

Lernen ist *individuell*: Lernprozesse stehen immer in Verbindung mit den kognitiven Systemen der Lernenden, somit beeinflussen auch emotionale Aspekte wie Motivation den Prozess.

Lernen ist *sozial*: Trotz der Verbindung des kognitiven Systems jeder einzelnen Person mit dem Lernprozess, schwingt ein sozialer Bestandteil beim Lernen mit. Während einer sozialen Interaktion kann lernen stattfinden, in der Anregungen, Auffassungen, o.ä. diskutiert, besprochen, überprüft und weitergegeben werden.

Lernen ist *situiert*: Lernen findet in kontextgebundenen Ereignissen statt, also sind die inhaltlichen und sozialen Erfahrungen der Lernsituation mit dem Wissen verbunden (vgl. Riemeier, 2007) .

Bei konstruktivistischen Lerntheorien sind vorunterrichtliche Vorstellungen ein wichtiger Baustein. Diese vorhandenen „Vorstellungen“ sollen als Grundlage, zum eigenständigen Konstruieren neuen Wissens, dienen. Aus konstruktivistischer Sicht wird Lernen oft als Konzeptwechsel beschrieben (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 234).

Effektivere Lernumgebungen zu entwickeln war jedoch nicht das Wesentliche in der Didaktik der Naturwissenschaften. Es wurde versucht Unterricht an den Lernfähigkeiten, Interessen und Bedürfnissen der Schüler*innen zu gestalten. Es wurde nicht mehr ausschließlich auf das Verbessern der Konzepte, sondern Verbessern der Prozesse, wertgelegt. Es wurde also zusätzlich auf die Erkenntnisse von Denk- und Arbeitsweisen der Wissen-

schaft und dem im Unterricht vermittelten Bild, bezüglich der Naturwissenschaft, der Fokus gelegt (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 235).

Abschließend ist noch zu sagen, dass die verschiedenen Varianten des Konstruktivismus nicht als Kritik an dem Konzept selbst zu verstehen sind. Lehren und Lernen umfasst eine große Anzahl an Aspekten, welche sich nicht mit einer einzigen Theorie beschreiben lassen. Es erfordert „multi-perspektivische" Ansicht, um diese komplexe Phänomene zu erfassen (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 236).

2.1.2.1 Kennzeichen Konstruktivistischer Lernumgebungen

Konstruktivistische Ideen sind eine gute Basis für die Verbesserung des Unterrichts in der Praxis. Diese können zur Gestaltung von Lernumgebungen, welche Konstruktion und Wissen erlauben, genutzt werden. Jedoch ist die Einbettung konstruktivistischer Ideen in der Praxis keine leichte Aufgabe, sondern ein zeitintensives und komplexes Unterfangen. Dafür wurden zentrale Kennzeichen definiert, welche Lernen aus konstruktivistischer Sicht unterstützen. Widodo und Duit (2004, S. 235–240) kategorisierten diese Kennzeichen wie folgt:

(A) Konstruktion des Wissens ermöglichen
(B) Relevanz und Bedeutung der Lernerfahrungen
(C) Soziale Interaktion
(D) Unterstützung der Schüler beim eigenständigen Lernen
(E) Wissenschaft, Wissenschaftler und wissenschaftliches Wissen

(A) *Konstruktion des Wissens ermöglichen* wird durch die Auffassung gestützt, dass Wissen von Menschen erzeugt wird, dass Vorstellungen bereits vorhanden sind, dass Lernen ein aktiver Prozess ist und weiters die Vorstellungen verändert werden. Der Fokus liegt auf den vorunterrichtlichen Vorstellungen und die Konstruktion des Wissens. Daraus können Kennzeichen abgeleitet werden. Ein Beispiel wäre, dass der Stellenwert des Neuerlernten, sowohl als Rückschau als auch als Vorschau, bekannt sein soll. Außerdem hilft für passende Antworten auf Fragen oder Unklarheiten das Verständnis über die Denkweise der Schüler*innen.
(B) *Relevanz und Bedeutung der Lernerfahrungen* repräsentiert die Integration von Wissen in einem bestimmten sozialen und materialen Kontext. Der Fokus liegt auf dem Bereitstellen authentischer, relevanter und bedeutsamer Lernerfahrungen mittels Materialien. Bei-

spiel für ein entwickeltes Kennzeichen wäre, dass die persönliche Relevanz ein entscheidender Faktor des Lernens ist. Weiters sollte eine Verbindung zwischen Verbindung Alltag und Unterricht aufgebaut werden.

(C) *Soziale Interaktion* beschreibt die Ansicht, dass Wissen sozial konstruiert wird. Der Fokus liegt auf den Austausch in verschiedenen Organisationsformen. Ein abgeleitetes Kennzeichen ist hierbei der Austausch zwischen Schüler*innen sowie zwischen Schüler*innen und Lehrer*innen. Mögliche Sozialformen, wie Einzelarbeit, Gruppenarbeit und Arbeit in der gesamten Klasse fördert diese Interaktion.

(D) *Unterstützung der Schüler beim eigenständigen Lernen* setzt die Prämisse, dass die Lernenden selbst für ihr eigenes Lernen verantwortlich sind. Der Fokus liegt auf die Förderung unabhängigen Lernens und dem Mitspracherecht im Lehr-Lern-Prozess. Entwickelte Kennzeichen wären zum Beispiel Freiräume bereitstellen, die Schüler*innen zu ermutigen ihre eigenen Ideen zu überdenken sowie das Ernstnehmen von kritischen Anmerkungen der Schüler*innen.

(E) *Wissenschaft, Wissenschaftler und wissenschaftliches Wissen* ergeht dem Ansatz, dass wissenschaftliches Wissen von Menschen konstruiert und vorläufig ist. Der Fokus liegt auf dem Prozess der Weiterentwicklung und Überarbeitung von Wissenschaft und Fachwissen. Abgeleitete Kennzeichen davon wären die Anerkennung von Vorläufigkeit von Wissenschaft, die unterschiedlichen wissenschaftlichen Forschungsstrategien bzw. die Grenzen wissenschaftlicher Erklärungen, anerkennen.

2.2 Interessens- und kontextorientierter Unterricht

Lernen ist keine rein rationale Angelegenheit, sondern eng verbunden mit Bedürfnissen, Interessen und Einstellungen, also „affektiven“ Aspekten. Alle Stufen eines Lernprozesses werden von diesen Aspekten beeinflusst. Beginnend mit der Aktivierung zum Lernen über den Weg des Lernprozesses bis hin zur langfristigen Ebene (vgl. Rabe, 2010). Besondere Rolle spielt hier das Interesse und der Kontext.

2.2.1 Interessensorientierter Unterricht

Interesse ist in der Forschung nicht eindeutig definiert. Eine mögliche unterschiedliche Auffassung ist das *individuelle* sowie das s*ituative Interesse*. Das individuelle Interesse wird als eine länger andauernde Vorliebe für eine bestimmte Sache oder eines Vorgangs definiert. Der Antrieb durch einen bestimmten Umstand einer speziellen Situation wird als

situatives Interesse beschrieben. Im fachdidaktischen Bereich hat sich eine neue Interpretation durchgesetzt, welche, trotz der Unterschiede, eine Kombination der beiden Interpretationen schaffte. Die interessensführenden Handlungen werden als Wechselwirkungen zwischen dem individuellen und dem situativen Interesse angesehen (vgl. Häußler, Bünder, Duit, Gräber, & Mayer, 1998b, S. 119).

Interesse beschreibt außerdem die Beziehung des Lernenden zu einem Lerngegenstand. Es kann zwischen dem *Fachinteresse* und dem *Sachinteresse* unterschieden werden. Schüler*innen mit Fachinteresse hegen eine Vorliebe für das Schulfach Physik. Es wird ein positives Gefühl mit dem Gegenstand durch Interesse geschaffen. Der Gegenstand des Interesses wird im Vergleich zu den anderen Gegenständen auf eine eigene Stufe gehoben. Es entwickelt sich das Bedürfnis mehr Wissen aneignen zu wollen und mit diesen Themen intensiver auseinanderzusetzen. Hingegen hegen Schüler*innen mit Sachinteresse die Vorliebe für die Physik, Begriffe Prinzipien und deren Anwendungen in Technik, Alltag und Gesellschaft. Das Interesse entsteht bei Tätigkeiten, die bei der Auseinandersetzung mit der Physik angewandt werden können. Im Vergleich zum Sachinteresse hängt das Fachinteresse sehr stark von den vorherrschenden Unterrichtsmethoden ab (vgl. Rabe, 2010).

Interessen im Physikunterricht haben jedoch noch eine weitere Funktion. Sie sind die Grundlage für die Motivation, welche für effizientes Lernen nötig ist (vgl. Rabe, 2010).

Rabe (2010, S. 1) beschreibt die Motivation als den „Antrieb zum Lernen und Handeln, das auf ein positiv bewertetes Ziel gerichtet ist“. Der Grund für das Lernen kann innerhalb oder außerhalb des Lernenden liegen. Mit *intrinsischer* Motivation ist die Handlung als Selbstzweck gemeint, wie zum Beispiel aus Interesse am Thema. Wird zum Beispiel für eine gute Note gelernt, so liegt der Zweck außerhalb der eigenen Personen und es wird von *extrinsischer Motivation* gesprochen. Ein Mechanismus für die Verteilung der beiden Arten von Motivation ist die Erreichbarkeit eines Ziels. Umso utopischer ein erhofftes Ziel zu erreichen scheint, desto mehr Willenskraft muss für nötige Handlungen aufgewandt werden (vgl. Rabe, 2010).

Intrinsische Motivation bei den Lernenden ist aus pädagogischer Sicht erwünscht. Nach Deci & Ryan (1993) ist diese sogar die höchste Form der Motivation, da aus dem eigenen Interesse und Spaß die Bewältigung der Aufgabe erfolgt. Besonders ausschlagend hierfür ist das Erleben, die Aufgabe bewältigen zu können und die Möglichkeit der eigenständigen und selbstbestimmten Durchführung der Aufgabe (vgl. Deci & Ryan, 1993).

2.2.2 Interessenstypen im Physikunterricht

In den 80er Jahren zeigten bereits Untersuchungen, dass das Fach Physik für viele Schüler*innen ein unbeliebtes Fach ist. Es wurden nach Gründen für das Desinteresse und Strategien für eine Verbesserung der Situation gesucht. Mit einer umfassenden Studie, der IPN-Interessensstudie, wurde dies in die Wege geleitet (vgl. Hoffmann et al., 1998, S. 9–11). Auf Basis der Ergebnisse dieser Studie wurden unzählige weiterführende Forschungsarbeiten publiziert(vgl. Hoffmann et al., 1998, S. 87–107). 1984 wurde mit der 5. Schulstufe begonnen und mit der 10. Schulstufe im Jahr 1989 beendet. Mit Schüler*innen von 26 deutschen Schulen wurde mittels Fragebogen eine Interessenserhebung durchgeführt (vgl. Hoffmann et al., 1998, S. 13–15).

Eine große Folgerung aus dieser Studie ist, die Unterteilung in drei Interessensbereiche für den Physikunterricht, welche für die SchülerInnen von Bedeutung sind (vgl. Häußler et al., 1998a, S. 129)

- *Physik und Technik*: In diesem Interessensbereich geht es um das Interesse an Physik um ihrer selbst willen.
- *Mensch und Natur*: Im Bereich „Mensch und Natur“ stehen die Erklärung von Naturphänomenen und Fragestellungen zum menschlichen Körper im Zentrum.
- *Gesellschaft*: Hier wird die Bedeutung von physikalischen Erkenntnissen für die Gesellschaft diskutiert.

Hier könnt vermutet werden, dass die Schüler*innen in diese Bereiche eingeteilt werden können. Die lässt sich verneinen, bestätigt durch die Forschung. Die Schüler*innen fühlen sich zu allen Bereichen in gewissem Maße hingezogen, nur in unterschiedlicher Ausprägung. Sie können in drei Typen zusammengefasst werden (vgl. Häußler et al., 1998a, S. 129)

- *Typ A*: Bei Schüler*innen deren Begeisterung allen drei Interessensbereiche gilt, sprechen wir vom Interessenstyp A. Sie zeigen ebenfalls Interesse an Berechnungen.
- *Typ B*: Der Interessenstyp B wird bei Schüler*innen mit überwiegendem Interesse an „Mensch und Natur“ zugewandt. Typ B lässt sich von den anderen beiden Bereichen schwerer begeistern.
- *Typ C*: Schüler*innen mit einem hauptsächlichen Interesse am Bereich „Gesellschaft“ und leichtem Interesse am Bereich „Mensch und Natur“, wird als Interes-

senstyp C definiert. Dieser findet für den Bereich „Physik und Technik“ kaum Interesse.

Laut der Forschung sind geschlechter- und altersspezifische Unterschiede erkennbar. Dem Interessenstyp A sind überwiegend Burschen, jüngeren und leistungsstarke Schüler*innen, bezüglich Physik, zugewandt. Gleiche Geschlechterverteilung wurde beim Interessenstyp B erhoben, sowie Durchschnittsleistungen bezogen auf das Fach Physik. Dem Interessenstyp C haben überwiegend Mädchen bzw. leistungsschwache Schüler*innen angesprochen (vgl. Häußler et al., 1998a, S. 137–138).

Markant ist außerdem die unterschiedliche Häufigkeitsverteilung der drei Interessenstypen. Während Typ A nur mit 20% und Typ C mit 25% vertreten war, kam Typ B auf 55% der Schüler*innen (vgl. Häußler et al., 1998a, S. 140).

Aus diesen Resultaten kann schlussgefolgert werden, dass dem Interessensbereich „Mensch und Natur“ die größte Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte, weil damit die meisten Schüler*innen erreicht werden können. Schüler*innen des Interessenstyps A können sich ohnedies für alle Themen begeistern, für den größten Anteil mit dem Interessenstyp B ist „Mensch und Natur“ genau das Richtige und der Interessenstyp C kann dem Thema auch gering etwas abgewinnen.

2.2.3 Kontextorientierter Unterricht

Diese Interessen der Schüler*innen gilt es in den Unterricht erfolgreich zu integrieren. Der kontextorientierte Unterricht beschreibt die Möglichkeit dieses zu verwirklichen.

Zunächst eine Beschreibung von Kontext (vgl. Duit & Mikelskis-Seifert, 2010, S. 1):

„Das Wort Kontext wird in vielfältigen Bedeutungen verwendet. Alles, was geschieht, geschieht notwendiger Weise in einem bestimmten Kontext; alles, was gelernt werden soll, ist unvermeidlich in einen Kontext eingebettet. KonText bedeutet, dass ein bestimmter „Text“ immer nur im Zusammenhang mit seiner Einbettung verstanden werden kann.“

Hier spielt die „Verpackung“ eines Inhaltes eine große Rolle.

Es wird zwischen zwei Typen von Kontexten unterschieden:

Für zielführendes Lernen eines fachlichen Inhaltes ist ein *relevanter* Kontext erforderlich. Ein Kontext allein ist noch keine Voraussetzung für Lernen, sondern der Sinn muss für die Schüler*innen erkennbar sein. Kontext aus dem Alltag der Schüler*innen, aber auch Aspekte der Bedeutung der Physik für Technik und Gesellschaft sind Möglichkeiten.

Außerdem findet Lernen immer im Kontext einer bestimmten *Lernumgebung* statt. Bei dieser Lernumgebung ist es erforderlich, Lernen nachhaltig zu unterstützen.
Beide Typen von Kontexten sind mit gleicher Bedeutsamkeit zu bewerten. Relevanter Kontext und Lernumgebung müssen aufeinander abgestimmt sein (vgl. Duit & Mikelskis-Seifert, 2010).
Für die Umsetzung gilt es die Inhalte den Alltagserfahrungen der Schüler*innen anzupassen und Experimente mit Alltagsgegenständen bzw. als Freihandexperimente durchzuführen. Außerdem sollen aus natürlichen authentischen Problemsituationen, physikalisches Wissen gelernt werden. Nur die Physik, welche zum Lösen des Problems benötigt wird, sollte angewandt werden. Fächerübergreifender Unterricht ist hier das Stichwort (vgl. Müller, 2005a, S. 3)
Kontexte bringen jedoch auch Schwierigkeiten mit sich. Das Bedürfnis nach Kontexten, um Inhalte interessanter zu gestalten, kann zu einer offensichtlichen Umhüllung dieses Inhaltes führen. Augenscheinliche „erzwungene“ Kontexte bewirken genau das Gegenteil. Außerdem kann passieren, dass durch eine zu starke Einbettung in einen Kontext der fachliche Inhalt untergeht (vgl. Duit & Mikelskis-Seifert, 2010).

2.3 Das Milq-Konzept

Das Gebiet der Quantenphysik ist inhaltlich einer der komplexesten und kontraintuitivsten Themen der gesamten Physik, die in der Schule vermittelt werden soll. Trotz empirisch guter Bestätigung der Ergebnisse der Quantenphysik, wird die Interpretation bis heute stark diskutiert (vgl. Müller, 2005b, S. 6). In den letzten 30 Jahren wurden durch die Experimente und Techniken viele Erkenntnisse errungen, welche jedoch ein Überdenken der wichtigsten Konzepte und Begriffe, für die Vermittlung der Schwerpunkte, erfordert (vgl. Schorn & Wiesner, 2008). Daraus ergeben sich Schwierigkeiten beim Entwickeln eines Unterrichtskonzeptes. Diese sind unterschiedlich, je nach Schwerpunktsetzung, weil in keinem anderen Inhaltsbereich der Schulphysik die Schwerpunkte, die Art und der Umfang des Unterrichts so stark divergieren. Jedes Konzept ist eine andere Antwort auf die Frage, womit die Quantenphysik zur physikalischen Bildung beitragen kann und welche Bedeutung sie für die Schüler*innen haben kann. Es wird betont, dass es, ähnlich anderen Bereichen, keine klare „richtige“ Antwort gibt (vgl. Müller, 2005b, S. 6). Für ein erstes Bild in das Teilgebiet der modernen Physik, dass einen wesentlichen Faktor des heutigen physikalischen Weltbilds und eine Basis der aktuellen Technologie sowie Forschung darstellt,

muss ein völlig neuer Zugang zur Physik eingeschlagen werden. Außerdem sollte für diese Klassenstufen ein rein qualitatives Niveau gewählt werden (vgl. Schorn, 2015).

2.3.1 Grundlagen des Konzepts

In diesem Kapitel wird das Unterrichtskonzept von Rainer Müller vorgestellt (vgl. Müller, 2005b). Es wurde hier der Ansatz gewählt, sich auf diejenigen Aspekte der Quantenphysik zu konzentrieren, welche die Quantenphysik von der klassischen Physik unterscheiden und die daraus resultierenden Merkwürdigkeiten bzw. Konsequenzen dieser „neuen“ Physik zeigen (vgl. Schorn, 2015). Die Quantenphysik soll keine weitere Sparte, neben der Mechanik, Optik, Elektrizitäts- und Wärmelehre, sondern eine fundamental neue Herangehensweise, sein auf deren Erkenntnisse ein neues physikalischen Weltbild entstehen kann. Es soll ein erster Einblick in den Charakter dieses quantenmechanische Weltbild geben. Müller formuliert hierzu vier Wesenszüge, welche die wichtigsten Grundzüge der Quantenphysik und wie sie sich von der klassischen Physik abgrenzt, qualitativ beschreibt. Ein Unterrichtskonzept auf Basis von Wesenszügen unterscheidet sich inhaltlich und in der konzeptuellen Zielsetzung deutlich von traditionellem Unterricht. Ein wesentlicher Unterschied ist die qualitative Beschreibung der Inhalte mit bewusstem anfänglichem Verzicht auf die mathematische Beschreibung. Dies wird durch qualitative Simulationsexperimente verwirklicht, welche ein direktes Erforschen der wichtigsten Faktoren der Quantenphysik ermöglichen (vgl. Müller, 2005b, S. 15). Hierbei eignet sich das Doppelspaltexperiment aus didaktischer Sicht sehr gut, da es vielfältig verwendet werden kann. Es wird in vielen Unterrichtskonzepten als Schlüsselexperiment für den Einstieg in die Quantenphysik verwendet (vgl. Wiesner & Schorn, 2015). Der bewusst vermiedene Fokus auf die tiefere Mathematik soll zu der Anwendbarkeit in der Sekundarstufe I führen (vgl. Müller, 2005b, S. 15).

2.3.2 Die Wesenszüge der Quantenphysik nach Müller

Im Folgenden werden die vier Wesenszüge mit Folgerungen von Müller (2005, S.17-28) beschrieben:

- **Wesenszug 1: Statistisches Verhalten**

Der erste Wesenszug behandelt eines der wichtigsten Unterschiede der Quantenphysik zur klassischen Physik, das statistische Verhalten.

„In der Quantenphysik können Einzelereignisse im Allgemeinen nicht vorhergesagt werden“ (vgl. Müller, 2005b, S. 18).

Als Beispiel werden einzelne Elektronen durch einen Doppelspalt auf einen Schirm geschickt und durch Messungen die Position der Elektronen am Schirm bestimmt. Beim Versuch die Position eines Elektrons vorherzusagen, wird man feststellen, dass eine solche Vorhersage reine Glückssache wäre, da es vom Zufall bestimmt ist. Ein vermeintlicher Vergleich aus der klassischen Physik ist der Würfelwurf. Der große Unterschied hierbei ist, dass beim Wissen aller Anfangsbedingungen, wie Abwurfwinkel, Unebenheiten der Unterlage, usw. könnte mit Newtons Gesetzen die gewürfelte Zahl vorhergesagt werden, jedoch selbst beim Wissen aller Anfangsbedingungen der Nachweisort des Elektrons nicht. In der klassischen Physik scheitert es an der subjektiven Unkenntnis der Anfangsbedingungen, wobei wir in der Quantenphysik auf eine prinzipielle Grenze stoßen. Jedoch kann sich auch in der Quantenphysik, im Bezug eines Versuchsausgangs, geholfen werden (vgl. Müller, 2005b, S. 17–20).

„Bei vielen Wiederholungen ergibt sich jedoch eine Verteilung, die – bis auf stochastische Schwankungen – reproduzierbar ist“ (vgl. Müller, 2005b, S. 18).

Werden keine Einzelergebnisse, sondern viele Wiederholungen des Experiments betrachtet, kann mithilfe der Verteilung Aussagen über eine Vorhersage getroffen werden. Diese Verteilung von Messwerten ist bei einer Serie gleicher Experimente, ident. In diesem Beispiel können somit Aussagen getroffen werden, wie *wahrscheinlich* die Elektronen in den verschiedenen Bereichen auftreffen werden (vgl. Müller, 2005b, S. 20–21).

- **Wesenszug 2: Fähigkeit zur Interferenz**

Im Wesenszug 2 wird auf ein bedeutsames Phänomen von Quantenobjekten eingegangen.

„Auch einzelne Quantenobjekte können zu einem Interferenzmuster beitragen. …“ (vgl. Müller, 2005b, S. 22).

Ausgang dieses Wesenszuges ist wieder das Doppelspaltexperiment. Wird das Experiment mit Elektronen durchgeführt, ergibt sich ein Streifenmuster auf dem Schirm. Dieses Streifenmuster kann als dasselbe Interferenzmuster gedeutet werden, welches bei klassischen Wellen, beim Doppelspaltexperiment, beobachtet wird. Dieser Ausgang zeigt sich ebenso, wenn die Elektronen einzeln angeordnet sind. Somit bekommen wir in diesem Wesenszug den „Wellen-Teilchen-Dualismus“, welcher besagt, dass sich Quantenobjekte manchmal sowohl wie Wellen, also auch wie Teilchen verhalten, der in den weiteren Wesenszügen ebenfalls enthalten ist.

Eine weitere Beobachtung bei diesem Experiment ist, dass sich dieses Interferenzmuster nur dann ergibt, wenn beide Spalte geöffnet sind. Wird einer der beiden Spalte geschlossen ist auf dem Schirm kein Interferenzmuster zu erkennen, welches im Wesenszug 2 ebenfalls diskutiert wird (vgl. Müller, 2005b, S. 21–25).

„… Voraussetzung ist, dass es für das Eintreten des gleichen Versuchsergebnisses mehr als eine klassisch denkbare Möglichkeit gibt" (vgl. Müller, 2005b, S. 22)

Eine wichtige Folgerung dieses Wesenszuges ist die fehlende Ortseigenschaft der Elektronen. Aufgrund der Beobachtung des Interferenzmusters beim Doppelspaltexperiment mit einzelnen Elektronen, kann nicht mehr vorhergesagt werden durch welchen der beiden Spalte das Elektron durchgekommen ist, da beide Wege möglich sind. Diese Erkenntnis zeigt ebenfalls einen Unterschied zwischen der Quantenphysik und der klassischen Physik (vgl. Müller, 2005b, S. 24).

- **Wesenszug 3: Eindeutige Messergebnisse**

Im dritten Wesenszug wird auf die Messergebnisse und die Einflüsse der Messung darauf, näher eingegangen. Dieser Wesenszug ist der Anschluss an die Folgerungen des zweiten Wesenszuges. Hier wird sich gefragt, wie ein Elektron keine Ortseigenschaft besitzen kann, obwohl dieser messbar ist. Auch bei diesem Wesenszug wird das Doppelspaltexperiment als Beispiel angeführt. Hinter dem Doppelspalt wird eine Lichtquelle platziert, welches beim Treffen mit einem Elektron von ihm gestreut wird. Das gestreute Licht wird gesehen, wenn es in ein Auge gelangt und der Ort des Elektrons wird damit bestimmt. Der Versuchsausgang zeigt, dass jedes Elektron hinter einen der Spalte zu finden ist, also der jeweilige Ort bestimmt wurde. Obwohl das Elektron vor der Ortsmessung keinem Ort zugeschrieben werden konnte, konnte ein eindeutiges Ergebnis gemessen werden. Hier wird ein weiterer Unterschied der Quantenphysik zur klassischen Physik sichtbar: In der klassischen Physik wird eine schon vorher feststehende Eigenschaft bestimmt und in der Quantenphysik wird das System „gezwungen" eine vorher unbestimmte Eigenschaft „festzulegen". Bei einem Quantenobjekt muss unterschieden werden, ob er eine Eigenschaft *besitzt* oder ob sie an ihm *gemessen* wird. Dies gilt somit auch umgekehrt, dass aus einer gemessenen Eigenschaft eines Quantenobjektes nicht geschlossen werden kann, dass es diese Eigenschaft auch besitzt (vgl. Müller, 2005b, S. 26–27).

„Messergebnisse sind stets eindeutig, auch wenn sich das Quantenobjekt vor der Messung in einem Zustand befindet, der unbestimmt bezüglich der gemessenen Größe ist" (vgl. Müller, 2005b, S. 27).

- **Wesenszug 4: Komplementarität**

Im vierten und letzten Wesenszug wird eine weitere Beobachtung, des Experimentes aus Wesenszug 3, diskutiert. Das Doppelspaltexperiment mit der Ortsmessung wird mit vielen Elektronen wiederholt. Durch diese Ortsmessung hat sich eine andere Verteilung am Schirm gezeigt. Statt des Interferenzmusters, welche ohne der Ortsmessung gezeigt hat, bildet sich eine strukturlose Verteilung, welche der Summe der beiden Einzelspalt-Verteilungen gleichkommt. Durch die Messung des Ortes wurde das Elektron gezwungen sich für einen Spalt zu entscheiden, wodurch kein Interferenzmuster entstehen konnte. Es entsteht, trotz mehrerer klassisch denkbaren Möglichkeiten, bei Quantenobjekten kein Interferenzmuster, wenn das Experiment eine Information enthält, welche eindeutig eines der klassisch denkbaren Möglichkeiten zugeordnet werden kann. (vgl. Müller, 2005b, S. 25–28)

„Interferenzmuster und Unterscheidbarkeit der klassisch denkbaren Möglichkeiten schließen sich aus“ (vgl. Müller, 2005b, S. 28).

2.3.3 Quantenphysik in der Sekundarstufe I – Analyse der Voraussetzungen

Egal ob Sekundarstufe I oder II, die Quantenphysik ist für die Schüler*innen eines der komplexesten Themen im Fachgebiet der Physik. Für Schüler*innen sind höchste kognitive Anstrengungen erforderlich, da die Quantenphysik von unserer Vorstellung des Alltags so stark abweicht. „Einfache“ Elementarisierungen der Quantenphysik sind in der Regel physikalisch der Wahrheit so weit entfernt, dass sie dafür nicht mehr geeignet sind. Möchte dies ermöglicht werden, führt der Weg über einen qualitativen Zugang. Genau hier greift das Unterrichtskonzept von Müller durch die qualitativ formulierten Anteile der Wesenszüge gestützt durch Simulationsprogramm und Gedankenexperimente (vgl. Müller, 2005b, S. 10–11).

Mit dem Konzept an sich, ist es für die Durchführung in der Sekundarstufe I noch nicht abgetan. Der Abschnitt Quantenphysik findet sich im österreichischen Lehrplan ab dem 6. Kompetenzmodul, also der 11. Jahrgangsstufe, wieder (vgl. Bundesministerum, 2021). Dieser späte Zeitpunkt ist nicht nur wegen der Komplexität des Themas gewählt, sondern auch aufgrund nötiger Voraussetzungen aus der klassischen Physik bzw. Mathematik. Ohne diese Voraussetzungen ist ein Verständnis der quantenmechanischen Phänomene schwer vorstellbar. Diese Voraussetzungen können aufgrund der unterschiedlichen Ansätze der Quantenphysik, wie oben beschrieben, variieren (vgl. Müller, 2005b, S. 40).

Folgende drei Themen sind laut Müller (2005, S. 40-42) bei jedem sinnvollen Zugang zur Quantenphysik notwendige Voraussetzungen:

- **Determinismus in der Mechanik**

Ein bedeutsamer Unterschied der klassischen Physik zur Quantenphysik ist das deterministische Verhalten in der klassischen Physik im Gegensatz zum stochastischen Verhalten in der Welt der Quanten. Damit den Schüler*innen der Unterschied gezeigt werden kann, muss die Vorstellung des Determinismus vorab vorhanden sein.

- **Begriff der Wahrscheinlichkeit**

Das stochastische Verhalten in der Quantenphysik bringt automatisch Wahrscheinlichkeitsaussagen mit sich. Im österreichischen Lehrplan ist aktuell, in der Sekundarstufe I, die Wahrscheinlichkeit nicht vorgesehen. Das Verständnis von Wahrscheinlichkeiten als relative Häufigkeiten ist aber eine notwendige Voraussetzung. Relative Häufigkeiten kommen jedoch in Mathematik in der 4. Klasse der Sekundarstufe I im Themengebiet der Statistik vor. Es ist nicht erforderlich, den Begriff der Wahrscheinlichkeitsdichte, für das Interpretieren von Ergebnissen, explizit zu thematisieren, jedoch sollte es in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen angewendet werden können.

- **Grundbegriffe der Wellenlehre**

Einige Ergebnisse quantenmechanischer Experimente, wie zum Beispiel der Doppelspaltversuch, lassen sich mit Hilfe von Begriffen aus der Wellenlehre erklären. Grundphänomene in der Quantenphysik sind zum Beispiel die Interferenz und die Beugung. Für das Verstehen dieser Phänomene ist das Grundverständnis einer Welle, samt Begrifflichkeiten, erforderlich.

2.4 Die Forschungsfragen

In diesem Unterpunkt werden die aus dem Literaturteil entstandenen Forschungsfragen beschrieben. Zusammenfassend kann aus dem bisherigen Kapitel 1 entnommen werden, dass die Themengebiete Determinismus, Wahrscheinlichkeit und Wellenlehre die nötigen Voraussetzungen für das Unterrichten der Quantenphysik, in der der Unterstufe, sind. Ziel der folgenden Arbeit ist nun diese erforderlichen Themengebiete altersgerecht aufzubereiten und im optimalen Fall eine fertige Unterrichtssequenz zu entwickeln. Resultierend aus diesen Zielen ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Sind die, aus den nötigen fachlichen Voraussetzungen, resultierenden Erklärungen altersgerecht und verständlich für die Unterstufe?

Für das Beantworten dieser Forschungsfrage werden die nötigen fachlichen Voraussetzungen didaktisch aufbereitet und daraus resultierend eine Intervention geplant. Diese wird an Schüler*innen mittels Akzeptanzbefragung erprobt, transkribiert und die Antworten analysiert sowie bewertet. Aus dieser Analyse kann eingeschätzt werden, ob die gegeben Erklärungen altersgerecht und verständlich für die Unterstufe sind.

- Beinhalten die, aus den nötigen fachlichen Voraussetzungen, resultierenden Erklärungen Lernhindernisse?

Bei dieser Forschungsfrage können die gleichen Transkripte, wie bei der vorigen Forschungsfrage beschrieben, verwendet werden, jedoch sollte hier bei der Analyse auf Unklarheiten, seitens der Schüler*innen, fokussiert werden. Bei unpassende oder unvollständige Antworten liegen bestimmte Lernhindernisse zugrunde, welche durch die Antworten analysiert werden können.

3 Methode der Akzeptanzbefragung

Nach der Planung der Intervention wird in diesem Kapitel die ausgeführte Methode, die Akzeptanzbefragung, dieser Intervention näher erläutert. Begonnen in Kapitel 3.1 mit den nötigen theoretischen Grundlagen zur Akzeptanzbefragung. Infolgedessen wird in Kapitel 3.2 die eigene Umsetzung dieser Methode gezeigt und mit der Sample-Beschreibung der Untersuchung im Kapitel 3.3 abgeschlossen.

3.1 Grundlagen zur Akzeptanzbefragung

In der didaktischen Lehr-Lernforschung gibt es unzählige Möglichkeiten, einen Sachverhalt zu untersuchen. Passend zur Fragestellung lassen sich geeignete Methoden finden. Optionen für umfassendes Material, im Bezug auf die Semantik, bilden die verschiedenen Formen der Einzelbefragungen (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996). Bei Interviews ist jedoch oft das Problem, dass die leitende Person, aufgrund deren Ausbildung, die Grenze zwischen Fragen und Lehren vergisst (vgl. Jung, 1991). Geeignete Fragenstellungen sind z.B. „Wie sollen Kinder lernen? Wie laufen Lernprozesse ab?“ oder allen Fragen über das Verstehen eines Lernprozesses. Gern verwendet in diesem Zusammenhang sind klinische Interviews. Besonders effektiv stellt sich diese Methode bei der Ermittlung von Vorstellungen, auf die Schüler*innen spontan zugreifen oder die sie aus vagen Anfangsvorstellungen heraus konstruieren, heraus. Die Festigung von Vorstellungen sind bei der Entwicklung von Lernkonzepten von großer Bedeutung. Dies kann vor allem aus den Reaktionen, beim Anbieten von Vorstellungsalternativen, erschlossen werden (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996). Ein Problem ist, dass die Schüler*innen leicht ihre Vorstellungen mit plausiblen Hinweisen wechseln, wenn ihre eigentlichen Vorstellungen unplausibel sind. So können im Unterricht, bei offenen Diskussionen, leicht unerwünschte Vorstellungen akzeptiert werden. Hier kann eine plausible, aber falsche Erklärung eines/einer anderen Schülers/Schülerin reichen. Die Reaktion auf Vorstellungs,- Erklärungs- und Demonstrationsvorschläge ist ein entscheidender Faktor für die Entwicklung eines optimalen Unterrichtskonzepts (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996).

Mit dem Fokus auf die oben erläuterten Grundlagen wurde eine Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen, die *Akzeptanzbefragung*, entwickelt. Den Schüler*innen wird eine physikalische Erklärung vorgeführt und anschließend wird versucht, durch verschiedene Wege herauszufinden, ob und wieso diese Erklärung akzep-

tiert bzw. abgelehnt wird (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996). Sie werden nicht, wie üblich, zu ihren Gedanken über ein bestimmtes Phänomen gefragt, sondern ihnen wird die Erklärung präsentiert und die Verständlichkeit über mehrere Phasen analysiert. Ein individueller Unterricht durch intensive Interaktion zwischen Schüler*in und Lehrkraft. Der sinnvolle zeitliche Rahmen einer Einheit beträgt eine Stunde (vgl. Jung, 1991). Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode ist die einfache Übertragbarkeit in den Unterricht. Außerdem lässt sich aus dem Material der Akzeptanzbefragung umfangreiche und facettenreiche Auswertungen ableiten. Durch den direkten Kontakt mit den Schüler*innen macht direktes Nachfragen möglich und kann tiefe Einblicke in die Lernprozesse liefern (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996).

Die Akzeptanzbefragung verläuft nach folgender Grundstruktur (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996, S. 256):

1. *Der/Die Interviewer*in gibt mündlich eine Erklärung mit Erläuterungen und Beispielen.*
2. *Der/Die Befragte wird aufgefordert, die Erklärung zu bewerten: ist sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.*
3. *Der/Die Befragte wird aufgefordert, die Erklärung in seinen eigenen Worten zu wiederholen, wobei besonders auf Auslassungen und Transformationen geachtet wird.*
4. *Der/Die Befragte wird aufgefordert, die Erklärung auf ein konkretes Beispiel anzuwenden.*
5. *Teilkomplexe werden detailliert bewertet, diskutiert, durch neue Informationen angereichert und erneut bewertet und diskutiert. Dies ist insbesondere erforderlich, wenn Lücken und Missverständnisse auftreten.*
6. *Abschließend wird der Befragte aufgefordert, die Erklärung auf ein neues konkretes Beispiel anzuwenden.*

Ein wesentlicher Nachteil dieser Methode ist die Bedeutung von „verstanden“. Wann können wir davon ausgehen, dass jemand eine Erklärung verstanden hat? Bei einer reinen korrekten Wiederholung der Erklärung, kann noch nicht davon ausgegangen werden, dass diese verstanden wurde. Deshalb hilft man sich mit der Anwendung auf ein neues konkretes Beispiel, womit schon eher gezeigt werden kann, dass die Erklärung verstanden wurde. Es wird bei dieser Methode deshalb bis zum Schluss ein Stück objektive Meinung mitschwingen (vgl. Jung, 1991).

3.2 Umsetzung der Methode

Wie aus der eben vorgestellte Grundstruktur (vgl. Kap. 3.1) entnommen werden kann, ist die Akzeptanzbefragung im Allgemeinen in sechs Unterpunkten unterteilt.
Bei genauerer Betrachtung ist zu erkennen, dass Punkt 5 und 6 eine wiederholte zusammenfassende Anwendung von Punkt 1 bis 4 ist. Es soll in verkürzter Form noch tiefer in das Verständnis der Schüler*innen eingetaucht werden, indem Lücken und Missverständnisse durch neue Informationen ausgebessert und anschließend wieder bewertet, wiederholt und an einem neuen konkreten Beispiel angewendet wird (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996).
Aufgrund der höheren Anzahl an Themen (vgl. Kap. 4.2) und Durchläufen wurde auf die Unterpunkte 5 und 6 bewusst verzichtet und sich mit den Erstinformationen, mittels Punkt 1 bis Punkt 4, begnügt. Die Intervention wurde als in die vier Teile, *Erklärung*, *Bewertung*, Wiederholung und *Anwendung* aufgebaut.
Es wurden drei volle Durchläufe, beinhaltend aller drei Themen, mit verschiedenen Schüler*innen geplant. Bei der Auswahl der Schüler*innen wurde, für eine breite Informationsdichte, auf unterschiedliches Geschlecht und Leistungsniveau geachtet. Es wurde eine Überarbeitung der Intervention nicht nur nach, sondern auch zwischen den einzelnen Interviews durchgeführt. Um eine nachhaltige Auswertung zu garantieren, wurden die Interviews aufgezeichnet. Aus technischen Gründen wurde auf Videoaufnahmen verzichtet und mit reiner Tonaufnahme gearbeitet. Diese Aufnahmen wurden anschließend transkribiert, welche in voller Länge im Anhang zu finden sind.

3.3 Sample-Beschreibung

Ziel war es drei Schüler*innen für die gesamte Intervention zu finden und Einzelinterviews durchzuführen. Die Schüler*innen und der/die Interviewer*in sollten sich, wenn möglich, nicht kennen, um eine gegenseitige Befangenheit zu minimieren. Sechs Schüler*innen aus einer 4. Klasse des BG/BRG Stockerau erklärten sich bereit, sich für die Akzeptanzbefragung Zeit zu nehmen, jedoch mit dem Wunsch diese zu zweit und nicht alleine durchzuführen. Die Auswirkungen und Veränderungen dieses Wunsches wurden im Vorfeld diskutiert. Die Bewertung der Erklärung kann nacheinander folgen, da es wenig zusätzliche Zeit in Anspruch nimmt. Bei der Wiederholung der Erklärung wurde jedoch, aufgrund der Zeit, entschieden, jeweils nur eine Schüler*in durchführen zu lassen. Bei der abschließenden Anwendung an ein konkretes Beispiel wurde ebenfalls, aufgrund der zusätzlichen Zeit,

entschieden, dass die Schüler*innen getrennt das gleiche Beispiel bekommen und einzeln bearbeiten sollen, jedoch wieder nur eine Schüler*in den Lösungsweg erklären soll. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass nicht immer die gleiche Person die Antworten gibt. Mit diesen Überlegungen kann die Akzeptanzbefragung auch sinnvoll mit zwei interviewten Personen gleichzeitig durchgeführt werden, wodurch der Wunsch der Schüler*innen nachgegangen werden konnte. Die Erziehungsberechtigten der Schüler*innen erklärten sich vorab schriftlich damit einverstanden, dass die Gespräche als Audioaufnahmen aufgezeichnet, im Anschluss transkribiert und die Daten im Rahmen dieser Masterarbeit verwendet werden dürfen. Die Schüler*innen wurden anonymisiert mit S1 bis S6 bezeichnet und in Teams unterteilt.

Nachfolgend eine kurze Beschreibung der einzelnen Schüler*innen. Bei allen Schüler*innen wurden die jeweiligen Lehrkräfte der naturwissenschaftlichen Fächern befragt:

Team A bestand aus einer Schülerin (S1) und einem Schüler (S2). Nach Auskunft der Lehrpersonen sind beide in den naturwissenschaftlichen Fächern im oberen Leistungsbereich und allgemein sehr motiviert.

Team B bestand aus zwei Schülerinnen (S3 und S4). Auch diese beiden Schülerinnen sind nach Angabe der Lehrpersonen allgemein sehr motiviert, zeigen jedoch durchschnittliche Leistungen in den naturwissenschaftlichen Fächern.

Team C bestand aus zwei Schüler (S5 und S6). Die Lehrkräfte bezeichnen sie, ebenso wie S1 und S2, als allgemein sehr motiviert mit starken Leistungen in den naturwissenschaftlichen Bereichen.

Aufgrund der Länge ist die Intervention in einzelnen Einheiten unterteilt worden. Für die vollständige Intervention wurden 4 Einheiten angesetzt. Pro Einheit war eine Unterrichtsstunde (50 min) angedacht, welche sich jedoch durch die Rahmenbedingungen auf effektiv 45 min, reduzierte. Es war kein fixer Raum zur Verfügung, somit musste zwischen verschiedenen Klassenräumen gewechselt werden, welche oft erst kurz nach dem Läuten frei wurden. Pro Tag wurde nicht mehr als eine Einheit pro Team durchgeführt. In dieser Zeit waren die Klassen, durch die Corona-Bestimmungen, in zwei Gruppen geteilt und jede Woche nur zwei Tage in der Schule. Aufgrund dieser Maßnahme waren bei der Findung von Terminen wenige Möglichkeiten und es mussten längere Abstände in Kauf genommen werden.

In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 1) wird übersichtlicher dargestellt, wann die Akzeptanzbefragungen stattfanden und wie weit die Teams in den jeweiligen Stunden gekommen sind:

Team	*Stunde*	*Datum*	*Themen*
A	1	17.3	Determinismus, Wahrscheinlichkeit (I)
A	2	18.3	Wahrscheinlichkeit (I+II+III)
A	3	22.3	Wellenlehre (I+II+III)
A	4	23.3	Wellenlehre (III+IV)
B	1	17.3	Determinismus, Wahrscheinlichkeit (I)
B	2	22.3	Wahrscheinlichkeit (II + III)
B	3	23.3	Wellenlehre (I+II+III)
B	4	15.4	Wellenlehre (III+IV)
C	1	21.4	Determinismus, Wahrscheinlichkeit (I)
C	2	22.4	Wahrscheinlichkeit (I+II)
C	3	26.4	Wahrscheinlichkeit (III), Wellenlehre (I)
C	4	27.4	Wellenlehre (II+III+IV)

Tabelle 1: Übersicht über Datum der einzelnen Einheiten und jeweiliger fachlicher Fortschritt der einzelnen Teams

4 Planung der Intervention

Dieser Abschnitt beginnt in Kapitel 4.1 mit der didaktischen Aufbereitung der Themen. Hierbei wird das Konzept der didaktischen Analyse erklärt und für die in dieser Arbeit vorkommenden Themen durchgeführt. Aus dieser didaktischen Grundlage gibt es eine detaillierte Ausarbeitung der einzelnen Kapitel, welche in Kapitel 4.2 erläutert wird. Abschließend wird in Kapitel 4.3 der erste Entwurf der Intervention vorgestellt.

4.1 Didaktische Analyse

Für die didaktische Aufbereitung eines Sachverhalts stellt man sich als erstes die Frage, welche unterrichtlichen Ziele mit der Behandlung der ausgewählten Inhalte verfolgt werden sollen. Dies soll mit der didaktischen Analyse, entwickelt von Klafki (vgl. Klafki, 1963) und für die Physikdidaktik von Kircher adaptiert (vgl. Kircher & Häußler, 2015), geschaffen werden.

Begonnen wird mit der Analyse des Sachinhalts hinsichtlich der gesellschaftlichen Relevanz und des Beitrags zur Erhaltung der Natur. Fortgesetzt wird mit dem Reflektieren des Themas bezüglich der Bedeutung für die Schüler*innen, insbesondere hinsichtlich ihrer Interessen (vgl. Kapitel 2.2) und hinsichtlich seiner Bedeutung für die Zukunft. Abschließend wird der Inhalt entsprechend der inneren Struktur der Physik als Wissenschaft aufgearbeitet (vgl. Kircher & Häußler, 2015).

Die Planungsschritte der didaktischen Analyse im Detail sind:

- Fachliche Schlüsselbegriff(e) der Unterrichtseinheit/-sequenz
- Was sollen Schüler/innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können?
- Warum sollen Schüler*innen das Lernen (innerfachlich / über den Unterricht hinaus)?
- Elementare Grundideen (Key Ideas)
- Sachstruktur & Unterrichtsideen
- Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen (vgl. Schecker et al., 2018).
- Welche Interessen könnten Schüler*innen zu diesem Thema haben?

4.1.1 Didaktische Analyse zum Determinismus

Fachliche Schlüsselbegriff(e) der Unterrichtseinheit/-sequenz: Anfangsbedingungen, physikalische Gesetzte, zukünftige Versuchsausgänge
Was sollen Schüler*innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können? Ich kann … … den Determinismus anhand eines alltäglichen Beispiels erklären.
Warum sollen Schüler*innen das Lernen (innerfachlich / über den Unterricht hinaus)? *Bedeutung* Ohne den deterministischen Ansatz wäre ein Vorausplanen in sämtlichen Bereichen des Alltags überflüssig. Von den Fahrplänen bei öffentlichen Verkehrsmitteln bis hin zum Perfektionieren einer Sportart. Ohne dem Determinismus würde alles dem Zufall überlassen sein. Der Determinismus grenzt die klassische Physik zur Quantenphysik ab. *Lehrplan: 7. Klasse* „Besonderheiten der Quantenwelt“ (vgl. Bundesministerum, 2021)
Elementare Grundideen (Key Ideas) Der Determinismus beschreibt die eindeutige Vorhersagbarkeit zukünftiger Ereignisse durch Bekanntheit der Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetzen.
Sachstruktur & Unterrichtsideen Anhand eines Beispiels (z.B. Bogenschießen oder Zugfahrt) wird untersucht, was die Anfangsbedingungen sind, welche Rolle die physikalischen Gesetze spielen und was man unter zukünftigen Versuchsausgänge versteht. Daraus wird eine Definition abgeleitet.
Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen? In der Quantenphysik ist, wie die Newtonsche Mechanik, deterministisch. Aktionen von Elektronen sind nicht komplett zufällig (vgl. Schecker et al., 2018).
Welche Interessen könnten Schüler*innen zu diesem Thema haben? Fortbewegungsmittel (Zug, Auto, Fahrrad, …), Sportarten (Bogenschießen, Billiard, Curling, …)

Tabelle 2: Didaktische Analyse zum Thema Determinismus

4.1.2 Didaktische Analyse zur Wahrscheinlichkeit

Fachliche Schlüsselbegriff(e) der Unterrichtseinheit/-sequenz:

relative Häufigkeit, wahrscheinlich, günstig, möglich, Möglichkeiten, stetig, diskret, Histogramm, Wahrscheinlichkeitsverteilung, objektiver Zufall, subjektiver Zufall

Was sollen Schüler*innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können?

Ich kann …

… relative Häufigkeiten berechnen und den Kontext bei einfachen Beispielen als Wahrscheinlichkeiten deuten.

… Wahrscheinlichkeitsverteilungen von disktreten und stetigen Zufallsvariablen bei einfachen Beispielen zeichnen.

… den Unterschied zwischen objektiven und subjektiven Zufall erklären und Beispiele dazu nennen.

Warum sollen Schüler*innen das Lernen (innerfachlich / über den Unterricht hinaus)?

Bedeutung

Die Wahrscheinlichkeit ist überall wo zufällige Ereignisse bzw. stochastische Prozesse auftreten. Sie liefert die mathematischen Grundlagen zur Beschreibung von Zufällen. Zufällige Ergebnisse treten z.B. in Bereichen der Glückspiele, Medizin und Radioaktivität auf.

Lehrplan: Stochastik

- „Kennen der Problematik des Wahrscheinlichkeitsbegriffs; Auffassen von Wahrscheinlichkeiten als relative Anteile, als relative Häufigkeiten und als subjektives Vertrauen. (6. Klasse)
- Kennen der Zusammenhänge von relativen Häufigkeitsverteilungen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen (7. Klasse)
- Arbeiten mit diskreten Verteilungen in anwendungsorientierten Bereichen (7. Klasse)“ (vgl. Bundesministerum, 2021)

Elementare Grundideen (Key Ideas)

- Die relative Häufigkeit ist die absolute Häufigkeit durch die Gesamtanzahl an Versuchen.
- Die Wahrscheinlichkeitsverteilung ist eine Funktion, die jedem Wert der Zufallsvariable X die Wahrscheinlichkeit für sein Eintreten zuordnet.

• Beim subjektiven Zufall könnte der Versuchsausgang im Voraus bestimmt/berechnet werden, wird jedoch nicht getan, wie zum Beispiel beim Würfeln. • Beim objektiven Zufall kann der Versuchsausgang im Voraus nicht bestimmt/berechnet werden, wie zum Beispiel beim Zerfall radioaktiver Atome.
Sachstruktur & Unterrichtsideen • Die Wahrscheinlichkeit über relative Häufigkeiten bei diskreten Zufallsvariablen einleiten. • Übergang zu stetigen Zufallsvariablen und dadurch zur Wahrscheinlichkeitsverteilung. • Abschluss mit Diskussion des subjektiven und objektiven Zufalls.
Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen? Es muss zum Beginn immer die gleiche Wahrscheinlichkeit sein (Würfel: 1 von 6, Lotto: 1 von 45). Je öfter sich ein Ereignis wiederholt umso unwahrscheinlicher wird eine weitere Wiederholung desselben Ereignisses (vgl. Schecker et al., 2018).
Welche Interessen könnten Schüler*innen zu diesem Thema haben? Versuchsausgänge bei Spielen (Würfel, Münze, Kugeln, Brettspiele…), Medizin (Wirkung von Impfungen und Medikamenten, Übertragungen von Krankheiten, …), Wetten, Häufigkeit von Naturphänomenen (Wetter, Blitz, …)

Tabelle 3: Didaktische Analyse zum Thema Wahrscheinlichkeit

4.1.3 Didaktische Analyse zur Wellenlehre

Fachliche Schlüsselbegriff(e) der Unterrichtseinheit/-sequenz:

Störung, Materietransport, Wasserwelle, Erdbebenwellen, Schallwelle, mechanische Wellen, elektromagnetische Wellen, Ausbreitungsrichtung, Wellenlänge, Wellengeschwindigkeit, Amplitude, Phase, Superpositionsprinzip, Interferenz, konstruktive Interferenz, destruktive Interferenz, Beugung

Warum sollen Schüler*innen das Lernen (innerfachlich / über den Unterricht hinaus)?

Bedeutung

Wellen treten im Alltag in verschiedenster Form auf: Schall,- Licht,- Elektromagentische,- Wasser,- Welle und viele mehr. Neben dem Verständnis der Entstehung gibt es auch Phänomene, welche uns täglich begleiten: z.B. Wieso können wir um die Ecke hören, aber nicht sehen?

Lehrplan: 5.+ 6. Klasse

„Anhand von Grundeigenschaften mechanischer Wellen Verständnis für Vorgänge, beispielsweise aus Akustik oder Seismik, entwickeln und als Mittel für Energie und Informationsübertragung verstehen“ (vgl. Bundesministerum, 2021).

Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen?

(vgl. Schecker et al., 2018)

- Wellen sind materielle Objekte, also verhalten sie sich auch nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten.
- Die Wellengeschwindigkeit kann durch die Anregung beeinflusst werden.
- „Schall kann drücken und gedrückt werden“.
- „Schallwellen bewegen Materie durch den Raum“.
- Superposition findet nur statt, wenn sich die Maxima der Wellenpulse überlagern.
- Bei der Superposition werden immer, unabhängig von der Position, die Maxima addiert.
- „Interferenz bedeutet Verstärkung“.
- „Das Hauptmaximum bei der Beugung am Einzelspalt ist das Bild der Lichtquelle“.

Welche Interessen könnten Schüler*innen zu diesem Thema haben?

Erdbebenwellen, Schallwellen des Donners, Wasserwellen, Hören, Sehen

Was sollen Schüler*innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können?

Ich kann …

… eine Welle als Störung physikalisch beschreiben und Beispiele dafür nennen.

… die Amplitude und die Wellenlänge in einer Skizze einzeichnen und ihre Bedeutung anhand eines Beispiels erläutern.

… erklären, dass die Interfenz eine Überlagerung von Wellen ist und, diese sich ungestört überlagern können und die Amplituden addiert werden.

… erklären, dass bei konstruktiver Interferenz die Amplituden verstärkt und bei destruktiver Interferenz die Amplituden ausgelöscht werden und es dazwischen alle möglichen Fälle gibt.

… erklären, dass bei der Beugung ein Teil einer Welle an einem Hindernis die Richtung ändert und dieses von der Wellenlänge und der Größe und Art des Hindernisses abhängig ist.

… beschreiben, dass bei jeglicher Art von physikalischen Wellen Beugung gezeigt werden kann.

Elementare Grundideen (Key Ideas)

- Eine Welle ist die Ausbreitung einer Störung und somit von Energie ohne Materietransport.
- Die Amplitude einer Welle ist die maximale Auslenkung des Mediums.
- Die Wellenlänge einer Welle ist der Abstand zwei aufeinanderfolgenden Punkten gleicher Phase.
- Bei der Überlagerung von Wellen, überlagern sich diese ungestört und ihre Amplituden werden addiert. Dieser Vorgang wird als Interferenz bezeichnet.
- Konstruktive und destruktive Interferenzen sind Extremfälle. Bei konstruktiver Interferenz verstärken sich die Amplituden und bei destruktiver Interferenz werden sie ausgelöscht. Dazwischen gibt es alle möglichen Fälle.
- Bei der Beugung ändert ein Teil einer Welle an einem Hindernis die Richtung. Dies ist abhängig von der Wellenlänge und der Größe und Art des Hindernisses.
- Jede Art von physikalischen Wellen kann Beugung zeigen.

Sachstruktur & Unterrichtsideen

- Grundbegriffe einer Welle: Störung, Energietransport, Ende der Welle, Materietransport

- Unterscheidungen von Wellen: Wellenlänge, Amplitude
- Interferenz
- Beugung

Tabelle 4: Didaktische Analyse zum Thema Wellenlehre

4.2 Detaillierte Beschreibung und Begründung

In diesem Abschnitt werden einige Überlegungen zur Planung zusammengefasst. Wie in den didaktischen Analysen (vgl. Kap. 4.1) ersichtlich, wurden die drei Themenbereiche Determinismus, Wahrscheinlichkeit und Wellenlehre ausgewählt. Diese drei Themen sind, wie in den Theoretischen Grundlagen (vgl. Kap. 2.3) beschrieben, die wichtigsten Voraussetzungen für ein sinnvolles Verstehen der Phänomene der Quantenphysik. Für alle Bereiche wurden zwei Teile geplant: Eine Erklärung, die als fachlicher Input gilt und eine konkrete Anwendung, um zu überprüfen, ob es verstanden wurde.

4.2.1 Beschreibung zum Thema Determinismus

Der Determinismus ist einer der wichtigsten Kontraste zwischen der klassischen Physik und der Quantenphysik, womit das Phänomen eine unverzichtbare Voraussetzung wird. Die Bedeutung des stochastischen Verhaltens kann erst verstanden werden, wenn die deterministische Ansicht verinnerlicht ist (vgl. Kap. 2.3).

Das deterministische Verhalten wird anhand von Beispielen aus der klassischen Physik, im Interessensbereich der Schüler*innen, nähergebracht und definiert. Um das Interesse zu stärken, wird mit einem kurzen Videoausschnitt von Profibogenschützinnen in das Thema eingetaucht und der Ausblick auf das Ziel gewährt. Nach einer kurzen Definition des Determinismus wird diese anhand eines Alltagsbeispiels, die Ankunftszeit einer bestimmten Zugfahrt, nähergebracht. Dieses Beispiel ist bei dieser Erklärung das Kernstück. Beim Anwendungsbeispiel wird wieder auf das Bogenschießen vom Beginn eingegangen. Damit der rote Faden von Beginn bis Ende geschlossen wird, sollen die Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze beim Bogenschießen erläutert werden. An das stochastische Verhalten in der Quantenphysik wird an dieser Stelle noch nicht angeknüpft, sondern erst am Ende des Abschnittes zu der Wahrscheinlichkeit, beim objektiven Zufall.

4.2.2 Beschreibung zum Thema Wahrscheinlichkeit

Für den stochastischen Charakter, eine wesentliche Säule in der Quantenphysik, ist es wichtig die Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu beherrschen. Es genügt jedoch das Verständnis der Wahrscheinlichkeiten als relative Häufigkeiten (vgl. Kap. 2.3). Hier wird zunächst in der Wahrscheinlichkeitsrechnung in *disktrete* und *stetige Zufallsvariable* unterteilt. Vor allem Wahrscheinlichkeiten mit *stetigen Zufallsvariablen* spielen in der Welt der Quantenphysik eine bedeutsame Rolle, da sie bei sämtlichen Experimenten mit dem Doppelspalt vorkommen (vgl. Müller, 2005b, S. 41). Um ein gutes Verständnis dafür aufzubauen, wird deshalb mit Wahrscheinlichkeiten von *diskreten Zufallsvariablen* begonnen. Auf die Begriffe *diskret*, *stetig*, sowie *Zufallsvariable* wird nicht im Detail eingegangen. Diese Begriffe sind für das Grundverständnis der Quantenwelt nicht erforderlich, sondern es reicht ein qualitatives Verständnis (vgl. Kap. 2.3).

Eingeleitet soll dieses Thema mit der Frage werden, welche Zahl beim Würfeln am schwierigsten zu werfen ist. Dies wird zuerst von den Schüler*innen selbst probiert und anschließend das Ergebnis eines vorgefertigtes Video mit einer hohen Anzahl an Würfen gezeigt und diskutiert. Wiederholt wird das Ganze mit der Frage, von welchem Behälter die andersfärbige Kugel wahrscheinlicher zu ziehen ist, wenn zwei Behältern mit 5 bzw. 2 Kugeln, mit jeweils einer andersfärbigen Kugel davon, vorhanden sind. Dies wird wiederum an einem vorgefertigten Video analysiert und beantwortet. Anschließend wird die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten mit diskreten Zufallsvariablen hergeleitet und physikalisch gedeutet. Für die Anwendung wird als Aufgabenstellung die Berechnung und Interpretation der Wahrscheinlichkeiten, anhand von einigen Uno-Karten, genommen.

Im zweiten Teil der Wahrscheinlichkeit wird erneut das Bogenschießen aufgegriffen und hierbei die Berechnung der Wahrscheinlichkeit mit stetigen Zufallsvariablen erläutert. Für eine visuelle Unterstützung wird eine Tabelle mit konkreten Zahlen bereitgestellt.

Aufgrund besserer Veranschaulichung wird in der Quantenphysik das Ergebnis oft als Verteilungsfunktion in Form eines Histogramms dargestellt (vgl. Müller, 2005b, S. 41). Mit Hilfe einer Skizze der fertigen Verteilung wird der Vorgang des Erstellens nähergebracht. Als abschließende Anwendung wird eine Skizze eines Kanaldeckels, mit unterschiedlich großen Öffnungen, gegeben und gefragt, wie wahrscheinlich es ist in die verschiedenen Öffnungen zu treffen bzw. wie die dazugehörige Verteilungsfunktion aussehen kann.

Im Abschließenden letzten Teil der Wahrscheinlichkeit wird der Zufall thematisiert. Nach der Berechnung von Wahrscheinlichkeiten, soll über die Rolle des Zufalls gesprochen

werden. Hier wird, wie oben beschrieben, der Gegenspieler zum Determinismus gefunden. Diese Erkenntnis ist wichtig für den Einstieg in die Welt der Quantenphysik. Dafür muss zunächst der subjektive Zufall erläutert werden. Nach der Frage, was ist Zufall, wird auf den subjektiven Zufall mit Verwendung von Alltagsbeispielen, für das Fördern von deren Interessen, eingegangen. Nach dieser Erklärung drängt sich schnell die Frage nach dem objektiven Zufall auf, der wiederum über einen Kontext aus dem Alltag besprochen wird. Anwendungsbeispiel hierfür ist die Frage nach dem Unterschied des Münzwurfes und der Evolution der Lebewesen, bezüglich des Zufalls.

4.2.3 Beschreibung zur Wellenlehre

Für ein Verständnis einiger quantenmechanischer Experimente, wie dem Doppelspalt, und Erkenntnisse, wie der „Welle-Teilchen-Dualismus“, sind Grundlagen und Grundbegriffe der Welle erforderlich (vgl. Müller, 2005b, S. 42).

Deshalb beginnt der Themenbereich der Wellenlehre mit den Eigenschaften einer Welle. Mit Hilfe eines Videos einer Laola-Welle wird der Beginn, das Ende, der Energietransport und der fehlende Materietransport thematisiert und diskutiert. Für ein besseres Verständnis werden diese Begriffe zusätzlich anhand der Wasserwelle erklärt. Für eine gute Verknüpfung kann jede Person der Laola-Welle, mit einem einzelnen Wassertropfen der Wasserwelle, verglichen werden. Es sei an dieser Stelle zu erwähnen, dass Wasserwellen komplizierte Phänomene sind, deren Bestandteile („Wassertröpfchen“) keine harmonischen Oszillatoren sind. Insofern ist eine Wasserwelle nicht bis ins Detail mit der Laola-Welle vergleichbar. Dennoch wurde diese Anschauung hier gewählt, da Wasserwellen der Alltagserfahrung von Schüler*innen entsprechen und auch leicht herzustellen und zu beobachten sind. Beim Anwendungsbeispiel wird in einem Video eine Wasserwelle gezeigt, anhand derer die Schüler*innen die oben genannten Eigenschaften zeigen und erklären sollen.

Nach den Eigenschaften der Welle, wird die Unterscheidung von Wellen nähergebracht. Anhand einer Skizze zweier Wellen, mit unterschiedlicher Amplitude und Wellenlänge, werden diese beiden Merkmale erläutert. Das Anwendungsbeispiel sind hier einige Bilder verschiedener Arten von Wellen. Die Schüler*innen sollen Amplitude und Wellenlänge einzeichnen. Es wird absichtlich ein Bild einer Welle gewählt, wo keine Wellenlänge eingezeichnet werden kann, um das Detailverständnis zu überprüfen.

Neben den eben angesprochenen Grundlagen der Welle gibt es in der Wellenlehre einige Begrifflichkeiten wie longitudinal,- transversal,- Welle, stehende Welle sowie Interferenz und Beugung. Für einen qualitative Ausrichtung der Quantenphysik reicht es jedoch, die beiden wichtigen Phänomene Interferenz und Beugung näher anzusprechen. Insbesondere wird der Unterschied zwischen longitudinalen und transversalen Wellen nicht thematisiert. Die beiden Phänomene Interferenz und Beugung sind nötig, um grundlegende Versuchsausgänge in der Quantenphysik beschreiben zu können. Benötigt werden sie zum Beispiel bei Experimenten mit dem Doppelspalt (vgl. Müller, 2005b, S. 42).
Die Interferenz wird mit Hilfe von Videos erläutert. Begonnen mit dem ungestörten Durchlaufen der Wellen, bis hin zur konstruktiven und destruktiven Interferenz. Die Interferenz wird anhand mechanischer Wellen gezeigt, um die Amplitudenveränderung bei der Überlagerung deutlich zu erkennen. Das Anwendungsbeispiel ist die Erklärung der Funktionsweise von Noise-Canceling-Kopfhörer.
Die Beugung wird als letztes Phänomen der Wellenlehre erarbeitet. Hierbei wird sich mit einer Simulation (vgl. Falstad, 2014) geholfen. Zuerst werden Beobachtungen bei einem Spalt durchgeführt, die Veränderungen und die Bedingungen dafür diskutiert. Anschließend wird der gleiche Vorgang mit einem einseitigen Hindernis wiederholt und die Beugung diskutiert. Anwendungsbeispiel ist die Frage, wieso wir um die Ecke hören, aber nicht sehen können.
Für die interviewten Schüler*innen, wurde ein Arbeitsblatt erstellt. Darauf sind alle Überschriften und dazugehörige Skizzen für eine bessere Veranschaulichung.

4.3 Erstfassung der Intervention

In diesem Unterkapitel wird die Erstfassung der Intervention dargestellt. Dem Anhang kann die überarbeitete Version entnommen werden. Sie ist gegliedert nach dem Vorgehen bei der Akzeptanzbefragung. Hierbei wird mit einem theoretischen Input begonnen. Anschließend soll diese Erklärung von den Schüler*innen bewertet und darauf mit eigenen Worten wiederholt werden. Abgeschlossen wird es mit einem konkreten Beispiel, welches von den Schüler*innen erarbeitet werden soll. In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 5) wird die thematische Reihenfolge der Intervention, als Überblick, dargestellt.

Thema	Unterteilung
Determinismus	
Wahrscheinlichkeit	mit diskreter Zufallsvariable
	mit stetiger Zufallsvariable
	Zufall
Wellenlehre	Eigenschaften
	Unterscheidungen
	Interferenz
	Beugung

Tabelle 5: Überblick der thematischen Reihenfolge der Intervention

Nachfolgend die Erstfassung der Intervention:

I) Determinismus

Erklärung

„Wir sehen uns zu Beginn kurz ein Video (vgl. Olympics, 2017) vom Finale der Frauen im Bogenschießen 2016 in Rio (03:00-04:30) an. Es ist doch erstaunlich, wie gut die Schützinnen bei so gut wie jedem Schuss treffen. Manche sprechen hier vielleicht von Glück, aber mit ein wenig Physik lässt sich das folgendermaßen erklären. Sobald wir bestimmte *Anfangsbedingungen* und alle *wirkenden Kräfte* kennen, können wir *zukünftige Ausgänge* vorherbestimmen, genauer gesagt berechnen.

Ich möchte es dir an einem konkreten Beispiel, einer Zugfahrt, zeigen. Morgen um 12:30 Uhr soll der „Railjet“ vom Wien Hauptbahnhof mit einem Zwischenstopp in Wien Meidling nach St. Pölten fahren.

Die Anfangsbedingungen hier sind folgende:

Strecke HBF-Meidling: 3 km Strecke mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 35 km/h. Die Aufenthaltsdauer beträgt 2 min.

Strecke Meidling-St. Pölten: 55,6 km Strecke mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 145 km/h

Nun können wir uns überlegen, welche(s) physikalischen Gesetz(e) wirken, bzw. bei dieser Rechnung relevant sind:

Da der Beschleunigungsvorgang beim Start bzw. Ziel so gering, im Vergleich zur restlichen Fahrzeit, ist reicht das Bewegungsgesetz für gleichförmige Bewegung:

$t = \frac{s}{v}$

Für den Versuchsausgang setzen wir nun die Anfangsbedingungen in die Gleichung ein und bekommen 5 min 10 s nach Meidling, 2 Minuten Aufenthalt und 23 min nach St. Pölten heraus. Somit braucht der Railjet von Wien HBF 30 min und 10 s nach St. Pölten.

Natürlich können unvorhersehbare Ereignisse, wie ein Autounfall auf dem Gleis, passieren welche die Dauer verändert, aber ohne Zwischenfall stimmen die Ankunftszeiten im Sekundenbereich genau. Das nennen wir Determinismus (=Bestimmtheit)“.

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

Arbeitsblatt „Determinismus“ (S. 37) durchführen lassen:

Ist es möglich, immer zu treffen?

Aufgabe 1:

Denk nochmal an das Beispiel der Profibogenschützinnen.

Überlege dir, wie sie den Pfeil abschießen müssen damit er sicher in die 10 geht, wenn sie in einer Halle trainieren, also ohne Berücksichtigung des Windes?

Geschwindigkeit und Abschusswinkel

Abbildung 1: Bild vom Bogenschießen (vgl. butsaya, 2021)

Aufgabe 2:

Nun beobachten wir den Vorgang aus der Ferne (siehe Abbildung 1). Überlege dir welche Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze für die oben genannten Abschusskriterien (für alle möglichen Situationen) für den Versuchsausgang nötig sind damit immer in die 10 getroffen wird?

Distanz, Höhe des Ziels, Masse/Form des Pfeils, Anfangsgeschwindigkeit, Gewichtskraft, Trägheitskraft, Wind

Versuche einen Merksatz zu formulieren!

Merke:

Wenn die Anfangsbedingungen eines Körpers (Ort und Geschwindigkeit) zu einem anfänglichen Zeitpunkt genau genug bekannt sind und man alle wirkenden Kräfte kennt, kann man die Bahn des Körpers, also den Versuchsausgang mit den Gesetzen der klassischen Physik, im Prinzip für alle Zeiten vorausberechnen. Diese Auffassung wird Determinismus genannt.

II) Wahrscheinlichkeit

Erklärung Teil I (mit diskreter Zufallsvariable)

„Beim Würfeln, was glaubst du, welche Zahl ist am „schwersten“ zu würfeln? Schauen wir es uns an, nimm den Würfel, würfle bis ich unterbreche und sag mir jedes Mal was du gewürfelt hast, ich schreibe mit. [In einer vorbereiteten Excel-Datei wird jede gewürfelte Zahl dokumentiert. Die Anzahl der Würfe, jeder Zahl, ist durch eine automatische Zählfunktion in absoluter und prozentueller Form dargestellt. …] Wir könnten das natürlich länger fortführen, aber aus zeitlichen Gründen reicht das. Hier siehst du die Auswertung deiner Würfe, sie sind doch noch unterschiedlich. Ich habe den Versuch vorher auch durchgeführt (und mir mehr Zeit genommen) und nach 232 Würfen siehst du folgenden Ausgang. Wir sehen, dass alle Zahlen ungefähr gleich oft gewürfelt wurden, also mathematisch ausgedrückt erwarten wir als Anzahl der Würfe jeder Zahl, 1/6 von der Gesamtzahl an Würfen. Je länger wir das Experiment durchführen würden umso genauer wird der Ausgang. Auf die Frage zu Beginn zurück, jede Zahl ist also gleich „schwer“ also gleich (un)wahrscheinlich zu würfeln.

Ein weiteres Experiment: Ein Behälter enthält 5 Kugeln, wobei eine davon andersfärbig ist und ein weiterer Behälter enthält 2 Kugeln wobei wieder eine davon andersfärbig ist. Das Ziel ist, ohne hinzusehen die andersfärbige Kugel zu erwischen und die Frage dazu „Ist es bei einem Behälter wahrscheinlicher/unwahrscheinlicher die andersfärbige Kugel zu erwischen?“ Ich habe dieses Experiment schon durchgeführt und gefilmt, welches wir uns anschauen werden […]. Versuche nun, für beide Behälter die Anzahl der gezogenen andersfärbigen *Kugel in einem Verhältnis zu der Anzahl an Gesamtzügen* auszudrücken, wie beim vorigen Beispiel mit dem Würfel. […] Bei den Brüchen aus beiden Experimenten erkennst du vielleicht schon einen Zusammenhang. Nach genügend Durchgängen bekommen wir immer die Anzahl der gewünschten Möglichkeiten durch die Anzahl aller Möglichkeiten. Man spricht hier oft kurz, dass sich die Wahrscheinlichkeit aus den *Günstigen (gewünschten Möglichkeiten) durch die Möglichen (alle Möglichkeiten)* ergibt. Wenn wir diese Brüche als relative Häufigkeiten betrachten haben wir also laut dem Ausgang eine 20 bzw. 50% Chance die Kugel zu erwischen. Anders ausgedrückt die *Wahrscheinlichkeit*, dass wir die andersfärbige Kugel ziehen, liegt bei 20 bzw. 50%. Die Wahrscheinlichkeit ist also eine Vorhersage bzw. Schätzung, die auf der Erfahrung in der Vergangenheit beruht. Also wir versuchen mit einer kleinen Strichprobe (also der Vergangenheit) die Ergebnisse in der Gesamtheit (also der Zukunft) „vorherzusagen“.

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Hier siehst du ein Bild (Abbildung 2) von einigen Uno Karten.

Wie wahrscheinlich ist es von diesen Karten eine blaue Karte, Richtungswechsel, blaue Richtungswechsel, +4 zu ziehen?“

Abbildung 2: Auflistung von Uno Karten (vgl. Lehmann, 2007)

Erklärung Teil II (mit stetiger Zufallsvariable)

„Gehen wir zur Bogenschützin und dem Schießen auf eine Zielscheibe zurück. Hier haben wir leider ein Problem, die Wahrscheinlichkeit zu berechnen da wir nicht wie beim Würfeln 6 Möglichkeiten haben (1 bis 6, also eine endliche Anzahl) sondern so extrem viele, dass es schwierig zum Zählen wird, da sie ja auf jeden einzelnen noch so kleinen Punkt auf der Zielscheibe treffen könnte. Hier hilft man sich, indem die Möglichkeiten in Bereiche unterteilt werden. Am Beispiel der Zielscheibe nehmen wir die vorhandenen Ringe zum Unterteilen. Bei den endlichen Möglichkeiten haben wir die Anzahl miteinander in Verhältnis gesetzt, hier können wir die Größe der Fläche in Verhältnis setzen. Möchten wir also die Wahrscheinlichkeit zu treffen für den innersten Kreis berechnen, müssen wir die Fläche des inneren Kreises durch die Gesamtfläche rechnen. Je kleiner die Fläche desto kleiner die Wahrscheinlichkeit zum Treffen. Ist auch nahelegend, da kleinere Flächen schwerer zu treffen sind als größere. Die Größe der Fläche sagt also die Wahrscheinlichkeit voraus. In der Tabelle (Tabelle 6) siehst du die Größen der Flächen von der Zielscheibe und die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten. […]

Die Verteilung dieser Flächen und ihre Wahrscheinlichkeiten können wir in einem Histogramm darstellen. Wir benötigen dazu einen Ursprung, davon bewegen wir uns immer weiter weg und benötigen die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten. Diese Daten können wir in ein Diagramm übertragen, die Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Entfernung zum gewählten Ursprung. Das würde so bei der Zielscheibe aussehen (Abbildung 3). […]

Diese Verteilung wird auch Verteilungsfunktion genannt, also die Wahrscheinlichkeit für bestimmte Bereiche.

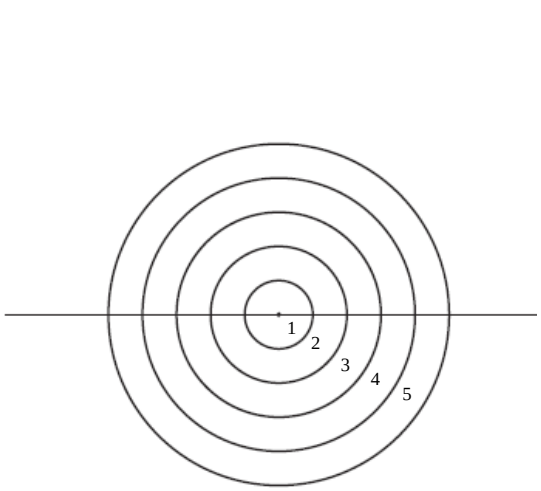

Abbildung 4: Skizze einer Zielscheibe (eigene Darstellung)

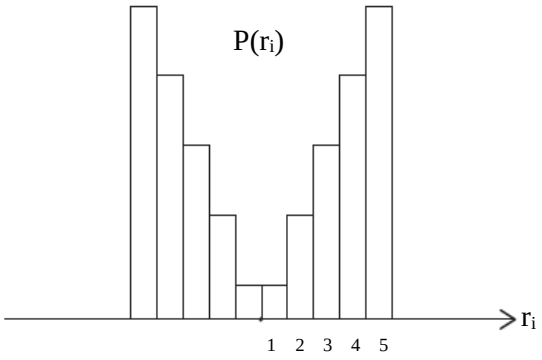

Abbildung 3: Dazugehörige Verteilungsfunktion (Zielscheibe), waagrechte Achse: Radien, senkrechte Achse: dazugehörige Wahrscheinlichkeiten (eigene Darstellung)

Nummer	Radius r_i in cm	Fläche A_i in cm^2	Wahrscheinlichkeit $P(r_i)$
Gesamt	125	$r_5{}^2 \cdot \pi = 15625 \cdot \pi$	$\frac{15625 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 1 \triangleq 100\%$
1	25	$r_1{}^2 \cdot \pi = 625 \cdot \pi$	$\frac{625 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}04 \triangleq 4\%$
2	50	$(r_2{}^2 - r_1{}^2) \cdot \pi = 1875 \cdot \pi$	$\frac{1875 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}12 \triangleq 12\%$
3	75	$(r_3{}^2 - r_2{}^2) \cdot \pi = 3125 \cdot \pi$	$\frac{3125 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}2 \triangleq 20\%$
4	100	$(r_4{}^2 - r_3{}^2) \cdot \pi = 4375 \cdot \pi$	$\frac{4375 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}28 \triangleq 28\%$
5	125	$(r_5{}^2 - r_4{}^2) \cdot \pi = 5625 \cdot \pi$	$\frac{5625 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}36 \triangleq 36\%$

Tabelle 6: Übersicht von den Flächen der Zielscheibe mit dazugehörigem Flächeninhalt und Wahrscheinlichkeit

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Hier (Abbildung 6) siehst du eine Zeichnung und (Abbildung 5) ein Bild eines Kanaldeckels. Du möchtest deinen Kaugummi in den Kanal werfen und bevor du schießt wäre es interessant wie wahrscheinlich es ist, dass du in die verschiedenen Löcher triffst. Versuche zu beschreiben wie es zu berechnen geht! […]

Wie würde die dazugehörige Verteilung aussehen?“

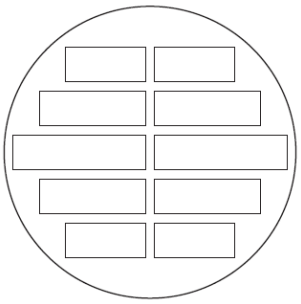

Abbildung 6: Skizze eines Kanaldeckels mit Gitter (eigene Darstellung)

Abbildung 5: Bild eines Kanaldeckels mit Gitter (vgl. Zmelty, 2016)

Erklärung Teil III (Zufall)

„Was bedeutet für dich Zufall? […] Die Physik und vor allem die Quantenphysik definiert Zufall anders, nicht nur durch den Mangel an Informationen. Er wird in den sogenannten subjektiven und objektiven Zufall unterschieden.

1) subjektive Zufall

Der subjektive Zufall ist zum Beispiel das Würfeln, das wir schon besprochen haben. Wir können uns den wahrscheinlichen Ausgang berechnen, aber letztendlich wissen wir nicht welche Zahl gewürfelt wird. Hier möchte ich auf den Determinismus von ganz zu Beginn zurückgreifen. Kennen wir alle Anfangsbedingungen und wirkenden Kräfte könnten wir den Ausgang vorhersagen. Gleiches gilt für den Würfel: Abwurfwinkel, -geschwindigkeit, Masse, Oberfläche wo er aufkommt, … wüssten wir alle diese Bedingungen wäre es kein Zufall mehr, sondern wir könnten den Wurf „steuern“. In der Praxis gelingt eine solche Vorhersage jedoch nicht wirklich, da wir im Allgemeinen nicht alle für das Experiment beeinflussenden Parameter genau genug kennen. Man spricht hier von einem subjektiven Zufall, da es nur subjektiv unbekannt ist, was genau abläuft. Objektiv gesehen gibt es jedoch für das Ergebnis eines jeden Wurfes einen Grund, auch wenn wir diesen nicht kennen bzw. erkennen.

2) Der objektive Zufall

Beim objektiven Zufall ist das noch ein bisschen anders. Hier können wir das Ergebnis eines Experiments, selbst bei Kenntnis aller Bedingungen, im Allgemeinen nicht exakt

vorhersagen. Ein gutes Beispiel für echten Zufall in der Physik ist der radioaktive Zerfall. Stellen wir uns etwa ein einziges radioaktives Atom vor. Von diesem Atom wissen wir, dass es irgendwann „zerfallen/zerplatzen“ wird, und wir können die Wahrscheinlichkeit angeben, mit der es beispielsweise innerhalb der nächsten zehn Minuten zerfällt. Der konkrete Zerfall wird jedoch zu einem bestimmten Zeitpunkt auftreten, und wir haben keinerlei Möglichkeit, diesen Zeitpunkt vorauszusagen. Die Quantenphysik sagt, dass es für den Zeitpunkt des einzelnen Zerfalls keinerlei Grund gibt, nicht einmal einen verborgenen. Der Zufall tritt aber nicht deshalb auf, weil noch Eigenschaften des Kerns unbekannt wären, sondern weil kein objektiver Grund vorhanden ist, der zum Zufall führt. Also keine Ursachen existieren. Dieser Zufall ist eine grundlegende Natureigenschaft. Die Natur lässt sich nicht in die Karten schauen.“

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Beschreibe die Unterschiede folgender beiden Beispiele von Zufällen: Der Münzwurf und die Evolution der Lebewesen.“

III) Wellenlehre

Erklärung Teil I (Eigenschaften)

„Kennst du die Laola-Welle? Weißt du, warum sie Welle genannt wird? Mit diesem Video (vgl. Daniel B., 2012) kann ich dir zeigen, warum sie als Welle bezeichnet werden kann, was also eine Welle ausmacht. Für den Vergleich zur Wasserwelle kannst du dir vorstellen, dass jede Person ein Wassertropfen darstellt. Wenn alle sitzen, haben wir eine ruhige Oberfläche.

1) Die Störung

Plötzlich verspüren einige den drang die Welle zu „starten“ und stehen auf. Die Personen machen es natürlich, weil sie es wollen, im Wasser kannst du dir das so vorstellen, dass

z.B. ein Stein ins Wasser fällt. Damit die Welle erstmal entstehen kann muss also „irgendetwas“ passieren, was die Oberfläche aus der „Ruhe“ bringt. Dies wird als *Störung* bezeichnet. Störungen sind z.B. das Auslenken eines Pendels oder das ruckartige Verschieben von Kontinentalplatten (wodurch eine Erdbebenwelle entsteht).

2) Der Energietransport

Nun, nach der Entstehung der Störung ist es bei einer Welle aber auch noch wichtig, dass sie sich weiter ausbreitet. Die Störung wird immer etwas zeitversetzt an das nächste Teilchen weitergegeben, wodurch sie sich weiter fortsetzen kann. Eine Person beginnt aufzustehen und wir haben dadurch eine potentielle Energie. Diese kann man sich wie einen Schwung vorstellen, der weitergegeben werden kann. Die Energie (der Bewegung) wird an die nebensitzende Person „übertragen“ damit auch diese aufstehen und selbst wieder hinsetzen kann.

3) Ende der Störung

Nur wann endet die Welle? Im Fall der Laola-Welle geht es durch das ganze Stadion im Kreis, bis es den Leuten zu langweilig wird und damit aufhören. Damit ist die Störung versandet und somit die Laola-Welle vorbei. Im Wasser kann sich die Störung auch weiter ausbreiten, bis sie z.B. an den Wasserrand stößt und die Energie nicht weiter übertragen werden kann. Damit ist auch hier die Störung versandet und die Wasserwelle nicht mehr vorhanden.

4) Kein Materietransport

Ein Detail vom Video hat noch die letzte wichtige Eigenschaft sehr schön gezeigt (00:20-00:30). Wenn du auf eine einzelne Person siehst, wirst du erkennen, dass jede Person vorher bzw. nachher genau am selben Platz sitzt, somit sich nur nach oben und anschließend unten bewegt hat. Bei der Wasserwelle bedeutet das, dass sich jeder Wassertropfen nur nach oben/unten bewegt und somit sich vorher auf der gleichen Position wie vorher befindet. Es wird also zwar Energie transportiert aber keine *Materie*.

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

Nun zeig ich dir ein Video (vgl. IQuma, 2020). Beschreibe und zeige an diesem Video die vorher besprochenen Punkte: Störung, Energietransport, Ende und Materietransport“

Erklärung Teil II (Unterscheidungen)

„Natürlich sind nicht alle Wellen gleich, aber irgendwie müssen wir sie ja unterscheiden. Hier siehst du eine Skizze von zwei verschiedenen Wellen (z.B. könnten Wasserwellen sein) (Abbildung 7) und an diesen zeige ich dir zwei wichtige Begriffe mit der du Wellen unterscheiden kannst. Verschiedene Wellen haben sehr viele Gemeinsamkeiten, aber auf dem Bild sieht man sehr gut die unterschiedliche Höhe der Wellen. Dies wird als Amplitude bezeichnet. Sie ist die maximale Auslenkung aus der Ruhelage, also der Abstand zum höchsten (Wellenberg) bzw. tiefsten Punkt (Wellental). [Die Lehrkraft zeichnet die Amplitude bei beiden Wellen ein.] Ist diese Auslenkung nach oben hat die Amplitude ein positives Vorzeichen und ein negatives, wenn sie nach unten ausgelenkt ist.

Der zweite Begriff zum Unterscheiden ist der kleinste Abstand zwischen zwei positiven/negative Amplituden also benachbarte „Gipfeln“. Dieser Begriff wird Wellenlänge genannt. [Die Lehrkraft zeichnet die Amplitude bei beiden Wellen ein.] Mit diesem Begriff können Lichtwellen in Sichtbares Licht (800 bis 400 nm also im Bereich 10^{-6} bis 10^{-7} m), Röntgenstrahlung (10^{-7} bis 10^{-12} m) Infrarotstrahlung (10^{-4} m) und viele mehr unterschieden werden. Hier (Abbildung 8) siehst du das Spektrum des sichtbaren Lichts mit dazugehöriger Wellenlänge.

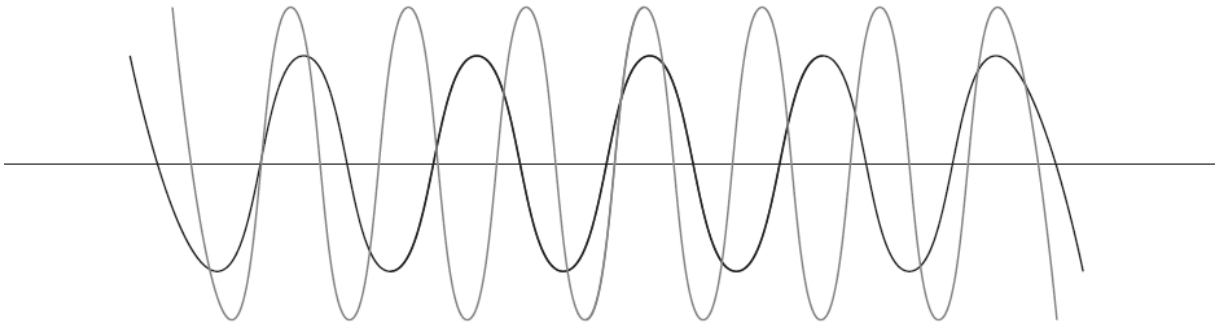

Abbildung 7: Skizzen von zwei unterschiedlichen Wellen (eigene Darstellung)

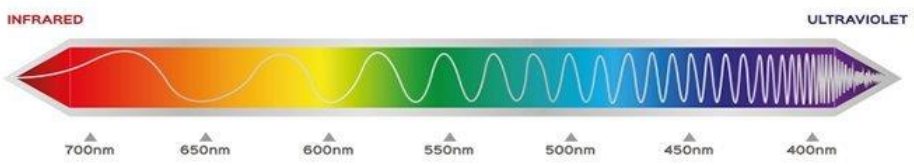

Abbildung 8: Spektrum des sichtbaren Lichts (vgl. Behrens, 2021)

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Ich zeige dir einige Bilder und du zeichnest mir bitte die Wellenlänge/Amplitude an verschiedenen Punkten von den Wellen ein. […]“ (Abbildung 9-12)

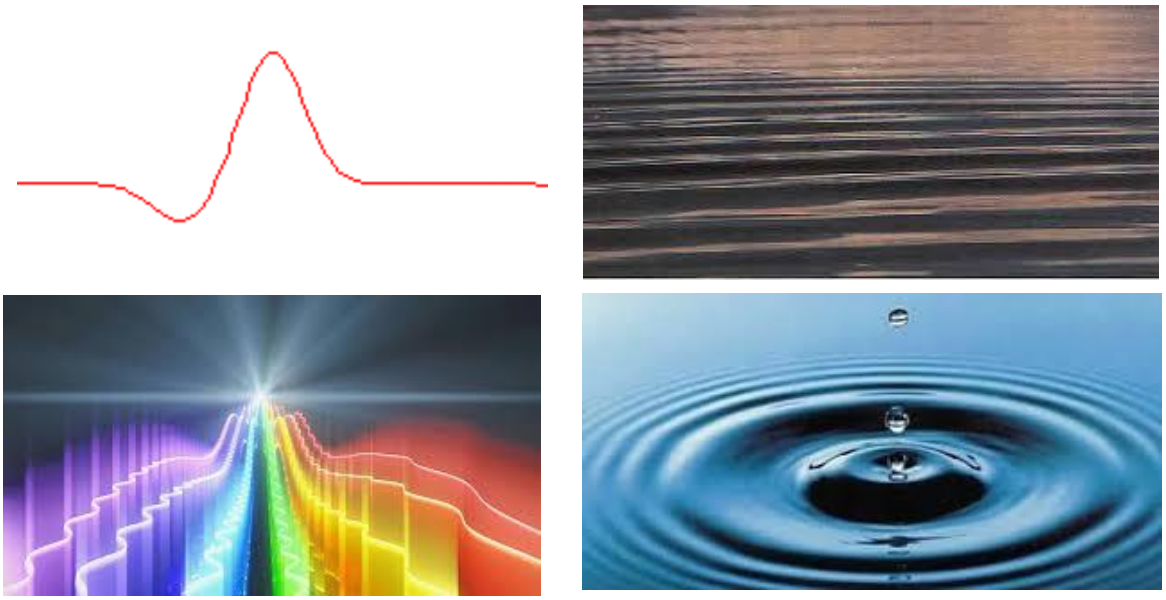

Abbildung 9 (links oben): Skizze einer Welle (eigene Darstellung)
Abbildung 10 (rechts oben): Bild einer Wasserwelle (vgl. Leitner & Finckh, 2011a)
Abbildung 11 (links unten): Skizze von verschiedenen Wellen (vgl. Eckart, 2016)
Abbildung 12 (rechts unten): Bild einer Wasserwelle (vgl. Zünd, 2000)

Erklärung Teil III (Interferenz)

„Hier siehst du ein Video mit lauter Wasserwellen (vgl. Björn Bär, 2011) (00:36-00:58). Wenn du genau den Übergang von zwei Wellen beobachtest, erkennst du, dass sie nach dem Zusammentreffen genauso weiterlaufen wie vor dem Zusammentreffen. Sie „stören“ sich nicht gegenseitig, also sie durchlaufen einander ungestört. Beim Zusammentreffen bzw. Überlagern von Wellen passieren aber trotzdem interessante Phänomene, wodurch der Begriff *Interferenz* eingeführt wurde. Damit wir die Überlagerung besser beobachten

können, spule ich ein wenig vor zu einem Pendel womit durch Auslenkung (Störung) mechanische Wellen erzeugt werden können (02:32-03:38). Beide haben eine positive Amplitude (beide zeigen nach oben) und laufen gegeneinander. Hier siehst du sehr schön, dass sich die Amplituden beim Zusammentreffen aufaddieren und anschließend ungestört weiterlaufen. Da sich die Amplituden/Auslenkungen verstärken spricht man hier von einer *konstruktiven Interferenz*. Wenn ich wieder weiter vor spule (03:38-04:24), sehen wir diesmal zwei gleiche Wellen wobei eine Welle eine positive und die andere eine negative Amplitude hat. Wir lassen diese gegeneinander laufen. Hier siehst du schön, dass sie sich beim Zusammentreffen gegenseitig auslöschen aber anschließend wieder ungestört weiterlaufen. Die Amplituden addieren sich wieder, aber aufgrund des unterschiedlichen Vorzeichens werden sie abgeschwächt bzw. in diesem Fall sogar ausgelöscht beim Zusammentreffen. Beim Abschwächen der Amplituden/Auslenkungen spricht man von *destruktiver Interferenz*.

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Nun sehen wir uns das ganze an Schallwellen an. Weißt du was die Amplitude bei den Schallwellen aussagt [Falls nicht Lautstärke]? Kennst du Noise-Canceling-Kopfhörer (Falls nicht kurz erzählen, dass sie den Lärm außerhalb der Kopfhörer unterdrücken und ein Beispiel dazu)? Wenn du dir nun vorstellst du wartest auf der Bushaltestelle auf deinen Bus und hinter dir steht eine weitere Person. Da sehr viele Autos vorbeifahren setzt du dir diese Kopfhörer auf. Versuche mit dem gerade Gelernten zu erklären, wie das funktioniert, dass du die Autos nicht mehr hörst, aber die Person hinter dir schon die Autos hört?"

Erklärung Teil IV (Beugung)

„Natürlich kann sich eine Welle (nehmen wir z.B. wieder die Wasserwelle) nicht immer ungestört ausbreiten, sondern in der Natur kommen andere Hindernisse vor. Wir sehen uns nun an, wie sich verschiedene Wellen bei verschiedenen Hindernissen verhalten. […] Hier

bei dieser Simulation (vgl. Falstad, 2014) siehst du sehr schön was mit der (ebenen) Welle passiert, wenn sie durch einen Spalt läuft. Ein Teil der Welle kann sich normal weiter ausbreiten, also geradlinig, aber am Rand siehst du, dass ein Teil der Welle die Richtung ändert, also abgelenkt wird. Dieser Vorgang wird als Beugung bezeichnet bzw. die Welle wird gebeugt. Eine Beugung kann beobachtet werden, wenn die Wellenlänge λ, die wir vorher besprochen haben, ungefähr der Spaltbreite entspricht. Ist der Spalt deutlich zu groß/klein ist keine Beugung erkennbar (z.B. ein Lichtstrahl in ein offenes Fenster).
Als nächstes „entfernen" wir eine Seite vom Spalt und beobachten (vgl. Falstad, 2014) was mit der Welle passiert. […] Auch hier können wir die Beugung beobachten, aber nur bei dem Teil der Welle der Nahe dem Hindernis ist. Auch hier kann gesagt werden, dass im Abstand der Wellenlänge von der Kante Beugung beobachtet werden kann (Abbildung 13). Betrachten wir die Welle als Ganzes, sprechen wir davon, dass die Welle gebeugt wird. Ein konkretes Beispiel, die Polizei/Feuerwehr/Rettung verwendet Ultrakurzwellen zum Einsatzfunk mit Wellenlengen von 1-10 m Wellenlänge, somit werden 1-10 m bei einer Kante gebeugt. Kommen wir wieder zurück zum Spalt. Mit dieser Information wissen wir jetzt auch, dass bei einem Spalt nur dann Beugung entstehen kann, wenn die Öffnung ungefähr der Wellenlänge entspricht.

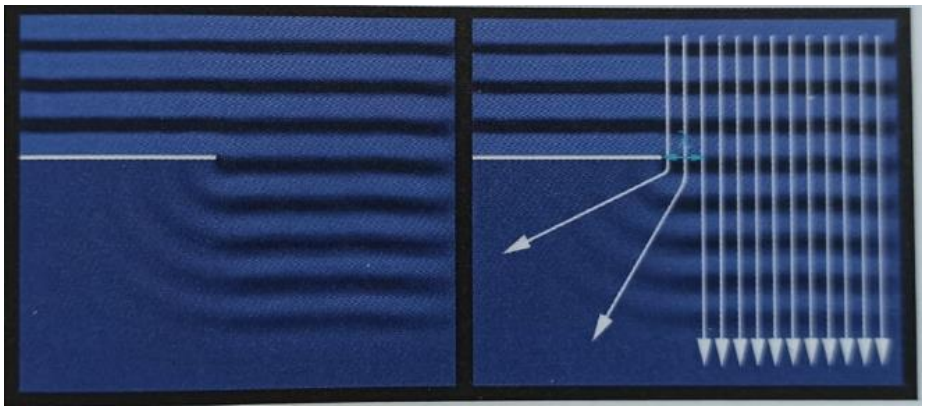

Abbildung 13: Beugung einer Wasserwelle an einem Hindernis (vgl. Apolin, 2008)

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Du stehst vor einer offenen Eingangstür. Eine weitere Person befindet sich im Raum etwas weiter weg (Abbildung 14). Warum kann die Person im Raum dich hören, wenn du etwas sagst, aber nicht sehen?“

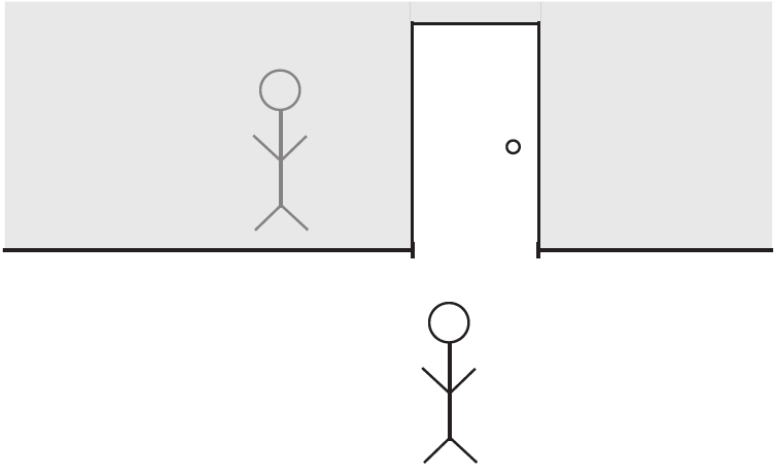

Abbildung 14: Skizze einer offenen Haustür mit einer Person vor der Tür und einer weiteren hinter der Wand (eigene Darstellung)

5 Ergebnisse

Die im vorigen Kapitel entwickelte Intervention wird mithilfe der Akzeptanzbefragung (vgl. Kap. 3), im nun folgenden Kapitel 5 mit Schüler*innen ausgeführt. Für eine bessere Analyse wurden die einzelnen Teile der Befragung weiter unterteilt. Diese Unterteilung und die Rahmenbedingungen für die Bewertung, wird in Kapitel 5.1 geklärt. Im Kapitel 5.2 werden einige wichtige Ergänzungen, für ein besseres Verständnis der detaillierten Auswertung, gegeben. Eine Übersicht der Auswertung der Intervention mit allen Teams ist in Kapitel 5.3 ersichtlich. Die detaillierte Auswertung der Intervention kann dem Kapitel 5.4 entnommen werden. Im abschließendem Kapitel 5.5 wird alles über die zusätzliche Expertenvalidierung berichtet.

5.1 Vorbereitung

Die Themen wurden in einzelne Erklärungsblöcke gegliedert und diese wiederum in die Wiederholung der Erklärung und Anwendung, welche von den Schüler*innen durchgeführt wurden, unterteilt. Um eine genauere Analyse durchführen zu können, wurden die beiden Bereiche, bei längeren Sequenzen, teilweise noch weiter aufgespalten.
Für eine übersichtliche Darstellung, wie gut die Aufgaben erledigt wurden, wurde jeder Abschnitt, gemäß der untenstehenden Tabelle (Tabelle 7), bewertet und farblich markiert. Die Bewertung wurde expertenvalidiert, daher mit einer zweiten Fachlehrkraft abgeglichen und in einer Tabelle (Tabelle 8) übersichtlich dargestellt.

	Wiederholung der Erklärung	*Anwendung*
	vollständig mit Fachbegriffen	selbstständig lösbar
	mit wenig Hilfe vollständig, mit einigen Fachbegriffen oder keine allgemein formulierte Erklärung	mit geringer Hilfe lösbar
	mit starker Hilfe vollständig ohne Fachbegriffe	mit starker Hilfe lösbar oder gar nicht lösbar

Tabelle 7 Übersicht des Bewertungsschemas

5.1.1 Wiederholung der Erklärung

***GRÜN**:* Für diese Beurteilung ist es zunächst wichtig, dass die gegebene Erklärung, ohne Hilfe, vollständig ist. Eine Ausnahme stellt eine längere Erklärung mit einigen Unterpunkten dar. Sollte auf wenige Unterpunkte vergessen werden, jedoch mit kurzen Hinweisen

alles vollständig erklärt werden, wird trotzdem mit Grün bewertet. Ein Beispiel dazu findet man bei der Wahrscheinlichkeit. Erklärung II beinhaltet die Berechnung und die dazugehörige Verteilungsfunktion. Sollte also die Verteilungsfunktion nicht selbstständig erwähnt werden, wurde die Erklärung trotzdem mit Grün bewertet, solange die Berechnung selbstständig und die Verteilungsfunktion, mit kurzem Hinweis, vollständig erklärt werden.
Weiters wird bewertet, ob die Erklärungen die zuvor eingeführten Fachbegriffe beinhalten.
Letztes Kriterium ist, dass die Erklärung in allgemeiner Form formuliert und nicht nur anhand eines Beispiels wiederholt wird.
Dazu ein Beispiel betreffend den Abschnitt *Zufall*. Es ging hierbei um die Wiederholung der Erklärung.
S5: Es gibt zwei verschiedene Arten von Zufällen, den objektiven und den subjektiven Zufall. Der ***subjektive Zufall*** *ist, wenn man theoretisch gesehen die Berechnungen anstellen könnte um das was rauskommt genau vorherzusagen, es aber zu lang dauern würde oder Technologie noch nicht so weit ist und wir deshalb es nicht anstellen, z.B. Bogenschießen. Deshalb ist es subjektiver Zufall was rauskommt.*
Zum einen wurde, ohne Hilfestellung, alles Wichtige von der Erklärung wiedergegeben. Außerdem konnte die Erklärung in allgemeiner Form formuliert. Zuletzt wurde auch der Fachbegriff, subjektiver Zufall, wörtlich verwendet.
Das zusätzliche Beispiel zum Schluss war kein Kriterium, zeigt jedoch vom tiefen Verständnis dieser Erklärung.

GELB*:* Für diese Beurteilung kann die Erklärung unvollständig sein, jedoch muss sie mit anschließender Hilfestellung vervollständigt werden können. Die Hilfestellungen sind gezielte Fragen.
Das Vorkommen von Fachbegriffen ist eine weitere der Bewertung Gelb.
Dazu ein Beispiel betreffend den Unterabschnitt *diskrete Zufallsvariablen (Teil I)* im Kapitel *Wahrscheinlichkeit*. Es ging hierbei um die Wiederholung der Erklärung.
S3: Umso mehr rote Kugeln du hast umso geringer ist die ***Wahrscheinlichkeit*** *die schwarze Kugel zu ziehen. Und wenn wir gleich viele schwarze wie rote Kugeln haben, ist die Wahrscheinlichkeit ungefähr gleich groß die schwarze zu ziehen.*
L: Und berechnen?
S3: In Bruchzahlen. Wenn du 5 rote Kugeln hast und 2 schwarze Kugeln dann 2/7.
L: Genau, was sind die 2 und die 7.
S3: Die die wir haben wollen durch die Gesamten.

Die Erklärung wurde nur durch Nachfragen des Interviewers vollständig wiederholt. Der Fachbegriff Wahrscheinlichkeit wurde verwendet, jedoch fehlte bei der bei der letzten Antwort der Begriff *Anzahl* (*S3: [Anzahl] Die die wir haben wollen durch die [Anzahl] Gesamten.).* Außerdem wurde die Erklärung nur Anhand des Beispiels erklärt. Die allgemeine Formulierung musste durch eine Frage des Interviewers (*L: Genau, was sind die 2 und die 7.)* geschaffen werden.

ROT: Für diese Beurteilung ist die Erklärung, selbst mit Hilfestellung, unvollständig. Die Vermeidung aller Fachbegriffe ist ein weiteres Kriterium für diese Beurteilung.
Dazu ein Beispiel betreffend den Unterabschnitt *stetige Zufallsvariablen (Teil I)* im Kapitel *Wahrscheinlichkeit*. Es ging hierbei um die Wiederholung der Erklärung des Diagramms.
S4: Da hat man es übersichtlicher. Es ist das gleiche wie die Tabelle nur geteilt.
L: Ja und was tragen wir in diese Richtung auf? [auf die x-Achse gezeigt]
S4: … [keine Antwort]
Die Erklärung konnte selbst mit Hilfe der Frage des Interviewers nicht vollständig wiedergegeben werden. Außerdem wurde kein Fachbegriff verwendet.

5.1.2 Anwendung

GRÜN: Für diese Beurteilung muss das Anwendungsbeispiel selbstständig gelöst werden.
Dazu ein Beispiel betreffend dem Unterabschnitt *diskrete Zufallsvariablen (Teil I)* im Kapitel *Wahrscheinlichkeit*. Es ging hierbei um die Anwendung an einem konkreten Beispiel. Es musste von einer Auswahl an Karten (Abbildung 15) als erstes die Wahrscheinlichkeit, eine blaue Karte und anschließend die Karte „Plus 4“, zu ziehen, berechnet werden.

Abbildung 15: Auswahl an Uno-Karten (vgl. Lehmann, 2007)

S1: 6 zu 32 oder 3 zu 16. Genau das passt.

L: 0,1875 also wieviel Prozent?

S2: 18,75 Prozent.

L: […] Machen wir abschließend noch die Karte Plus 4.

S2: Gekürzt sind das dann 1/8.

S1: 0,125, 12,5 Prozent

Es wurde die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für die Uno-Karten ohne Hilfe vollständig gelöst.

GELB: Diese Beurteilung wird gegeben, wenn die Schüler*innen geringe Unterstützung benötigten, um das Anwendungsbeispiel zu lösen.

Dazu ein Beispiel betreffend dem Unterabschnitt *Beugung (Teil IV)* im Kapitel *Wellenlehre*. Es ging hierbei um die Anwendung an einem konkreten Beispiel. Die Aufgabenstellung war es zu begründen, wieso wir eine Person hinter einer Mauer bei geöffneter Tür hören, aber nicht sehen können.

S2: Die Wand ist ja dann wahrscheinlich das Hindernis

S1: Naja, wenn der Schall da so durch geht, also so gerade durchgeht, wenn es gleich groß ist, wird es gebeugt, also so gedreht und geht dann auch auf die Person.

Kommt hald drauf an wie groß die Schallwellen sind, das haben sie noch nicht gesagt. Wenn sie kleiner sind, gehen sie ja einfach gerade, oder?

[…]

Und warum können wir sie nicht sehen?

S1: Weil die Mauer nicht transparent ist.

L: Aber das wäre bei Schall ja auch.

S1: Ja wir haben keinen Laserblick.

L: Aber warum können wir trotzdem hören?

S1: Weil es sich beugt.

L: Und das Licht?

S1: Das Licht beugt sich nicht.

[…]

S2: Also das Licht kann sich schon beugen, aber kann sich nur sehr sehr sehr gering beugen.

[…]

Das Beispiel konnte nur durch gezielte Fragestellungen, seitens des Interviewers, gelöst werden.

ROT: Kann das Beispiel nur mit starker Hilfe oder gar nicht gelöst werden, wurde die Beurteilung rot angewendet.

Dazu ein Beispiel betreffend den Unterabschnitt *Beugung (Teil IV)* im Kapitel *Wellenlehre*. Es ging hierbei um die Anwendung an einem konkreten Beispiel. Die Aufgabenstellung war es zu begründen, wieso wir eine Person hinter einer Mauer bei geöffneter Tür hören, aber nicht sehen können.

S3: Die Wellen breiten sich aus, gehen gerade und dann drinnen gehen sie wieder auseinander.

L: Warum?

S4: Es muss ja wieder ein Hindernis geben für die Beugung.

L: Ja was ist das hier?

S3: Die Wand.

L: Die Wand. Genau. Aber warum wird der Schall hier gebeugt, aber das Licht nicht? Damit wir etwas hören, muss die Schallwelle ins Ohr und damit wir etwas sehen, die Lichtwelle in unser Auge. Warum kommt die Schallwelle ins Ohr, aber die Lichtwelle nicht in unser Auge.

[…]

L: Was ist der Unterschied zwischen einer Lichtwelle und einer Schallwelle, der auch für die Beugung wichtig ist?

[…]

Das Beispiel konnte, selbst nach Hilfestellungen des Interviewers, nicht gelöst werden.

5.2 Ergänzungen

Für ein besseres Verständnis der nachfolgenden detaillierten Auswertung (Kap. 5.4) wiederholend einige wichtige Ergänzungen. Team A bestand aus einer Schülerin (S1) und einem Schüler (S2) welche beide in den naturwissenschaftlichen Fächern im oberen Leistungsbereich liegen und allgemein sehr motiviert sind. Team B bestand aus zwei Schülerinnen (S3 und S4) welche allgemein sehr motiviert sind, jedoch durchschnittliche Leistungen in den naturwissenschaftlichen Fächern zeigen. Team C bestand aus zwei Schüler (S5 und S6) welche, ebenso wie S1 und S2, allgemein sehr motiviert sind und starken Leistungen in den naturwissenschaftlichen Fächern aufweisen.

Für den nachfolgenden Überblick der Auswertung (Kap. 5.4) sei noch zu erwähnen, dass die Intervention, somit die Erklärung und das Anwendungsbeispiel, zwischen den Inter-

views der Teams überarbeitet wurde. Team A und B wurden zeitnah mit der Erstfassung interviewt, sowie anschließend das Material transkribiert und analysiert. Auf Basis dieser Analyse sowie den erkannten Schwächen während des Interviews, wurde die Intervention vor dem Durchgang mit Team C verbessert.

5.3 Überblick der Auswertung

Thema	Abschnitt	Unterabschnitt	Team A	Team B	Team C	Kommentare zu allen Teams
Determinismus	Erklärung					
	WH der Erklärung	Determinismus				Die Einstufungen waren eindeutig.
	Anwendung	Aufgabe 1				Die Einstufungen waren eindeutig.
		Aufgabe 2				Es wurde bei Team A und B über die Einstufung zwischen Grün und Gelb diskutiert. Die Entscheidung fiel auf Gelb, da sie nicht zwischen den Anfangsbedingungen und physikalische Gesetze unterschieden haben.
Wahrscheinlichkeit	Erklärung I (diskrete Zufallsvariable)					
	WH der Erklärung	Berechnung				Team A war ein Grenzfall zwischen Grün und Gelb. Die Entscheidung fiel auf Gelb, da nicht alle Fachbegriffe verwendet wurden.
	Anwendung	Uno-Karten				Die Einstufungen waren eindeutig.

Thema	Abschnitt	Unterabschnitt	Team A	Team B	Team C	Kommentare zu allen Teams
Wahrscheinlichkeit	Erklärung II (stetige Zufallsvariable)					
	WH der Erklärung	Berechnung				Team A war ein Grenzfall zwischen grün und gelb, da die Erklärung sehr stark mit dem Beispiel erklärt wurde, jedoch mit Grün bewertet, da die Berechnung allgemein formuliert wurde.
		Diagramm				Alle Teams waren ein Grenzfall zwischen gelb und rot, da wenig Wichtiges erklärt wurde.
	Anwendung	Berechnung				Die Einstufungen waren eindeutig.
		Diagramm				Die Einstufungen waren eindeutig.
	Erklärung III (Zufall)					
	WH der Erklärung	Subjektiver Zufall				Team B war ein Grenzfall zwischen grün und gelb, da der Zufall an sich nicht erklärt wurde.
		Objektiver Zufall				Die Einstufungen waren eindeutig.
	Anwendung	Münzwurf & Evolution				Die Einstufungen waren eindeutig.

Thema	Abschnitt	Unterabschnitt	Team A	Team B	Team C	Kommentare zu allen Teams
Wellenlehre	Erklärung Teil I (Eigenschaften)					
	WH der Erklärung	Eigenschaften				Alle Teams waren ein Grenzfall zwischen grün und gelb, aufgrund der Erklärung anhand eines Beispiels. Aufgrund der Schwierigkeit einer allgemeinen Erklärung wurde nach der Vollständigkeit der Fachbegriffe bewertet, welche eindeutig war.
	Anwendung	Eigenschaften				Die Einstufungen waren eindeutig.
	Erklärung Teil II (Unterscheidung)					
	WH der Erklärung	Unterscheidungen				Die Einstufungen waren eindeutig.
	Anwendung	Beispiel 1-3				Die Einstufungen waren eindeutig.
		Beispiel 4				Die Einstufungen waren eindeutig.

Wellenlehre	Erklärung Teil III (Interferenz)					
	WH der Erklärung	Interferenz				Die Einstufungen waren eindeutig.
	Anwendung	Noise-Cancelling-Kopfhörer				Team A und B waren ein Grenzfall zwischen Gelb und Rot.
	Erklärung Teil IV (Beugung)					
	WH der Erklärung	Spalt				Die Einstufungen waren eindeutig.
		Hindernis				Die Einstufungen waren eindeutig.
	Anwendung	Hören vs. Sehen				Die Einstufungen waren eindeutig.

Tabelle 8: Übersichtliche Darstellung der Auswertung

5.4 Detaillierte Auswertung

Im Zuge dieses Kapitels werden die Wiederholungen i) und Anwendungen ii) unter Verwendung von Zitaten aus den Transkripten analysiert. Anschließend gibt es eine Analyse zu den Erklärungen und den gesamten Themen iii). Es werden hier nur die wichtigsten und wesentlichen Zitate genannt. Die vollständige Gesprächsaufzeichnung kann im Anhang nachgelesen werden.

5.4.1 Determinismus

5.4.1.1 Erklärung

i) Wiederholung der Erklärung

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung zum Determinismus, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen.

Team A und C haben die Erklärung eigenständig und mit den fachlichen Begriffen wiedergegeben und somit wurden sie mit ***GRÜN*** bewertet. Sie haben den Determinismus kurz, in allgemeiner Form erklärt und haben das Beispiel am Schluss erwähnt. Außerdem haben sie alle wichtigen Fachbegriffe (*Anfangsbedingungen, physikalischen Gesetze/Kräfte, zukünftige Ausgänge*) verwendet.

Interpretation: Damit zeigt sich, dass sie die Erklärung auf einer Fachebene verinnerlicht haben.

Team A

*S2: Ok, also mit den **Anfangsbedingungen** und den **physikalischen Gesetzen** kann man, wenn es nicht zu irgendwelchen Zwischenfällen, unerwarteten Zwischenfällen kommt kann man **zukünftige Ereignisse** vorhersagen, kann man die Zukunft vorhersagen und das haben sie mit dem Beispiel erklärt.*

Team C

*S5: Also, wenn die **Anfangsbedingungen** bekannt sind und die **Kräfte** bekannt sind, die darauf wirken, kann man sich berechnen was da rauskommt. Wie lang etwas braucht.*

*S6: Die Zukunft, also **zukünftige Ausgänge**.*

Bei Team B musste für die vollständige Wiederholung nachgefragt werden, aber schlussendlich auch alle fachlichen Begriffe genannt. Somit wurde diese Wiederholung von Team

B als ***GELB*** bewertet. Sie haben für die Erklärung sofort das Beispiel aufgegriffen und erklärten den Determinismus anhand des Beispiels, wie folgender Ausschnitt zeigt:
S4: Also bei einem Zug, muss man die wie heißt das
S3: Physikalischen Gesetze
S4: Ja, da braucht man die Distanz, die Zeit, die Stopps und die Geschwindigkeit. […]
Manche fachlichen Begriffe wurden selbst genannt und manche erst durch Nachfragen:
S4: Mit diesen Informationen können wir uns ausrechnen, wann genau der Zug ankommen wird.
L: Wie nennen wir diese Informationen?
S4: Anfangsbedingungen.

Interpretation: Hier wurde die Erklärung nicht so gut auf der Fachebene wiedergegeben, sie sind mit der Erklärung auf der Beispielebene geblieben. Es wurde, mit Nachfragen, alles Wichtige wiederholt, wodurch bei diesem Teil zusammenfassend davon ausgegangen werden kann, dass auch von Team B alles mitgenommen wurde.
Bei beiden Teams, A und B, wurde nicht der Begriff *Determinismus* verwendet. Daraufhin wurde nach dem ersten Durchgang der Schluss der Erklärung überarbeitet und eine Definition des Determinismus eingefügt.

ii) Anwendung

Die Schüler*innen sollten die Aufgaben am Arbeitsblatt „Determinismus“ (S. 36) durcharbeiten. Für eine präzisere Analyse wurden die beiden Aufgaben getrennt bewertet.

Aufgabe 1:

„Denk nochmal an das Beispiel der Profibogenschützinnen.
Überlege dir wie, sie den Pfeil abschießen müssen, damit er sicher in die 10 geht, wenn sie in einer Halle trainieren, also ohne Berücksichtigung des Windes?“

Alle drei Teams haben in ihren Antworten die Geschwindigkeit und den Abschusswinkel thematisiert. Kein Team formulierte die Antworten mit physikalischen Fachbegriffen, jedoch ist hier die Wortwahl weniger von Bedeutung. Bei dieser Aufgabe ist es wichtig, zu erkennen, welche Bedingungen von der schießenden Person beeinflusst werden können. Dies wurde von allen drei Teams, ohne Hilfe, erfüllt, wodurch diese Aufgabenstellung bei allen mit ***GRÜN*** bewertet wurde.
Ausschnitte der Aussagen von allen drei Teams:

Team A

S2: Der Winkel zum Beispiel wie man den Pfeil vom Bogen weg schießt.

L: Ja genau, ich habe das Abschusswinkel genannt, aber stimmt genau. Sehr gut das ist schon das Erste und was ist das Zweite glaubts ihr?

S1: Naja genug Kraft, damit er überhaupt auf der Zielscheibe ankommt.

L: Ja ok stimmt, aber jetzt nicht nur genug, weil wir wollen ja nicht nur, dass er überhaupt ankommt sondern, dass er in die 10 geht.

S1: Ich muss genau einschätzen wie viel ich brauch, dass er in die 10 geht.

L: Genau und was ändert sich durch die Kraft?

S1: Naja die Geschwindigkeit.

Team B

S4: Man muss die Distanz beachten.

S3: Wie stark man Pfeil schießt, weil das beeinflusst ja eigentlich die Geschwindigkeit.

L: Ich habe das vielleicht ein wenig schlecht formuliert. Als ersten Schritt geht es mir wirklich nur darum, was könnt ihr beeinflussen?

S4: Ich glaube [den Abschusswinkel] immer etwas höher [bzw. mehr] nicht gleich oder nach unten [bzw. weniger wählen].

Team C

S5: Die Höhe. Die Stärke mit der man schießt.

S6: Den Neigungswinkel.

Aufgabe 2:

„Nun beobachten wir den Vorgang aus der Ferne. Überlege dir, welche Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze für die oben genannten Abschusskriterien (für alle möglichen Situationen) für den Versuchsausgang nötig sind, damit immer in die 10 getroffen wird?“

Alle drei Teams haben alle Antworten, bis auf eine (Höhe des Ziels), selbstständig beantwortet, wie folgende Ausschnitte zeigen:

Team A

S2: Wetter, also Wind.

L: Genau. Was noch?

S1: Die Entfernung ist wichtig.

L: Sehr gut.

S2: Wieder die Kraft.

L: Genau also die Anfangsgeschwindigkeit. Was kann sich noch verändern?

S1: Dass ich mich gerade hinstelle.

L: Ja, die Position von uns.

S1: Wenn die Geschwindigkeit bedeutend ist, ist ja auch das Material des Pfeils wichtig.

L: Ja sehr gut und wenn wir beim Pfeil bleiben, was kann sich noch verändern und den Ausgang beeinflussen?

S1: Das Gewicht.

L: Super und eines noch?

S1: Die Form.

Team B

S4: Der Pfeil hat ja auch ein Gewicht, also die Masse des Pfeils.

L: Genau. Wenn wir noch beim Pfeil bleiben, was ist noch wichtig?

S3: Die Form. Es ist ja ein Unterschied, ob man mit einem Stift oder einen Stein schießt.

L: Ja sehr gut. Wenn ihr nochmal auf das Bild schaut, ihr habt schon Distanz gesagt, was ist noch wichtig?

S3: Die Höhe.

Team C

S5: Anfangsbedingung ist wie weit das Ziel entfernt ist.

S6: Die Geschwindigkeit. Die Höhe, von wo ich wegschieße.

S5: Wie lang der Pfeil ist.

S6: Und wie schwer.

S5: Die Form.

L: Ja sehr gut. Ein Sache noch, wenn ihr auf das Bild schaut. Was gehört noch zur Distanz.

S5: Wie hoch das Ziel steht.

L: Ja genau. Ganz genau. Das sind alles Anfangsbedingungen. Nun noch die physikalischen Gesetze, was haben wir hier?

S5: Die Gravitation, den Wind.

Jedoch hat Team A und B im Vergleich zu Team C nicht zwischen den Anfangsbedingen und den physikalischen Gesetzen unterschieden, wodurch Team A und B mit ***GELB*** und Team C mit ***GRÜN*** bewertet wurde.

Hier ein Auszug aus dem Transkript, wo hervorgeht, dass Team A die beiden Begriffe als ein großes Ganzes gesehen haben:

L: […] Jetzt haben wir wirklich alles gesagt, möchte das wer nochmal zusammenfassen/wiederholen?
S1+2: Alle physikalischen Gesetze: Winkel, Geschwindigkeit, Gewicht, Material, Größe, Wetter, Spannkraft, Höhenunterschied, Distanz.

Ein Dialog zum Schluss von Team A legt den Schluss nahe, dass der Determinismus gut angewendet werden kann:
L: genau und wenn wir das alles wissen, was können wir dann mit dem anfangen?
S1: Dann können wir es vorhersagen.
S2: Ja, naja aber wir wissen ja nicht wie gut der ist, ich würd das nicht schaffen.
S1: Aber wenn ich dir sag du stellst dich jetzt da hin, sag dir genau wie du in halten musst und auch wie weit du zurückziehen musst, dann kannst du nur in die 10 treffen.
S2: Hm, ok ja stimmt, das heißt eigentlich, wenn wir das alles wissen, dann kommt es ja gar nicht mehr auf Talent an.

Durch die Erkenntnis, dass Team A und B nicht die Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze unterschieden haben, wurde das Konzept überarbeitet. Es sollte noch eine klarere Struktur in der Erklärung geben, damit die Anfangsbedingungen und die physikalischen Gesetze in dem Beispiel klarer unterschieden werden.

5.4.1.2 Fazit zum Determinismus

Die Erklärung des Determinismus scheint für diese Altersstufe angemessen. Es zeigte sich bei allen drei Teams in der Wiederholung, dass sie die Erklärung anwenden können.
Die Probleme von Team A und B bei der Anwendung waren, nach der Überarbeitung, bei Team C nicht mehr zu erkennen. Durch die Überarbeitung entstand eine klarere Linie in der Erklärung, welche auch von den Schüler*innen angenommen wurde. Die Beispiele sind gut angekommen und haben gut funktioniert.

5.4.2 Wahrscheinlichkeit

5.4.2.1 Erklärung Teil I (diskrete Zufallsvariable)

i) Wiederholung der Erklärung Teil I (diskrete Zufallsvariable)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung von Teil I, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen. Bei dieser Erklärung gibt es nur die *Wahrscheinlichkeit* als konkreten Fachbegriff. Jedoch ist es wichtig, bei der

Formulierung der Berechnung „*Anzahl* der günstigen Ergebnisse durch die *Anzahl* der möglichen Ergebnisse“ den Fachbegriff *Anzahl* nicht vergessen.
Team B gab eine intuitiv eine korrekte Erklärung, jedoch beruhte sie ausschließlich auf einem Beispiel und wurde nicht in allgemeiner Form wiedergegeben:
*S3: Umso mehr rote Kugeln du hast umso geringer ist die **Wahrscheinlichkeit** die schwarze Kugel zu ziehen. Und wenn wir gleich viele schwarze wie rote Kugeln haben, ist die Wahrscheinlichkeit ungefähr gleich groß die schwarze zu ziehen.*
Außerdem hat es für eine vollständige Wiederholung der Erklärung, unterstützende Nachfragen benötigt:
L: Und berechnen?
S3: In Bruchzahlen. Wenn du 5 rote Kugeln hast und 2 schwarze Kugeln dann 2/7.
L: Genau, was sind die 2 und die 7?
Der Fachbegriff Wahrscheinlichkeit wurde verwendet, jedoch fehlte bei der letzten Antwort der Begriff *Anzahl:*
S3: Die [Anzahl], die wir haben wollen durch die [Anzahl der] Gesamten.
Jedoch war die Erklärung mit wenig Hilfen vollständig wodurch mit ***GELB*** bewertet wurde.

Team C wiederholte die Erklärung, ohne Hilfe, vollständig und verwendete den fachlichen Begriff *Wahrscheinlichkeit* sowie den Begriff Anzahl bei der Berechnung. Außerdem wurde die Erklärung in allgemeiner Form wiedergegeben. Es wurde somit eindeutig mit ***GRÜN*** bewertet.
*S6: Ja das man durch die Erfahrung und Mathematik sagen kann, wie wahrscheinlich es ist beim Würfeln oder anderen Sachen zu einem Ergebnis zu kommen und zu welchem Ergebnis zu kommen und wie **wahrscheinlich** es ist.*
*S5: Und berechnet mit der **Anzahl** das was man haben will durch die **Anzahl** der Möglichkeiten.*

Team A wiederholte die Erklärung, ohne Hilfe, vollständig und verwendete den fachlichen Begriff Wahrscheinlichkeit. Es wurde zwar gleich mit einem konkreten Beispiel begonnen, jedoch selbst auf die allgemeine Berechnung hingeführt.
S2: […] Beim ersten Beispiel hatten wir 5 Kugeln und eine davon war die schwarze und wenn wir 5 Kugeln haben und das was Sie vorher gesagt haben Günstig durch Möglich, die eine schwarze haben wir also eine wollen wir ziehen und 5 haben wir also 1/5, das sind

dann 20% also 20% ***Wahrscheinlichkeit*** *die schwarze zu ziehen. Beim anderen haben wir wieder eine schwarze und zwei Kugeln, das heißt ½ das sind dann 50% die schwarze Kugel zu ziehen.*

Bei der Berechnung wurde, wie bei Team B, nicht der Begriff Anzahl verwendet.

Die Bewertung dieser Erklärung ist somit genau zwischen der von Team B und C, also gelb und grün. Es wurde jedoch, aufgrund des fehlenden Fachbegriffs *Anzahl*, mit ***GELB*** bewertet.

Interpretation: Bei den Wiederholungen ist eine Abstufung in der Qualität zu erkennen. Team C hat als einziges die Berechnung vollständig mit dem Begriff Anzahl erklärt, wodurch auf eine klare Akzeptierung der Erklärung geschlossen werden kann. Team A hat es ebenfalls vollständig und in allgemeiner Form wiedergeben können, wodurch auch auf eine Akzeptierung geschlossen werden kann.

Der fehlende Fachbegriff Anzahl, welcher auch bei Team B nicht verwendet wurde, weist hin, dass bei der Erklärung die Bedeutsamkeit des Wortes nicht erkannt wurde. Es lässt sich auf die fehlende Struktur von dem Konzept im ersten Durchgang, mit Team A und B, zurückzuführen. Es hat somit auch länger gedauert als nötig, wodurch der Fokus auf das Wesentliche ein wenig verloren ging. Dies wurde für den zweiten Durchgang, mit Team C, verbessert und bei der Wiederholung sichtlich besser angenommen.

Interpretation: Bei der Wiederholung von Team B ist ebenfalls erkennbar, dass die Erklärung verinnerlicht wurde. Jedoch aufgrund der Formulierung mittels Beispiels anzuerkennen, dass es nicht auf dem gleichen Niveau, wie Team A und B, verstanden wurde.

ii) Anwendung Teil I (diskrete Zufallsvariable)

Die Schüler*innen hatten ein Bild von einer Auswahl an Uno-Karten vor sich (Abbildung 15) und mussten verschiedene Wahrscheinlichkeiten berechnen. Das Lösen der Anwendung wurde bei allen drei Teams eindeutig mit ***GRÜN*** bewertet.

Folgende Ausschnitte zeigen, dass immer richtig berechnet und das Ergebnis richtig interpretiert wurde.

Team A

L: […] Wie wahrscheinlich ist es eine blaue Karte zu ziehen?

S1: 6 zu 32 oder 3 zu 16. Genau das passt.

L: 0,1875 also wieviel Prozent?

S2: 18,75%.

L: […] Machen wir abschließend noch die Plus 4.

S2: Gekürzt sind das dann 1/8

S1: 0,125. 12,5%

Team B

L: Es sind hier alle Uno, abgesehen der Zahlenkarten, abgebildet und die Frage ist jetzt wie wahrscheinlich ist es von diesen Karten eine blaue Karte zu ziehen?

S3: Also 2 zu 8.

L: Für jeden Stapel und insgesamt?

S3: 6 zu den ganzen Karten, 32.

Team C

L: […] Jetzt ist die Frage von diesen Karten, wenn wir sie zusammenmischen würden, wie wahrscheinlich es ist eine blaue Karte zu ziehen?

S6: Wir brauchen mal eine Formel.

S5: Die Möglichkeiten und die Anzahl der blauen Karten.

S6: Also 32 Möglichkeiten. 6 Blaue.

L: Genau. Also ist die Wahrscheinlichkeit ist somit?

S5: 6 durch 32. 6 32igstel

L: Da kommt 0,1875

S6: 18,75%

Bei allen Teams wurde nicht nur selbstständig richtig gerechnet, sondern das Ergebnis auch richtig interpretiert. Die Formel wurde ohne Probleme gemerkt und konnte im Kontext angewendet werden.

iii) Fazit zur Erklärung Teil I (diskrete Zufallsvariable)

Das Beispiel mit den Uno-Karten ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Erklärung der diskreten Zufallsvariable für diese Altersstufe auf jeden Fall zumutbar ist, sie wurde von allen vollständig akzeptiert und konnte somit angewendet werden.

5.4.2.2 Erklärung Teil II (stetige Zufallsvariable)

i) Wiederholung der Erklärung Teil II (stetige Zufallsvariable)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung von Teil II, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen. Die Erklärung wurde in die Berechnung und in das Diagramm unterteilt.

Berechnung:

Bei dieser Erklärung gibt es nur die *Wahrscheinlichkeit* als konkreten Fachbegriff. Jedoch ist es nötig, bei der Berechnung von *Flächen* zu sprechen.

Team A und C wiederholten die Erklärung, ohne Hilfe, vollständig und verwendeten den fachlichen Begriff Wahrscheinlichkeit, sowie den Begriff Fläche bei der Berechnung.

Bei Team A wurde zwar mit einem konkreten Beispiel begonnen jedoch die Berechnung in eine allgemeine Form hingeführt, wodurch mit ***GRÜN*** bewertet wurde.

Team A

*S1: Wir haben besprochen auf der Zielscheibe die **Wahrscheinlichkeiten** wie hoch sie sind eine bestimmte Fläche zu treffen also wie hoch der Prozentsatz ist. […] Berechnet haben wir es in dem wir die Flächen berechnet haben. Die **Fläche** des jeweiligen Stück durch die Gesamt**fläche**.*

Auch Team C hat die Erklärung in allgemeiner Form formuliert, wodurch ebenfalls mit ***GRÜN*** bewertet wurde.

Team C

*S6: Wenn wir z.B. bei der Zielscheibe die **Wahrscheinlichkeit** von einem Treffer ausrechnen möchte bzw. generell bei Sachen, wo man nicht die gleichen Voraussetzungen hat muss man die Fläche, dann das gleiche wie beim anderen, die die man haben will durch die die man hat nur das man die **Fläche** nehmen muss und dann hat mas.*

Die Erklärung von Team B wurde in allgemeiner Form, unter Verwendung des Fachbegriffs, wiedergegeben:

*S4: Es wird nicht von einzelnen Karten, sondern von einem gesamten Bereich gemacht. Wenn man sich das Beispiel ansieht. Die einzelnen Flächen werden größer, das heißt auch die Wahrscheinlichkeit wird größer und man kann sich dann auch noch ausrechen, wie die **Wahrscheinlichkeit** ist.*

Für eine vollständige Wiederholung der Erklärung waren unterstützende Nachfragen, seitens des Interviewers, notwendig:

L: Wie geht das Ausrechnen nochmal, wenn man sich zum Beispiel fragen vom innersten Kreis?

S4: Da muss man mit einem Bruch rechnen. Den Radius durch den gesamten Kreis rechnen.

S3: Den kleinen Kreis durch das Gesamte.

S4: Durch das Gesamte ja.

Außerdem wurde bei der Berechnung erst mit Nachfragen von Flächen gesprochen:
L: Und was vom Kreis müssen wir nehmen zum Rechnen?
*S4: Die **Flächen**.*
Jedoch war die Erklärung mit wenig Hilfen vollständig, wodurch mit ***GELB*** bewertet wurde.

Interpretation: Die Bewertung von A und C weist darauf hin, dass die Erklärung der Berechnung auf hoher fachlicher Ebene akzeptiert wurde. Die Formulierung in allgemeiner Form von Team B lässt ebenfalls eine gute Akzeptanz der Erklärung vermuten. Jedoch kann durch die Unvollständigkeit und vor allem durch das Fehlen des Begriffs Fläche geahnt werden, dass es nicht auf dem gleichen Niveau der anderen Teams verinnerlicht wurde. Der Begriff Fläche zeigt den Unterschied in der Berechnung von diskreten Zufallsvariablen (Teil I) und stetigen Zufallsvariablen (Teil II).
Interessant ist die Phrase von S6 (Team C) „… bei Sachen, wo man nicht die gleichen Voraussetzungen hat … ". Hier wurde bei der Erklärung auch erwähnt, dass bei den stetigen Zufallsvariablen nicht alle die gleichen Wahrscheinlichkeiten haben, im Vergleich zu den diskreten Zufallsvariablen. Es wurde also, wenn auch sehr kurz, allgemein formuliert, wann mit Flächen gerechnet werden muss. Dies zeigt die eigenständige Verbindung der beiden Themen (Teil I und II).

Diagramm:
Bei dieser Erklärung ist wichtig, wie das Diagramm der Wahrscheinlichkeitsverteilung mit vorgegebenen Daten erstellt werden kann.
Kein Team hat genau erklärt, wie das Diagramm erstellt werden kann, sondern nur die Rahmenbedingungen für das Diagramm aufgezählt.
Team A
S1: […] Und dazu ein Diagramm dazu angeschaut das besser veranschaulicht wie hoch die Prozente sind. […]
L: Und wie kann das Diagramm konstruiert werden?
S1: Auf der x-Achse den Radius und auf der y-Achse die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten auftragen.
Team B
S4: Da hat man es übersichtlicher. Es ist das gleiche wie die Tabelle nur geteilt.
L: Ja und was tragen wir in diese Richtung auf? [auf die x-Achse gezeigt]

S4: Den Radius.

L: Und in die Höhe?

S4: Kommen die Wahrscheinlichkeiten.

Team C

S6: Da ist die x-Achse der Radius und y-Achse die Wahrscheinlichkeit.

Es fehlte das Teilen in Bereiche und Wählen eines Referenzpunktes. Außerdem wurde es nur auf das Beispiel bezogen erklärt, was durch die Antwort „Radius" ersichtlich war.

Somit wurden alle mit ***GELB*** bewertet.

Interpretation: Die Wiederholung der Erklärung lässt bei allen Teams vermuten, dass die Beschriftung des Diagramms verinnerlicht wurde. Jedoch kann aufgrund dieser Wiederholung nicht beurteilt werden, ob die Konstruktion akzeptiert wurde. Kein Team wiederholte den Vorgang für das Konstruieren des Diagramms. Vor allem die sehr kurze Wiederholung, lässt auf keine gute Ausformulierung dieses Vorgangs schließen.

Somit wurde die Erklärung aufgrund der Erfahrungen mit Team A und B überarbeitet. Es wurde versucht die Struktur zu verbessern, damit eine klarere Linie ersichtlich ist. Auf eine bessere Ausformulierung für das Konstruieren des Diagramms wurde geachtet.

Interpretation: Die kurze Wiederholung der Erklärung von Team C zeigte, dass die Überarbeitung keine Wirkung zeigte.

ii) Anwendung Teil II (stetige Zufallsvariable)

Die Schüler*innen mussten von einem skizzierten Kanaldeckel die Wahrscheinlichkeiten berechnen, in die verschiedenen Löcher zu treffen. Die Anwendung wurde in die Berechnung und in das Erstellen des Diagramms unterteilt.

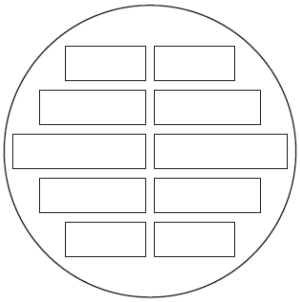

Abbildung 17: Skizze eines Kanaldeckels (eigene Darstellung)

Abbildung 16: Bild eines Kanaldeckels mit Gitter (vgl. Zmelty, 2016)

Berechnung:

Alle drei Teams wurden mit ***GRÜN*** bewertet, weil sie ohne fachliche Hilfe selbständig die Vorgehensweise der Berechnung erklären konnten.

Team A

L: […] Jetzt wäre interessant wie wahrscheinlich es ist in die verschiedenen Löcher zu treffen.

S2: Ja man sieht, dass die hinteren Löcher viel kleiner sind und die in der Mitte am längsten, also man muss die Fläche ausrechnen von den verschiedenen Streifen und dann sieht man das es umso unwahrscheinlicher ist in die oberen reinzutreffen, weil die Fläche kleiner ist und in der Mitte da ist es am wahrscheinlichsten reinzutreffen, da sie am größten sind. Gerechnet, die Flächen durch die Gesamtfläche.

Team B

L: […] Möchte man jetzt einen Kaugummi hineinwerfen und man sich fragt, wie wahrscheinlich es ist, in die verschiedenen Löcher zu treffen? Wie gehen wir da vor?

S3: In Teile aufteilen.

L: Genau. Wie würdest du es aufteilen? Es gibt viele, welche gefällt dir am besten?

S3: In der Mitte. Hm, nein. Man könnte es so in Streifen.

[…]

S3: Also die Gesamtfläche brauchen wir mal.

L: […] Wie müssten wir das dann rechnen?

S3: Die Fläche des Streifens durch die Gesamte.

Team C

L: Wir haben einen Kanaldeckel, fotografiert und skizziert und wenn ihr da vorbei geht und etwas hineinwerfen wollt, könnte man sich die Frage stellen, wie wahrscheinlich es ist hineinzutreffen?

S5: Das geht eigentlich wie das vorige, das man sich die Flächen ausrechnet und am wahrscheinlichsten ist es dann in die größte Fläche zu treffen.

Die Fläche des ganzen Kreises und die einzelnen Rechtecke.

S6: Das ist dann die Wahrscheinlichkeit, ob wir überhaupt treffen.

L: Genau und wie rechnet man sich die Wahrscheinlichkeit in genau dieses hineinzutreffen?

S5: Diese Fläche durch die alle inklusive den Löchern.

Interpretation: Das Beispiel lässt die Akzeptanz der Berechnung der stetigen Zufallsvariable vermuten. Alle Teams konnten problemlos das Beispiel lösen.

Diagramm:

Team A hatte Probleme mit dem Erstellen des Diagramms und benötigte Hilfestellungen. Sie hatten vor allem bei der Einteilung der Bereiche Probleme.

S2: Dann wäre die Fläche von dem da am kleinsten abgebildet.

L: Also was brauchen wir als erstes um diese zu zeichnen?

S2: Diesen Punkt da.

L: Genau den Ursprung.

S2: Der Ursprung ist dann die kleinste Fläche.

L: Muss nicht sein. Kann aber natürlich. Wo würde er sich hier anbieten?

S2: Ich dachte, weil er beim vorigen beim kleinsten und dann immer größer.

Durch gezielte Fragen durch den Interviewer konnten sie das Beispiel richtig lösen, wodurch sie auch mit ***GELB*** bewertet wurden.

L: Ja stimmt, aber hier hast du ja vorher richtig gesagt ist er in der Mitte am größten. Aber du kannst es ja individuell aussuchen. Wo gefällt er euch am besten?

[…]

[Ich habe den Punkt in die Mitte und abgestuft eingezeichnet, 5 Bereiche]

Wie würde hier die Verteilung ausschauen?

[…]

Wie wäre die Verteilung in der Mitte?

S2: Die Frage ist jetzt welcher am wahrscheinlichsten ist zu treffen, oder?

L: Ja.

S2: Dann der in der Mitte.

L: Also muss es der kleinste oder größte Balken sein im Diagramm?

S2: Größte und auf der Seite werden sie immer kleiner.

Team B und C konnten auch das Diagramm nicht eigenständig zeichnen und wurden durch Fragen seitens des Interviewers gelenkt:

Team B

L: […] Wie könnten wir das in ein Histogramm eintragen, was brauchen wir zu Beginn?

S4: Einen Punkt müssen wir setzen.

L: Ja richtig, wo setzen wir den hin?

S4: Hier. [Auf dem linken Ende]

L: Ok. Gut, das heißt links vom Punkt können wir nicht reintreffen da brauchen wir nichts zeichnen.
S4: Dann beginnt es mit dem kleinsten und wird immer größer.
L: kleinste, größer, größer [ich zeichne auf], und dann.
S3: kleiner, kleiner.
Team C
S6: Hier könnten wir die x-Achse nehmen.
L: Ok und was brauchen wir noch?
S6: Die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Flächen.
L: Und was noch?
S5: Die Mitte.
L: Ja. Wo wollt ihr den hin?
S6: E da in der Mitte.
L: Passt wie schaut dann das Diagramm aus
S6: Das ist ja schon in Balken angegeben. Also das größte ist der mittlere Balken. […zeichnet richtig ein]
Durch gezielte Fragen durch den Interviewer konnten sie das Beispiel auch richtig lösen, wodurch sie ebenfalls mit ***GELB*** bewertet wurden.

Interpretation: Das Beispiel lassen die Unsicherheiten bei der Konstruktion des Diagramms mutmaßen. Team A hatte die meisten Schwierigkeiten. Die Einteilung zu Beginn stellte sie vor Probleme. Die Bewertung lässt vermuten, dass sie die Bedeutung des Diagramms auf sehr niedrigem Niveau verstanden haben. Team B und C hatten keine konkreten Schwierigkeiten, konnten jedoch genauso das Beispiel nicht eigenständig lösen. Auch diese beiden Teams haben vermutlich die Konstruktion des Diagramms auf keiner hohen fachlichen Ebene verinnerlicht.

iii) Fazit zur Erklärung Teil II (stetige Zufallsvariable)

Die Berechnung für diese Wahrscheinlichkeit hat sowohl beim Wiederholen der Erklärung, als auch bei der Anwendung sehr gut funktioniert. Es war von Vorteil, dass sie den ersten Teil verstanden haben, da der zweite Teil sehr stark darauf aufgebaut hat. Anderseits kann somit gezeigt werden, dass die Erklärung von Teil I gut akzeptiert und auf hohem Niveau verinnerlicht wurde.

Zusammenfassend ist dies somit ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Berechnung auch bei stetigen Zufallsvariablen für diese Altersstufe zumutbar ist und die Erklärung akzeptiert wurde und angewendet werden kann.

Die Bedeutung des Diagramms zeigte der Erklärung ihre Grenzen auf. Selbst nach der Überarbeitung, konnte das Diagramm nicht in der gewünschten Form verinnerlicht werden. Das Diagramm selbst wurde von den Schüler*innen akzeptiert, jedoch die Konstruktion nicht. Dies zeigte sowohl die Wiederholung der Erklärung als auch das Lösen des Beispiels. Bei keinem der Teams konnte eindeutig eine Akzeptanz der Erklärung erkannt werden.

Es scheint, dass nicht die Konstruktion des Diagramms, sondern nur die Bedeutung des Diagramms auf oberflächlichem Niveau, altersgerecht ist.

5.4.2.3 Erklärung Teil III (Zufall)

i) Wiederholung Erklärung Teil III (Zufall)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung von Teil III, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen. Die Erklärung wurde in den subjektiven und objektiven Zufall unterteilt.

Subjektiver Zufall:

Bei dieser Erklärung gibt es nur *subjektiven Zufall* als konkreten Fachbegriff.

Team A und C wurden, aufgrund der vollständige Wiederholung der Erklärung mit Verwendung des Fachbegriffs, mit ***GRÜN*** bewertet.

Team A

*S2: Ja ok dann mach es ich. Also es gibt zwei Arten von physikalischen Zufällen, den **subjektiven** und den objektiven **Zufall**. Beim Subjektiven ist es so, dass es möglich ist das Ergebnis also die Zukunft was da raus kommt vorherzusagen, mit bestimmten Mitteln/Techniken, die aber niemand benutzt, also das macht keiner, außer Physiker vielleicht.*

S1: Aber es ist möglich, man könnte.

S2: Ja genau, es ist möglich, aber die meisten machen es einfach nicht.

Team C

*S5: Es gibt zwei verschiedene Arten von Zufällen, den objektiven und den subjektiven Zufall. Der **subjektive Zufall** ist, wenn man theoretisch gesehen die Berechnungen anstellen könnte um das was rauskommt genau vorherzusagen, es aber zu lang dauern würde oder Technologie noch nicht so weit ist und wir deshalb es nicht anstellen, z.B. Bogenschießen. Deshalb ist es subjektiver Zufall was rauskommt.*

Team B wurde mit ***GELB*** bewertet. Es wurde zwar der konkrete Fachbegriff verwendet, ein Beispiel genannt und richtig den Unterscheid zum objektiven Zufall beschrieben, jedoch fehlte die Beschreibung des Zufalls an sich.
*S3: Also es gibt den **subjektiven Zufall**, das ist zum Beispiel jetzt Dart spielen, alles was man berechnen kann. […] Also der Ausgang.*

Interpretation: An der Wiederholung der Erklärung von Team A und C lässt vermuten, dass der subjektive Zufall auf fachlicher Ebene verinnerlicht wurde. Sie erklärten mit Fachbegriffen, allgemeiner Formulierung und außerdem vollständig. Bei der Erklärung von Team B war nur das Beispiel präsent. Die Auflösung, dass beim subjektiven Zufall der Ausgang nicht berechnet wird, hat gefehlt. Es scheint, dass der subjektive Zufall auf einer intuitiven Ebene verstanden wurde, da er nicht gut ausformuliert wurde.

Objektiver Zufall:
Bei dieser Erklärung gibt es nur *objektiven Zufall* als konkreten Fachbegriff.
Alle Teams wurden mit **GRÜN** bewertet, da eine vollständige Wiederholung der Erklärung, mit dem Fachbegriff, wiedergebeben wurde.
Team A
*S2: […] Beim **Objektiven** ist es so, dass man bis jetzt noch keine Gesetzmäßigkeiten gefunden hat, wie man das Ergebnis oder die Zukunft beeinflussen kann. Beispiel mit dem Atomkern, dass man einfach nicht weiß, ja gibt es irgendwas, dass es vorhersagen kann, wann der jetzt zerfällt oder so, weil man das einfach noch nicht herausgefunden hat.*
Team B
*S4: Der **Objektive** ist, wenn man es sich gar nicht ausrechnen kann und es einfach nur Zufall ist. Also der Ausgang.*
Team C
*S5: […] Beim **objektiven Zufall** ist es so, dass es nicht mal Gesetze gibt, mit Hilfe dieser wir berechnen was rauskommt, das heißt es ist unmöglich zu 100% sagen, wie es rauskommt. Aber wie wahrscheinlich etwas ist, kann man sagen.*

Interpretation: Alle drei Teams zeigen mit der Wiederholung der Erklärung die scheinbare Akzeptanz des objektiven Zufalls.

Team A beinhaltet eine interessante Phrase bei dieser Erklärung:

*„[…] weil man das einfach **noch** nicht herausgefunden hat.“*

Team A verwendet im letzten Satz der Erklärung das Wort „noch“. S2 drückt damit aus, dass es eine Gesetzmäßigkeit gibt, jedoch noch nicht gefunden wurde. Obwohl diese Aussage aus fachlicher Sicht nicht korrekt ist, wurde Team A mit grün bewertet, da sie trotzdem die Erklärung überwiegend fachlich korrekt wiederholt haben. Mit allen drei Teams wurde diese Thematik in der Erklärung besprochen, jedoch hat sich Team A als einziges Team mit dieser Begründung arrangiert. Die anderen beiden Teams sind somit der Meinung, dass es keine Gesetzmäßigkeiten gibt bzw. in der Zukunft geben wird.

ii) Anwendung Teil III (Zufall)

Die Schüler*innen mussten den Unterschied folgender Beispiele von Zufällen beschreiben: Münzwurf und die Evolution der Lebewesen.

Aufgrund des selbstständigen Lösens wurden alle drei Teams mit ***GRÜN*** bewertet.

Team A

S2: Der Münzwurf ist subjektiv, weil da kann ich schon beeinflussen wie wirf ich die Münze und Evolution der Lebewesen kann man nicht beeinflussen.

Team B

S3: Der Münzwurf ist ein subjektives Beispiel, weil man es sich berechnen kann und die Evolution der Lebewesen kann man nicht berechnen also das ist einfach zufällig also ein objektiver Zufall.

Team C

S6: Beim Münzwurf könnte man berechnen schnell wirft man die Münze, wie hoch ist er da, wo sie aufkommt, welcher Winkel, und so weiter dann könnte man es theoretisch berechnen. Also subjektiver Zufall und Evolution ist einfach gegeben, wissen wir nicht also objektiver Zufall.

Alle Teams lösten das Beispiel und begründeten ihre Antworten.

Interpretation: Dies lässt vermuten, dass der Zufall von allen Teams auf hohem fachlichem Niveau akzeptiert wurde.

iii) Fazit zum Teil III (Zufall)

Die Erklärung dieses Teils von der Wahrscheinlichkeit hat sehr gut funktioniert. Sowohl die Wiederholung der Erklärung, also auch die Anwendung wurde von den Schüler*innen sehr gut bearbeitet. Durch die längeren Diskussionen konnte bemerkt werden, dass dieser

Teil bei den Schüler*innen sichtlich gut angekommen ist. Zusammenfassend wurde die *Erklärung des Zufalls* akzeptiert und scheint für diese Altersstufe zumutbar.

5.4.2.4 Abschluss Wahrscheinlichkeit

Das ganze Thema Wahrscheinlichkeit ist sehr gut von den Schüler*innen angenommen worden. Vor allem die Berechnungen stellten für alle kein Problem dar und wurden schnell akzeptiert. Der Abschnitt *Zufall* hat alle Schüler*innen begeistert und es wurden auch selbstständig Verknüpfungen zum Determinismus gezogen. Abschließend kann gesagt werden, dass das Thema Wahrscheinlichkeit in dieser Form für diese Altersstufe angemessen und zumutbar scheint.

Team C führte eine interessante Diskussion auf die Frage „Was ist für euch Zufall?“:
S5: Wenn ich nicht bestimmen kann, wie etwas passiert.
S6: Wenn man weiß, dass es sich so und so entscheiden kann und gleich viel Chance und das es passieren wird, aber nicht entschieden wird. Oder wenn etwas nicht Vorausgesehenes passiert.
S5: Nicht entschieden werden kann würde ich nicht sagen, es gibt Dinge, die entschieden werden können, wenn man sich genug Zeit nimmt, aber z.B. Bogenschießen und mir nicht alle möglichen Berechnungen, welche möglich wären, ist es ja trotzdem noch Zufall, der entscheidet, wo ich genau hin treffe.
S6: Ich bin mir nicht sicher, weil ich war selbst Bogenschießen und da ist schon viel können also wie schieße ich.
S5: Sicher kann man selbst bis zu einem gewissen Grad entscheiden, wenn man ein gutes Gefühl hat für die Luft und wie man anziehen muss, aber zu 100% kann man es nicht sagen.
S6: Ja stimmt, hast schon recht.
Sie kamen selbst schon auf die Erklärung des subjektiven Zufalls. Außerdem ist auch eine Verknüpfung zum Determinismus, durch das Bogenschießen, erkennbar.

5.4.3 Wellenlehre

5.4.3.1 Erklärung Teil I (Eigenschaften)

i) Wiederholung Erklärung Teil I (Eigenschaften)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung von Teil I, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen. Fachbegriffe bei dieser Erklärung sind *Welle, Störung, Energietransport, Ende und Materietransport*.

Kein Team verwendete eine allgemeine Formulierung, sondern erklärten die Eigenschaften der Welle an einem konkreten Beispiel. Aufgrund der Schwierigkeit dieses Thema allgemein zu formulieren sowie der starke Fokus auf den Beispielen in der Erklärung wurde dies bei dieser Wiederholung der Erklärung nicht berücksichtigt.

Team A nannte in ihrer Erklärung alle Fachbegriffe, wodurch sie mit ***GRÜN*** bewertet wurde.

*S1: Es gibt eine **Störung, Energietransport**, ein **Ende** und **Materietransport**.*

L: kein Materietransport

S1: ja kein natürlich.

S1: Die Störung ist, dass sie aufstehen bei dem Beispiel, Energietransport ist die Motivation, dass andere auch aufstehen, Ende ist, wenn die Leute nicht mehr aufstehen oder keine Leute mehr sitzen und sie bleiben immer an ihrem Platz und gehen nur rauf und runter.

Hingegeben konnte Team B und C in ihrer Erklärung nicht alle Fachbegriffe verwenden, wodurch mit ***GELB*** bewertet wurde:

Team B

*S4: Das Beispiel sozusagen. Wenn es eine **Störung** gibt im Wasser kommt eine Energie z.B. von einem Stein kommt die Energie ins Wasser und die gibt dann die Energie immer weiter und das ist dann die Welle.*

*S3: Sie bewegen sich aber nicht, also sie werden nicht verschoben, sondern sie steigen nur in die Höhe und das Ende der Störung, wenn es eine Blockade gibt, dann **endet die Welle**.*

Team C

*S6: Wenn bei einem Wasser Energie ins Wasser kommt, eine **Störung**, also Stein ins Wasser fällt, wird diese Energie übertragen und diese gehen dann rauf und runter und somit entstehen **Wellen**. Diese bewegen sich aber nur rauf und runter. Und sie **endet**, wenn die Störung sich nicht mehr ausbreiten kann.*

Interpretation: Die Tendenz diese Erklärung anhand eines Beispiels zu wiederholen, liegt vermutlich daran, dass die Erklärung auch sehr stark die Beispiele, Laola-Welle und Wasserwelle, forciert. Die allgemeine Formulierung, in Form von Ergänzungen, wurden anscheinend nicht als wichtig empfunden.

Eine Phrase beim Wiederholen, von Team A, in Bezug auf den nicht vorhandenen Materietransport bei einer Welle:
[Anm. Laola-Welle]
S2: Materietransport wäre, dass wenn sie [Anm. die Personen] woanders hingehen würden?
S1: Wenn sie weiter gehen würden.
Interpretation: Die richtige Anwendung der Erklärung an ein konkretes Beispiel lässt die Akzeptanz der Tatsache, dass kein Materietransport stattfindet bei der Welle, vermuten.

ii) Anwendung Teil I (Eigenschaften)

Die Schüler*innen mussten die besprochenen Eigenschaften der Welle (Störung, Energietransport, Ende, Materietransport) an einer Wasserwelle, gezeigt durch ein Video, erklären.

Alle drei Teams haben ohne Hilfe die Eigenschaften der Wasserwelle vom Video beschreiben können, wodurch alle mit ***GRÜN*** bewertet wurden.
Team A
L: Was ist hier die Störung?
S2: Der Stock, wenn der ins Wasser getaucht wird. […] Man sieht die Wellen werden nach außen verbreitet so weiter gehen. […]
L: Wo ist das Ende?
S2: Hier haben wir ja keinen Felsen.
S1: Das ist einfach der Rand, das ist eine Schüssel da gibs einen Rand.
Jetzt kommt noch ein Beispiel mit dem Materietransport wo sie noch was reintun und das geht dann in die Höhe.
Team B
S3+4: Störung ist der Stift.
L: Was passiert dann?
S3: Die Energie wird weitergegeben.
S4: Die Welle entsteht durch den Stift. Es geht bis ans Ende und dann hörts auf.

S3: Weil da ist eine Wand. Und so öfter man es rein gibt umso mehr Wellen entstehen.
S4: Das bewegt sich nicht [Papierstücke ins Wasser gegeben]. Deswegen bewegen die sich nicht. Ich habe mich immer gefragt, wieso sie sich nicht bewegen.
S3: Weil es ja nur nach oben bzw. unten geht.
Team C
S5: Das Ding was reinkommt ist die Störung und an der Wand endet die Welle. Sie geht zwar leicht zurück aber nicht viel.
Die Papierstücke gehen nur rauf und runter, aber gehen nicht mit der Welle mit.
Interpretation: Alle Teams konnten die Eigenschaften vollständig beschreiben. Somit kann vermutet werden, dass sie die Eigenschaften akzeptiert haben.

iii) Fazit zum Teil I (Eigenschaften)

Bei der Wiederholung der Erklärung wurde von keinem Team alle Fachbegriffe selbstständig genannt und in allgemeiner Form wiedergegeben. Durch die vollständige Erklärung scheint es jedoch, dass sie die Eigenschaften sehr wohl akzeptiert haben.
Diese Einschätzung wurde auch durch das vollständige Lösen der Anwendung von allen Teams unterstützt. Das Video von der Laola-Welle ist gut angekommen und gab eine gute Unterstützung. Es konnte somit sehr gut eine Analogie zu einer Wasserwelle geschaffen werden.
Die Erklärung des ersten Teils der Wellenlehre scheint für diese Altersstufe angemessen und zumutbar zu sein.

5.4.3.2 Erklärung Teil II (Unterscheidung)

i) Wiederholung Erklärung Teil II (Unterscheidung)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung von Teil II, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen. Hier wurden die Fachbegriffe *Amplitude* und *Wellenlänge* verwendet.

Alle Teams wiederholten vollständig die Erklärung in allgemeiner Form und verwendeten die Fachbegriffe. Somit wurden alle Teams mit ***GÜRN*** bewertet.
Team A
*S2: Wir haben hier zwei verschiedene Wellen. Die **Wellenlänge** ist vom höchsten Punkt des Wellenbergs zum höchsten Punkt des nächsten Wellenbergs [S2 gezeigt]. Die **Amplitude**, der Abstand vom Ruhepunkt zum höchsten Punkt des Wellenbergs.*

Team B

*S3: Es gibt die **Amplitude**, das ist die Höhe sozusagen.*

L: Wo ist die?

*S3: Von der Nulllinie zur Spitze. Und die **Wellenlänge** ist von einem höchsten Punkt bis zum nächsten höchsten Punkt.*

S4: Von einer Spitze des Wellenbergs bis zur nächsten Spitze des Wellenbergs.

Team C

*S5: Man kann die Wellen unterscheiden. Dafür gibt es die **Amplitude**. Das ist wie weit der einzelne Teil der Welle ausschlägt, negativ runter und positiv rauf. Der Abstand zwischen den Wellenteilen, also benachbarten Wellenteilen ist die **Wellenlänge**.*

Interpretation: Die Wiederholung der Erklärung lässt bei allen drei Teams vermuten, dass es akzeptiert wurde.

Team A und B verwendete für die Beschreibung den Begriff „Wellenberg" und „Wellental", hingegen verwendete Team C „einzelner Teil der Welle" und „Wellenteilen". Team C hat als einziges Team die unterschiedlichen Vorzeichen der Amplitude beschrieben.

ii) Anwendung Teil II (Unterscheidung)

Die Schüler*innen sollten bei vorgegebenen Beispielen die Amplitude und die Wellenlänge, falls möglich, einzeichnen, zeigen und erklären.

Für eine bessere Analyse wurde in den Beispielen 1 bis 3 sowie 4 unterteilt.

Beispiel 1-3

Alle Teams wurden mit ***GRÜN*** bewertet, da sie ohne Hilfe die Amplitude und die Wellenlänge eingezeichnet haben und mündlich benannt. Anschließend ein Ausschnitt der Lösungen (Abbildung 18-20):

Abbildung 18: Beispiel 1 gezeichnet von Team A (eigene Darstellung)

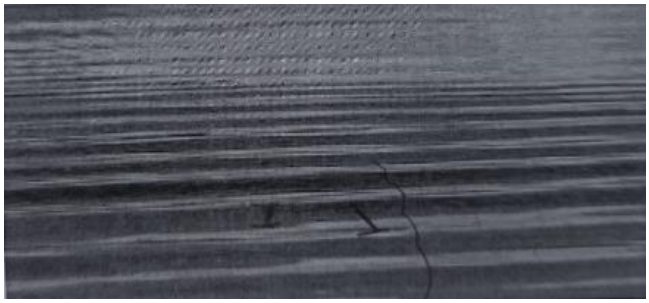

Abbildung 19: Beispiel 2 gezeichnet von Team B (eigene Darstellung)

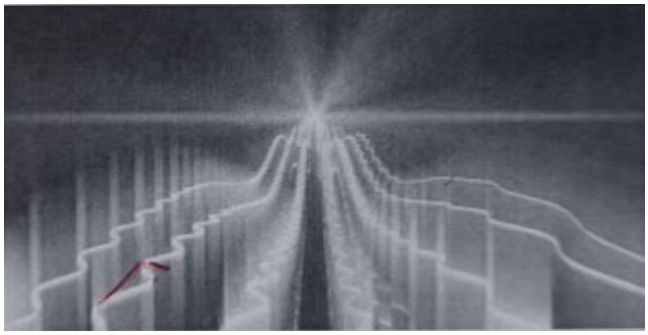

Abbildung 20: Beispiel 3 gezeichnet von Team C (eigene Darstellung)

Auf jedem Bild sind Wellenlänge und Amplitude sichtlich erkennbar.

Beispiel 4:

Auch bei diesem Beispiel wurden alle Teams mit ***GRÜN*** bewertet. Sie haben selbstständig erkannt, dass die Wellenlänge auf diesem Bild (Abbildung 21) nicht eingezeichnet werden kann.

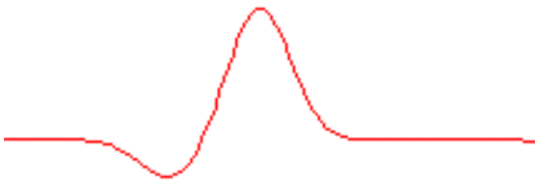

Abbildung 21: Beispiel 4 (eigen Darstellung)

Team A

S2: Das ist ja der Nullpunkt, also das ist die Amplitude und haben hier eine zweite Welle?

S1: Mach doch einfach mal den Nullstrich.

S2: Ja ok, da.

S1: Der geht, aber da auch durch. Also siehst du das du eine zweite Welle hast.

S2: Aber haben wir nicht vorher besprochen, dass Wellenlänge so so so geht [S2 zeigt von Spitzenwert Wellenberg zu Wellenberg], wir haben ja nicht so so so gezeichnet [S2 zeigt von Spitzenwert Wellenberg zu Wellental].

Team B

S4: So die Wellenlänge.

S3: Nein die Wellenlänge muss ja von Spitze zu Spitze gehen. Also geht nicht.

Team C

S6: Da ist die Amplitude zum höchsten Punkt und das zum niedrigsten. Und das wäre dann die Wellenlänge [zeigt auf der Ruhelage auf den Beginn des Wellenbergs bis zum Ende des Wellentals] oder?

S5: Aber den Abstand zur nächsten Welle kann ich es nicht vergleichen, gibt ja keinen nächsten. Hm.

Zu zweit ist jedes Team auf die richtige Lösung dieses Beispiels gekommen. Kein Team benötigte einen Hinweis des Interviewers.

Interpretation: Hier zeigt sich die Akzeptanz aller Teams dieses Themas.

iii) Abschluss Teil II (Unterscheidung)

Sowohl bei der Wiederholung der Erklärung als auch bei den Beispielen war zu erkennen, dass sie die Erklärung verinnerlicht und akzeptiert haben. Sie hatten keine Probleme und konnten die Erklärung und die Beispiele vollständig wiederholen bzw. lösen.

Eine Fehlvorstellung ist in diesem Teil sichtbar geworden. Sie wissen zwar die Eigenschaften und die Unterscheidungen der Welle, haben jedoch nicht in der Tiefe die Bedeutung des Begriffs Welle verstanden. Bei der periodischen Welle betrachteten sie die einzelnen Wellenberge als einzelne Wellen. Bemerkbar durch eine Aussage bei der Erklärung durch den Interviewer:

L: […] nennt man die Wellenlänge.

*S3: Wie weit **die Wellen** auseinander sind.*

Nach dem ersten Durchgang von Team A und B wurde die Erklärung I überarbeitet. Es wurde zum Schluss eine abschließende Definition einer Welle hinzugefügt in der Hoffnung, dass nicht nur die Eigenschaften, sondern der Begriff Welle als Ganzes verinnerlicht wird.

Trotz dieser Definition hatte Team C dieselbe Fehlvorstellung, erkennbar bei Beispiel 4:

*S5: Aber den **Abstand zur nächsten Welle** kann ich es nicht vergleichen, gibt ja keinen nächsten. Hm.*

Interpretation: Damit die Schüler*innen den Begriff Welle als Ganzes akzeptieren können, reicht die Definition zum Schluss nicht aus. Der Begriff Welle scheint nicht altersgerecht zu sein.

5.4.3.3 Erklärung Teil III (Interferenz)

i) Wiederholung Erklärung Teil III (Interferenz)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung von Teil III, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen. Die Fachbegriffe *Amplitude, konstruktive* und *destruktive Interferenz* wurden bei dieser Erklärung verwendet.

Die Erklärungen aller Teams waren vollständig:

Team A

S1: Naja ist ja nicht so schwierig, entweder die Wellen addieren sich auf oder schwächen sich ab oder löschen sich ganz aus.

Team B

S4: Wenn zwei Wellen gegeneinander laufen, dann kreuzen und verbinden sie sich und laufen anschließend so weiter wie vorher. Beim Verbinden werden sie zusammengerechnet. Also bei zwei positiven werden sie mehr und bei einem positiven und einem negativen werden sie zu Null.

Team C

S5: Wellen stören sich nicht gegenseitig, also gehen immer weiter und an dem Punkt, wo sie sich treffen, addiert sich die Welle. Wenn sich gleich hohe Welle nur mit unterschiedlichen Vorzeichen, dann gibt es einen Punkt, wo es gar keine Welle gibt und anschließend gehen sie weiter.

S5: Eigentlich ist das mathematisch einfach. Es addiert sich immer, weil selbst bei einer negativen kommt dann Plus Plus Minus also Minus.

Jedoch wurde weder die Amplitude noch konstruktive und destruktive Interferenz bei den Erklärungen verwendet. Durch Nachfragen, seitens des Interviewers, wurden alle Begriffe richtig genannt und beschrieben, wodurch mit ***GELB***, bewertet wurde:

Team A

L: Und was davon addieren wir?

S1: Wenn es zwei positive Wellen sind, die addieren sich auf und eine negative und eine positive zum Beispiel, entweder sie löschen sich ganz aus, schwächen sich ab oder machen eine Negative kann ja auch sein.

L: Ja und du sprichst immer von Wellen, was davon addieren wir auf?

*S1: Die **Amplitude** wird höher oder niedriger, je nachdem.*

L: Genau und was ist konstruktiv und was destruktiv?

*S1: **Konstruktiv** ist wenn z.B. zwei positive sind und die sich aufaddieren und **destruktiv** wenn eine pos. und eine neg. und entweder auslöschen oder schwächer werden.*
Solang es mehr wird ist es konstruktiv und wenn es weniger wird destruktiv.
Team B
L: Was muss passieren damit sie genau zu Null werden, also auslöschen.
S3: Genau gleich groß.
L: Und was von der Welle muss gleich groß sein bzw. wird zusammengerechnet?
*S3: Die **Amplitude**.*
L: Richtig. Und wie heißen die beiden Phänomene?
*S4: **Konstruktive Interferenz**, wenn es mehr wird und **destruktive Interferenz**, wenn es weniger wird.*
Team C
L: Ja ok und was von der Welle addiert sich?
*S5: Die **Amplituden**.*
L: Ja und wir haben zwei Unterscheidungen gemacht.
*S5: Aja, **konstruktive Interferenz** ist bei einer Vergrößerung und **destruktive Interferenz** bei einer Verkleinerung der Amplitude.*
Team B formulierte die Erklärung zunächst allgemein, nannte jedoch bei der letzten Phrase einen speziellen Fall der destruktiven Interferenz: „[…] *einem positiven und einem negativen werden sie zu Null.“*.
Das ungestörte Durchlaufen der Welle wurde ausschließlich von Team A nicht erwähnt.
Interpretation: Aufgrund der richtigen Antworten zuzüglich der Nachfragen, kann von einer allgemeinen Akzeptanz, dieser Erklärung, ausgegangen werden.
Nachdem Team A und B die Erklärung ohne Amplitude formulierte, wurde beim zweiten Durchgang mit Team C mehr darauf geachtet, den Fachbegriff öfter und präsenter zu integrieren. Jedoch verwendete Team C bei der Wiederholung ebenfalls den Fachbegriff nicht, womit diese Überarbeitung keine Verbesserung bewirkte.

ii) Anwendung Teil III (Interferenz)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe die Funktionsweise von Noise-Canceling-Kopfhörer zu erklären.
Team A konnte das Beispiel trotz Hilfestellungen, seitens des Interviewers, nicht lösen wodurch mit ***ROT*** bewertet wurde.
S2: Wir brauchen für eine positive Amplitude eine negative Amplitude.

L: Und wie groß?
S2: Genau gleich groß.
L: Ok. Also was brauchen wir um ein Geräusch, also eine Schallwelle, zu verstummen?
[… keine Reaktion]
Ich zeichne euch eine Schallwelle auf. Wie könnten wir diese Welle verstummen lassen. Du hast es ja vorher schon richtig gesagt, bei einer positiven Amplitude brauchen wir eine gleich große, aber negative Amplitude.
[… keine Reaktion]
Warum brauchen wir zu jeder positiven Amplitude eine negative Amplitude?
S1: Damit sie zu Null werden.
L: Genau und wie schaffen wir es dann, dass sie in jedem Punkt zu Null werden?
[…] [Lehrkraft zeichnet und erklärt die Lösung]

Team B nannten zunächst alle wichtigen Informationen, konnten sie jedoch nicht zusammensetzen:
[…]
S3: Sie stoßen sie ab. Nein. Die Wellen kommen aufeinander zu und treffen sich.
[…]
S4: Aber bei der Interferenz geht sie ja danach weiter. Sie muss danach weiter gehen.
Mit Hilfestellungen konnten sie das Beispiel lösen, wodurch mit ***GELB*** bewertet wurde:
L: Ja sehr gut, dass ist der Grund die Personen dahinter den Lärm trotzdem hören, weil sie ja auch weiter gehen, aber warum ihr nicht? Ihr habt es schon richtig gesagt, wir brauchen eine zweite Welle dazu.
S3: Sie kopieren die Welle und wenn sie aufeinandertreffen, ist es still und dann geht es wieder weiter und es ist wieder laut.
L: Ja super. Jetzt sind wir schon bei der Zielgeraden. Nach dem Kopieren müssen sie noch eins tun damit sie sich mit der herkommenden Welle auslöscht.
Wie müssen die Amplituden sein damit sie sich auslöschen können?
S3: Gleich groß.
L: Ja, und was noch?
S4: Eins muss Plus sein und eins muss Minus sein, damit es ja 0 ergibt.

Team C hatte den richtigen Lösungsgedanken, es fehlte jedoch an der richtigen physikalischen Formulierung:

S6: Ich glaub das kann man nicht so sagen, aber wenn eine positive Welle von außen kommen versucht es mit den negativen Wellen auszugleichen. Gibt es zwar nicht aber so irgendwie funktioniert das. Also nur als Beispiel eine Welle mit Plus 1 wird mit Minus 1 versucht auszugleichen.

Die richtige Formulierung konnte mit leichter Hilfe, seitens des Interviewers, erreicht werden:

L: […] Wie könnten wir mit einer zweiten Welle schaffen, mit Hilfe der Interferenz, dass an dem einen Punkt sich immer auslöschen?

S6: Der Kopfhörer fängt die Welle ein und im Kopfhörer wird die zweite Welle abgespielt und somit höre ich beide nicht.

Das Beispiel wurde mit der richtig eingezeichneten Welle gelöst und somit mit ***GRÜN*** bewertet:

L: Zurück zum Beispiel, wie schaffen wir das. Diese Welle [L skizziert eine Welle] ist zum Beispiel ein Ton.

[S6 zeichnet die Welle richtig versetzt]

Bei Team A war in Ansätze zu sehen, dass die Interferenz angewendet wurde, jedoch konnten sie trotz der Hilfestellung das Beispiel nicht mit der Erklärung der Interferenz kombinieren und kamen nur auf eine Teillösung. *Interpretation: Von einer leichten Akzeptanz des Phänomens Interferenz kann somit ausgegangen werden, jedoch hätte Team A vermutlich ein leichteres Beispiel für eine bessere Vertiefung benötigt.*

Team B war zunächst sehr auf eine technische Lösung fixiert und konnten es nicht mit der Interferenz erklären. *Interpretation: Die Akzeptanz der Interferenz dieses Team ist, durch das Lösen des Beispiels mittels wenig Hilfen, zu sehen.*

Team C hat als einziges Team gleich zu Beginn die richtige Erklärung, hatte jedoch Schwierigkeiten mit einer fachlichen Ausformulierung. *Interpretation: Aufgrund des hohen Schwierigkeitsgrades des Beispiels, kann hier trotzdem von einer tiefen Akzeptanz ausgegangen werden. Bestätigt wurde es durch das richtige Einzeichnen zum Schluss.*

iii) Abschluss Teil III (Interferenz)

Die Interferenz war merklich schwieriger zu verinnerlichen als die Themen zuvor. Vor allem bei der Wiederholung der Erklärungen hat die Fehlvorstellung der Welle von Beginn verdeutlicht. Bei dieser Erklärung ist das Richtige und Deutliche verwenden des Begriffs Amplitude von großer Bedeutung.

Das Noise-Cancelling-Kopfhörer Beispiel war schwieriger als die Beispiele zuvor. Den Schüler*innen ist es schwer gefallen die Verbindung zur Interferenz zu finden. Das Beispiel kann abgeschwächt werden, indem gleich vorweggenommen wird, dass der Kopfhörer auch Schallwellen aussenden kann. Alternative kann ein leichteres Beispiel zu Beginn gegeben und dieses als Ausbaustufe verwendet werden. In dieser Form ist das Beispiel ausschließlich für leistungsstarke Schüler*innen sinnvoll.
Vor allem die Wiederholung der Erklärung lässt vermuten, dass dieses Thema dieser Altersstufe angemessen und zumutbar ist.
Die Veranschaulichungen durch die Videos wurden von den Schüler*innen als hilfreich bewertet.

5.4.3.4 Erklärung Teil IV (Beugung)

i) Wiederholung Erklärung Teil IV (Beugung)

Die Schüler*innen hatten die Aufgabe, die Erklärung von Teil IV, welche zuvor von der Lehrkraft gegeben wurde, in ihren eigenen Worten zu wiederholen.
Bei dieser Erklärung wurden die Fachbegriffe *Beugung* und *Wellenlänge* verwendet.
Wichtig ist neben dem Phänomen, dass die Bedingungen im Zusammenhang mit der Wellenlänge gesetzt werden.
Die Erklärung wurde in Spalt und Hindernis unterteilt.

Spalt:

Team A und B wurden mit ***GELB*** bewertet. Es wurden die beiden Fachbegriffe genannt, jedoch die Bedingungen für die Entstehung erst durch Nachfragen.

Team A

*S2: Da wird auf beiden Seiten **gebeugt**.*

L: Und wann kann man hier Beugung beobachten?

*S2: Wenn die **Wellenlänge** gleich mit dem Spalt ist.*

Team B

*S3: […] Und bei einem Spalt wird auch auf beiden Seiten die Welle **gebeugt**.*

L: Und wann kann man hier Beugung beobachten?

*S3: Wieder genau die **Wellenlänge.***

Team C wiederholt die Erklärung vollständig mit beiden Fachbegriffen, wodurch mit ***GRÜN*** bewertet wurde.

Team C

L: Ja und beim Spalt?

*S5: Da geht die Welle wie vorher normal durch nur wird hier an beiden Seiten die Welle **gebeugt**, wenn er so groß ist wie die **Wellenlänge**.*

Hindernis:

Team A und B wurde mit ***GELB*** bewertet. Es wurden die Fachbegriffe genannt, jedoch die Bedingungen für die Entstehung erst durch Nachfragen.

Team A

*S2: Ich erkläre es anhand des Beispiels. Das Blauschwarze stellen Wellen da und das Graue der Spalt da. Ein Teil wird **gebeugt** und ein Teil geht gerade weiter so wie er hald vorher auch gegangen ist.*

L: Ok und wieviel wird gebeugt bzw. ab wann wird es nicht mehr gebeugt?

*S1: Wenn die **Wellenlänge** aus ist.*

Team B

S3: Also, wenn eine Funkwelle z.B. auf eine Hauskante kommt, ändert ein Teil der Welle die Richtung. Es kommt also weniger an.

L: Wie viel?

*S3: **Wellenlänge**. Also so viel wie die Wellenlänge ist.*

Team C wiederholt die Erklärung vollständig mit beiden Fachbegriffen, wodurch mit ***GRÜN*** bewertet wurde.

Team C

*S5: Die Wellen, die auf ein Objekt treffen, werden an dem Teil, wo sie normal durchkönnen, gehen sie durch wie sie auch gekommen sind. Je nachdem wie groß die **Wellenlänge** ist, wird dann an der Kante von dem Objekt gebeugt und ändert die Richtung. Das was auf das Objekt direkt trifft kann nicht weiter gehen.*

ii) Anwendung Teil IV (Beugung)

Die Schüler*innen haben die Aufgabe zu erklären, warum man eine Person, welche bei geöffneter Türe hinter einer Mauer steht, gehört, aber nicht gesehen werden kann.

Team A wurde mit ***GELB*** bewertet. Die Frage des Hörens wurde mit der Beugung argumentiert, jedoch die Frage des Sehens konnte nicht mit der Beugung kombiniert werden:

S2: Die Wand ist ja dann wahrscheinlich das Hindernis

S1: Naja, wenn der Schall da so durch geht, also so gerade durchgeht, wenn es gleich groß ist, wird es gebeugt, also so gedreht und geht dann auch auf die Person.

Kommt drauf an wie groß die Schallwellen sind, das haben sie noch nicht gesagt. Wenn sie kleiner sind, gehen sie ja einfach gerade, oder?

[…]

Und warum können wir sie nicht sehen?

S1: Weil die Mauer nicht transparent ist.

Jedoch durch Nachfragen seitens des Interviewers konnte beim Sehen mit dem Phänomen der Beugung argumentiert werden.

L: Aber das wäre bei Schall ja auch.

S1: Ja wir haben keinen Laserblick.

L: Aber warum können wir trotzdem hören?

S1: Weil es sich beugt.

L: Und das Licht?

S1: Das Licht beugt sich nicht.

[…]

S2: Also das Licht kann sich schon beugen, aber kann sich nur sehr sehr sehr gering beugen.

Team B wurde mit ***ROT*** bewertet. Sie konnten das Beispiel selbst mit Unterstützung nicht lösen. Die Bedingungen der Beugung konnten genannt, jedoch nicht die Verbindung zum Beispiel geschaffen werden:

S3: Die Wellen breiten sich aus, gehen gerade und dann drinnen gehen sie wieder auseinander.

L: Warum?

S4: Es muss ja wieder ein Hindernis geben für die Beugung.

L: Ja was ist das hier?

S3: Die Wand.

L: Die Wand. Genau. Aber warum wird der Schall hier gebeugt, aber das Licht nicht? Damit wir etwas hören muss die Schallwelle ins Ohr und damit wir etwas sehen, die Lichtwelle in unser Auge. Warum kommt die Schallwelle ins Ohr, aber die Lichtwelle nicht in unser Auge.

[…]

L: Was ist der Unterschied zwischen einer Lichtwelle und einer Schallwelle, der auch für die Beugung wichtig ist?
[…]

Team C wurde mit ***GRÜN*** bewertet. Es wurde das Beispiel anhand der Beugung selbstständig gelöst:
S5: Also wir können sie hören, weil die Schallwellen wo sie gesprochen wird an der Kante die Richtung ändern. Das Licht was aber kommt, das eintrifft, liegt das daran das das Licht so klein ist, die Welle?
L: Was meinst du mit klein?
S6: Es kann nicht sichtbar gebeugt werden, weil der Spalt zu groß ist, wie das Fenster und bei den Schallwellen kommen gut gebeugt durch.
S5: Ja genau du hast es gut erklärt. Die Wellenlänge ist beim Licht viel kleiner.

Interpretation Dieses Beispiel lässt die Akzeptanz der Schüler*innen vermuten. Team C konnte eigenständig die Lösung des Beispiels mit Hilfe der Beugung erklären, wodurch auf eine Akzeptanz auf hoher fachlicher Ebene geschlossen werden kann. Team A konnte zwar das Hören mittels Beugung argumentieren, jedoch nicht das Sehen. Dies lässt eine weniger tiefe Akzeptanz der Beugung vermuten. Team B konnte das Beispiel selbst durch gezielte Fragen, seitens des Interviewers, nicht lösen. Für ein besseres Verständnis wäre vermutlich ein leichteres Beispiel zielführender gewesen.

iii) Abschluss Teil IV (Beugung)

Ähnlich der Interferenz war das Phänomen Beugung schwerer zu akzeptieren. Team A und B hatte bei der Wiederholung der Erklärung, aber vor allem bei der Anwendung, Probleme, die Wellenlänge mit der Beugung zu verknüpfen. Deshalb wurde nach dem ersten Durchgang mit Team A und B das Konzept überarbeitet und noch deutlicher auf den Zusammenhang mit der Wellenlänge eingegangen. Das Beispiel wurde versucht besser in die Erklärung zu integrieren und die Bedeutung der Wellenlänge stärker hervorzuheben. Diese Probleme wurden durch die Überarbeitung beseitigt, bestätigt durch die gute Wiederholung der Erklärung und dem Lösen der Anwendung von Team C. Die Beugung ist scheinbar der Altersstufe angemessen und zumutbar.
Die Simulation wurde von den Schüler*innen, als hilfreich für das Verständnis angemerkt.

5.4.3.5 Abschluss Wellenlehre

Zusammenfassend ist die Wellenlehre das schwierigste Thema für die Schüler*innen dieser Altersstufe zu verinnerlichen. Trotz Überarbeitung hat Team C dieses Kapitel nicht gänzlich akzeptiert. Die größte Schwierigkeit ist für die Schüler*innen den Begriff Welle zu begreifen. Für ein grobes Verständnis über die wichtigsten Eigenschaften, den Unterscheidungen und den beiden Phänomenen Interferenz sowie Beugung, was als Voraussetzung für die Quantenphysik reicht, ist den Schüler*innen dieser Altersstufe jedoch schon zumutbar, was durch Team C gezeigt wurde. Leistungsschwache Schüler*innen werden bei diesem Kapitel die größten Probleme haben, die nötigen Voraussetzungen zu erlangen.
Die Rückmeldungen der Schüler*innen hat gezeigt wie wichtig Veranschaulichungen mittels Videos oder Simulationen bei diesem Thema sind.

5.5 Expertenvalidierung

Ein Kollege aus dem BG/BRG Stockerau erklärte sich bereit, eine Validierung durchzuführen. Der Lehrkraft wurde die Intervention, der Kodierleitfaden mit Beispielen und die vollständigen Transkripte vorgelegt. Es wurde eine unabhängige Bewertung, seitens dieses Kollegen, der einzelnen Teilen durchgeführt. Anschließend wurden die Ergebnisse verglichen und gemeinsam diskutiert. Hierbei wurden vor allem unterschiedlich Sequenzen, aber auch beiderseits uneindeutige Entscheidungen, diskutiert.
Insgesamt wurden 52 von 63 Situationen ident bewertet. Diese große Übereinkunft lässt anzunehmen, dass eine weitere Expertenvalidierung nicht von Nöten ist. In den nachfolgenden Unterpunkten, unterteilt in die drei Themen, werden diese Bewertungen, in denen wir uns unterschieden, näher beschrieben.

5.5.1 Determinismus

Bei *Aufgabe 2* in *Anwendung an einem konkreten Beispiel* wurde über die Bewertungen von Team A und Team B diskutiert. Es wurde bei beiden Teams zwischen der Bewertung grün und gelb argumentiert. Die Diskussionsgrundlage war einerseits die nötige Hilfestellung durch die Lehrkraft und andererseits das Vermischen der Begriffe *Anfangsbedingungen* und *physikalische Gesetze*. Die nötige Hilfe wurde dadurch entkräftet, da es viele Antwortmöglichkeiten gab. In Anbetracht der fehlenden Trennung zwischen dem, was man unter Anfangsbedingungen und physikalische Gesetze versteht, wurde bei Team A und B jedoch beiderseits auf die Bewertung gelb entschieden.

5.5.2 Wahrscheinlichkeit

Teil I (diskrete Zufallsvariable)

Bei der *Wiederholung der Erklärung* wurde über die Bewertung von Team A diskutiert, genauer gesagt über eine Bewertung mit grün oder mit gelb. Für eine grüne Bewertung sprach, dass in allgemeiner Form mit Fachbegriffen erklärt wurde. Jedoch wurde bei der Formel „Anzahl der günstigen Ergebnisse durch Anzahl der möglichen Ergebnisse“ der Begriff *Anzahl* nicht verwendet. Über die Wichtigkeit dieses Fachbegriffs wurde länger diskutiert und es kam zu keiner klaren Einigung. Es stellt sich die Frage, wie stark sich das Vergessen dieses Begriffs auf die Qualität der Erklärung auswirkt. Es wurden Argumente gebracht, dass es allgemein den Schüler*innen schwerfällt, die Wichtigkeit einzelner Begriffe einzusehen. Zum Beispiel wird eine Variable oft ungenau statt dem „Alter der Mutter“ nur als „Mutter“ definiert. Daher ist es den Schüler*innen nicht klar, was diese Zufallsvariable eigentlich misst. Aufgrund der Veränderung des Fachbegriffs ohne „Anzahl“ wurde, nach langer Diskussion, auf gelb entschieden.

Teil II (stetige Zufallsvariable)

Bei der *Wiederholung der Erklärung* im Unterpunkt *Diagramm* wurde bei allen drei Teams zwischen einer Bewertung mit gelb und rot diskutiert. Die gegebene Erklärung war sehr kurz und beinhaltet wenige wichtige Details der Erklärung. Es wurde über die Auswirkung diskutiert, dass bei keiner Gruppe, seitens des Interviewers, weiter nachgefragt wurde. Somit kann im Nachhinein schwer interpretiert werden, wie weit sie dieses Thema akzeptiert haben. Aufgrund dieser Tatsache wurde die Bewertung auf Vollständigkeit weniger stark berücksichtigt und anschließend beiderseits mit gelb bewertet.

5.5.3 Wellenlehre

Teil I (Eigenschaften)

Bei der *Wiederholung der Erklärung* war die Bewertung bei allen Teams nicht eindeutig. Diskutiert wurde, eine Bewertung mit grün oder mit gelb zu geben. Die Gründe für die Uneindeutigkeit sind einerseits die fehlenden Fachbegriffe bei Team B und C, andererseits wurde die Erklärung anhand eines Beispiels und nicht in allgemeiner Form vorgebracht. Es wurde die Schwierigkeit der Erklärung in allgemeiner Form besprochen. Ebenso war die Erklärung der Lehrkraft stark auf zwei Beispiele aufgebaut. Aus diesen genannten Gründen wurde das Kriterium der allgemeinen Erklärung weniger stark berücksichtigt und der Fo-

kus auf die vollständige Verwendung der Fachbegriffe gelegt. Dadurch wurde beiderseits Team A mit grün sowie Team B und C mit gelb bewertet.

Teil III (Interfenz)

Bei der *Anwendung an einem konkreten Beispiel* gab es bei der Bewertung aller Teams Diskussionsbedarf. Team A und B waren Grenzfälle zwischen der Bewertung gelb und rot, da die Erklärung nicht bzw. nur mit starker Hilfe gegeben werden konnte. Team C brauchte ebenfalls Unterstützung, wodurch debattiert wurde, ob die Bewertung grün oder gelb gegeben werden soll. Es wurde zunächst über die Schwierigkeit und die Lösbarkeit dieser Aufgabe diskutiert. Das Ergebnis war, dass dieses Beispiel für diese Altersstufe vermutlich nicht zumutbar ist, wenn nicht auf die Schallwelle in der Erklärung oder bei der Anwendung eingegangen wird. Daraufhin wurde auch über die allgemeine Verständlichkeit von Schallwellen gesprochen. Nach unserer Meinung sind Schall- und Lichtwellen schwieriger zu verstehen, da sie nicht greifbar im Vergleich zu Wasserwellen sind. Diese Tatsache lässt eine Unterstützung, seitens des Interviewers, nötig erscheinen, welche sich nicht auf die Bewertung auswirken soll. Deshalb wurde Team C, trotz wenig Hilfe, mit grün und Team B, trotz starker Hilfe, mit gelb bewertet. Für die Bewertung von Team A wurde noch speziell eingegangen, jedoch auf die Bewertung rot entschlossen, weil sie die Erklärung trotz Unterstützung nicht geben konnten. Abschließend wurde diskutiert, dass das Noise-Canceling-Beispiel für das Interesse der Schüler*innen optimal wäre, da es in ihrem Lebensbereich ist. Jedoch sollte in der Erklärung nicht nur auf Wasserwellen, sondern auch auf Licht- und Schallwellen eingegangen werden.

6 Diskussion und Fazit

Im anschließenden Kapitel 6 wird die Analyse des Gesprächsmaterials aus den Akzeptanzbefragungen interpretiert. Die Ergebnisse werden zunächst in Kapitel 6.1 hinsichtlich der Altersangemessenheit und anschließend in Kapitel 6.2 auf vorkommende Lernhindernisse gedeutet. Im Kapitel 6.3 sind die Überarbeitungen der Intervention und im anschließenden Kapitel 6.4 die daraus entwickelte Unterrichtssequenz, beschrieben. Abschließend wird im Kapitel 6.5 die Limitation der Masterarbeit diskutiert, ein möglicher Ausblick auf zukünftige Forschung gegeben, sowie einige Schlussbemerkungen.

6.1 Interpretation der Auswertungen zur Intervention hinsichtlich der Altersangemessenheit

Im folgenden Kapitel 6.1 wird auf Basis der Auswertungen aus Kapitel 5.4 zunächst aufbereitet, wie viele Abschnitte jeweils grün, gelb und rot bewertet wurden. Anschließend wird für alle drei Themen jene Teile diskutiert, welche besonders gut akzeptiert wurden. Die Teile, die bei mehr als einem Team gelb oder rot bewertet wurden, werden in Kapitel 6.2 detaillierter behandelt.

6.1.1 Determinismus

Wie in Kapitel 5.3 überblickmäßig dargestellt, gab es beim Determinismus von insgesamt 9 Bewertungen 6 grüne und 3 gelbe Bewertungen. Somit wurden zwei Drittel mit grün und ein Drittel mit gelb bewertet. Allgemein kann hieraus gefolgert werden, dass die Erklärung akzeptiert wurde und dieses Thema der Altersstufe angemessen unterrichtet werden kann. Dies zeigen die 2 grünen von 3 möglichen Bewertungen der *Wiederholung der Erklärung*. Bestätigt wurde es durch die 4 grünen von 6 möglichen Bewertungen bei den *Anwendungen*. Es kann somit auch von einem angemessenen Niveau der *Anwendungen an einem konkreten Beispiel* ausgegangen werden. Verbessert wurde in der Intervention, vor dem Durchgang mit Team C, die Erklärung hinsichtlich der Struktur. Es wurde eine klare Linie zwischen der Erklärung, dem Beispiel und der abschließenden Zusammenfassung gezogen, sowie eine deutliche Trennung zwischen den Anfangsbedingungen und den physikalischen Gesetzen im Beispiel gegeben. Die Bewertung grün bei allen Teilen von Team C bestätigt

die Verbesserung der Intervention, durch die Bearbeitung vor dem Durchgang mit Team C, welches auch im Kapitel 6.2 & 6.3 näher beschrieben wird.

6.1.2 Wahrscheinlichkeit

Wie bereits in Kapitel 5.3 übersichtlich dargestellt, gab es beim Thema *Wahrscheinlichkeit* von insgesamt 27 Bewertungen 19 grüne sowie 8 gelbe Bewertungen. Noch mehr als beim Determinismus wurden demnach ungefähr 70% grün und 30% mit gelb bewertet, was als gute Akzeptanz angesehen werden kann. Dieser Ausgang bestätigt, dass das Thema Wahrscheinlichkeit sehr gut von den Schüler*innen angenommen wurden. Bei den *Anwendungen an einem konkreten Beispiel* wurden von 12 Bewertungen 11 mit grün bewertet, was zeigt, dass die Schüler*innen das erworbene Wissen über die Wahrscheinlichkeit anwenden konnten und es für diese Altersstufe angemessen ist. Vor allem das Unterthema *Zufall* wurde von den Schüler*innen sehr gut akzeptiert, erkennbar durch die 8 grünen von insgesamt 9 Bewertungen. Hier kamen auch die längsten Diskussionen auf, was auf ein hohes Interesse schließen lässt. Auch Teil I, *diskrete Zufallsvariable*, kann durch eine hohe Akzeptanz mit 4 grünen von insgesamt 6 Bewertungen als Erfolg verbucht werden. Vor allem die Experimente in diesem Teil kamen bei den Schüler*innen gut an und halfen, ein Verständnis für dieses Thema zu erwerben. Bei Teil II, *stetige Zufallsvariable*, gab es 7 grüne und 5 gelbe Bewertungen, wodurch auch hier von einer Akzeptanz ausgegangen werden kann. Bei genauer Betrachtung gab es in diesem Teil Probleme bei dem Unterpunkt *Diagramm*, wo es 2 grüne und 4 gelbe Bewertungen gegeben hat, welches im Kapitel 6.2.2 genauer diskutiert wird. Ebenso wie beim Determinismus sind die Bewertungen von Team C, mit 8 grünen und 1 gelben, besonders hervorzuheben. Auch hier zeigte die Überarbeitung der Intervention eine Verbesserung, welche im Kapitel 6.2 & 6.3 näher beschrieben wird.

6.1.3 Wellenlehre

In Kapitel 5.3 ist bereits ersichtlich, dass bei der Wellenlehre von 30 Bewertungen 17 mit grün, 11 mit gelb und 2 mit rot, also 57% grün, 37% gelb und 6% rot bewertet wurden. Die Bewertung zeigt, dass dieses Thema, im Vergleich zu den anderen beiden, nicht so gut akzeptiert und verstanden wurde. Sieht man genauer hin, ist zu erkennen, dass bei Teil I (Eigenschaften) und Teil II (Unterscheidungen) 13 mit grün und 2 mit gelb bewertet wurden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass diese beiden Teile der Wellenlehre

akzeptiert und verstanden wurden. Bei den *Anwendungen an einem konkreten Beispiel* wurden bei diesen Themen alle Teams überall mit grün bewertet. Dies zeigt das tiefe Verständnis, da die Schüler*innen es nicht nur selbstständig wiederholen konnten, sondern auch an einem konkreten Beispiel anwenden. Positiv zu bewerten sind die Animationen, Videos und Bilder bei diesem Thema. Es wurde auch von den meisten Schüler*innen bei der Bewertung hervorgehoben, dass sie eine starke Hilfe für das Verständnis waren. Bei diesem Thema ist es von großer Bedeutung den Schüler*innen eine visuelle Unterstützung zu geben. Jenes Team C, das die verbesserten Erklärungen gelehrt bekommen hat, wurde 8-mal mit grün und 2-mal mit gelb bewertet. Im Vergleich dazu wurde Team A 5-mal mit grün, 4-mal mit gelb und 1-mal mit rot sowie Team B 4-mal mit grün, 5-mal mit gelb und 1-mal mit rot bewertet. Daraus kann einerseits geschlossen werden, dass die überarbeitete Version sehr gut angenommen wurde und dass das ganze Thema der Altersstufe angemessen unterrichtet werden kann. Die Überarbeitung der Intervention und die Probleme bei Team A und B, vor allem im Teil III (Interferenz) und Teil IV (Beugung), werden im Kapitel 6.2 & 6.3 näher beschrieben.

6.2 Interpretation der Auswertungen zur Intervention hinsichtlich möglicher Lernhindernisse

Im folgenden Unterkapitel 6.2 der Diskussion werden die drei Themen auf Basis der Auswertung aus Kapitel 5.4 in Bezug auf vorkommende Schwierigkeiten analysiert und die daraus folgenden Überarbeitungen in der Intervention erläutert. Hierbei wird auf die verschriftlichten Transkripte (Anhang) eingegangen. Es wird auf Teile eingegangen, welche vermehrt mit gelb oder rot beurteilt wurden (vgl. Kapitel 5.3), daher solche, wo die Akzeptanz nicht ausreichend gegeben war. Die Analyse wird zunächst in die Themen *Determinismus, Wahrscheinlichkeit* und *Zufall* untereilt.

6.2.1 Determinismus

Bei diesem Thema wurde durch die Auswertung zwei Schwierigkeiten sichtbar. Sowohl Team A als auch Team B nannte bei der Wiederholung der Erklärung nicht den Begriff Determinismus. Das Phänomen wurde zwar von beiden Teams richtig erklärt, jedoch wurde der Fachbegriff nicht eingebunden, wodurch eine vollständige Akzeptanz nicht bestätigt werden kann. Außerdem zeigten Team A und B bei der Aufgabe 2 bei den *Anwendungen an einem konkreten Beispiel* Probleme, wodurch das auch mit gelb bewertet wurde. Konk-

ret haben beide Teams, bei den genannten Begriffen, nicht zwischen den Anfangsbedingungen und den physikalischen Gesetzen unterschieden. Dass beide Teams die richtigen Begriffe nannten, jedoch nicht differenzierten, zeigt, dass sie zwar das *Phänomen* des Determinismus oberflächlich verstanden hatten, aber nicht die tiefergreifende Unterscheidung zwischen den beiden Begriffen *Anfangsbedingung* und *physikalisches Gesetz*.
Nach dieser Analyse wurde bei der Intervention folgendes verbessert: Zunächst wurde versucht eine klarere Linie zu schaffen. Beim Beispiel wurden die *Anfangsbedingungen* und *physikalischen Gesetze* deutlicher getrennt und *explizit* benannt. Außerdem wurde eine abschließende Definition des Determinismus *eingefügt*, um eine Verknüpfung der Fachbegriffe zu schaffen.

6.2.2 Wahrscheinlichkeit

Bei der Wahrscheinlichkeit wurden durch die Analyse bei Teil I (diskrete Zufallsvariablen) und Teil II (stetige Zufallsvariablen) Probleme erkennbar.
In Teil I wurden bei der Wiederholung zwei Antworten der Schüler*innen mit gelb und eine mit grün bewertet. Der Hauptgrund für die Bewertung und die dadurch offengelegten Lernhindernisse war der fehlende Fachbegriff *Anzahl* bei der Berechnung *Anzahl der Günstigen durch die Anzahl der Möglichen*. Dieser Teil der Intervention dauerte, durch die Experimente, länger, wodurch eine klare Struktur Schüler*innen umso wichtiger ist. Dies beginnt schon mit dem Aufzeigen des Zieles, was bei der ersten Intervention nicht deutlich vorhanden war. Durch die fehlende Struktur hat die Erklärung länger gedauert als nötig, welches wieder Lernhindernisse fördert.
Mit Hilfe dieser Analyse wurde dieser Teil der Intervention überarbeitet. Zu Beginn wurde das Ziel dieses Teils und der Experimente aufgezeigt, indem es klar ausformuliert wurde. Die Experimente wurden mit kurzen einleitenden Worten besser abgegrenzt und auf die mathematischen Erklärungen wurde statt während erst nach Ablauf aller Experimente eingegangen. Somit ist das Ziel der Erklärung, die Berechnung, zusammenfassend am Ende und es kann auf die Fachbegriffe eingegangen werden. Außerdem wurde auch im nächsten Teil die Formel für die Berechnung, *Flächeninhalt der günstigen Fläche durch den Flächeninhalt der gesamten Fläche*, zuerst allgemein und in der Tabelle ausgeschrieben, damit der Unterschied noch klarer zu erkennen ist.
In Teil II (stetige Zufallsvariablen) haben sich bei der Analyse der Transkripte vor allem beim Unterpunkt *Diagramme* Probleme der Schüler*innen bei der Konstruktion gezeigt.

Von insgesamt 6 sind 4 Antworten mit gelb und nur 2 mit grün bewertet worden. Wobei 3 gelbe Bewertungen ein Grenzfall zu einer roten Bewertung, also zu völliger Ablehnung, waren. Bei der Wiederholung wurden bei allen drei Teams nur sehr kurz die Rahmenbedingungen genannt und nicht die Konstruktion des Diagramms erläutert. Dies zeigt, dass die Konstruktion bei der Erklärung, also in der Intervention, zu kurz kam.
Auch dieser Teil der Intervention wurde nach dieser Analyse verbessert. Zuzüglich der bereits oben genannten Änderungen wurde die Erläuterung für die Konstruktion des Diagramms näher ausgeführt und in die einzelnen Schritte unterteilt.

6.2.3 Wellenlehre

Bei der Analyse der Transkripte wurden vor allem bei Teil III (Interferenz) und Teil IV (Beugung) grobe Probleme erkennbar. Team A und B erhielten bei diesen Teilen insgesamt acht gelbe, zwei rote und keine einzige grüne Bewertung. Bei der *Wiederholung der Erklärung* hatten beide Teams überall eine gelbe Bewertung. Dies lässt schon darauf schließen, dass die Schüler*innen die beiden Phänomene im Ansatz verstanden haben, jedoch nicht vollständig akzeptiert haben. Betrachten wir die *Anwendung an einem konkreten Beispiel*, mit zwei gelben und zwei roten Bewertungen, sehen wir, dass die Schüler*innen das eben erworbenen Wissen nicht anwenden können. Aufgrund der gelben Bewertungen der Wiederholung, wird ein tieferes Grundproblem als das Unverständnis der beiden Phänomene, vermutet. Die Schüler*innen haben zwar die Eigenschaften und Unterscheidungen der Welle akzeptiert und verstanden, jedoch den die tiefere Bedeutung der Bezeichnung Welle als Ganzes nicht. Jedes einzelne Wellental bzw. jeder Wellenberg, einer periodischen Welle, wurde als einzelne Welle angesehen. Dies wurde selbst bei Team C bis zum Schluss erkennbar, jedoch konnte es zumindest durch die überarbeitete Intervention geschafft werden, dass die beiden Phänomene Interferenz sowie Beugung angewendet und somit verstanden werden können. Die Erkenntnis, dass die Welle als Ganzes nicht verstanden wurde, zeigt eine Grenze dieser Intervention, welche in Kapitel 6.5 genauer besprochen wird, auf.
Dieser Teil der Intervention wurde beim Thema der Wellenlehre ebenfalls vor dem Durchgang mit Team C bearbeitet. Im Teil I (Eigenschaften) wurden die vier Fachbegriffe *Störung, Energietransport, Materietransport* und *Ende* bei ihren Erklärungen deutlicher hervorgehoben. Außerdem wurde als Abschluss eine Definition der Welle, in Verbindung dieser Fachbegriffe, hinzugefügt. Im Teil III (Interferenz) wurde bei den beiden Fachbe-

griffen *konstruktive* und *destruktive Interferenz* noch eine zusätzliche Erklärung angefügt. Außerdem wurde bei Teil IV (Beugung) das abschließende Beispiel besser in die Erklärung integriert.
Wie in Kapitel 5.5.3 bereits erläutert, sollte in der Erklärung Teil II (Unterscheidung) auf die Schall- und Lichtwelle ebenfalls kurz eingegangen werden. Dies wurde nach dem Durchgang mit Team C beigefügt.

6.3 Überarbeitungen zur Intervention

Im Laufe der Arbeit entwickelten sich drei Versionen der Intervention. Die Erstfassung ist im Kapitel 4.3 zu finden. Nach Ablauf der ersten beiden Durchgänge, mit Team A und B, und anschließender Analyse wurde diese Intervention das erste Mal verbessert wodurch die zweite Version entstand. Beim Thema *Determinismus* wurde die Struktur der Erklärung verbessert, damit der Unterschied zwischen den *Anfangsbedingungen* und den *physikalischen Gesetzen* klarer erkennbar ist und eine abschließende Definition des Determinismus eingefügt. Beim Thema *Wahrscheinlichkeit* wurde im Teil I, *diskrete Zufallsvariable*, ebenfalls die Struktur der Erklärung verbessert. Es wurde das Ziel dieser Erklärung und der Experimente klarer ausformuliert, die Experimente mit kurzen einleitenden Worten besser abgegrenzt, die mathematischen Erklärungen nicht zwischendurch, sondern nach dem letzten Experiment besprochen sowie die Formel für die Berechnung zuerst allgemein und in der Tabelle ausgeschrieben. Im Teil II, *stetige Zufallsvariable*, wurde die Konstruktion des Verteilungsdiagramms näher ausgeführt. Beim dritten Thema, *Wellenlehre*, wurde bei der Erklärung im Teil I, *Eigenschaften*, die vier Eigenschaften deutlicher hervorgehoben, sowie eine abschließende Definition eingefügt. Bei der Erklärung in Teil III, *Interferenz*, wurde für die beiden Fachbegriffe *konstruktive* und *destruktive Interferenz* eine Beschreibung hinzugefügt. Im abschließenden teil IV, *Beugung*, wurde in der Erklärung das abschließende Beispiel besser mit der Erklärung verknüpft.
Mit dieser Überarbeitung wurde ein dritter Durchgang, mit Team C, durchgeführt, analysiert und nach den Kriterien der Kapitel 6.2.1 & 6.2.2 & 6.2.3 erneut verbessert. Beim Thema *Wellenlehre* wurde bei der Erklärung im Teil II, *Unterscheidungen*, eine Erläuterung der Schall,- und Lichtwelle beigefügt. Diese dritte Version kann im Anhang nachgelesen werden.

6.4 Unterrichtssequenz auf Basis der Intervention

Im Anhang befindet sich eine mögliche Unterrichtssequenz der drei Themen auf Basis der didaktischen Analyse (vgl. Kap. 4.1) und der überarbeiteten Intervention (vgl. Kap. 6.3). Sie wurden auf Basis des 5E-Modells (vgl. Bybee et al., 2006) erstellt. Determinismus und Wahrscheinlichkeit sind miteinander verknüpft, wo hingegen die Wellenlehre als eigenständiger Block funktioniert. Für alle Themen wird empfohlen, insgesamt vier Stunden einzuplanen. Beim 5E-Modell wird mit einer kurzen Engage-Phase begonnen, mit dem Ziel die Schüler*innen für das Thema zu motivieren und an Vorerfahrungen anknüpfen. Bei der anschließenden Explore-Phase soll den Schüler*innen das Thema experimentell nähergebracht werden. In der Explain-Phase soll der fachliche Input erfolgen und in der Elaborate-Phase das eben Erlernte vertieft werden. In einer abschließenden Evaluate-Phase werden die gesetzten Lernziele überprüft. Zu jedem Thema wurden nochmals die Lernziele separat angefügt und in einer Tabelle die Phase, Lehrer*innenaktivität sowie die Schüler*innenaktivität beschrieben.

6.5 Limitationen, Ausblick und Schlussbemerkungen zur Masterarbeit

In Bezug auf die Entwicklung, Erprobung und Auswertung der Intervention sind folgende Einschränkungen zu berücksichtigen:

- Es wurde bei allen drei Themen, Determinismus, Wahrscheinlichkeit und Wellenlehre, nur die Bereiche, welche für das Verständnis der Quantenphysik notwendig sind, verwendet. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Schüler*innen diese Themenbereiche vollständig beherrschen. Vor allem bei der Wellenlehre wurde festgestellt, dass sie trotz der wichtigsten Eigenschaften und Phänomene kein tiefes Verständnis für eine Welle aufgebaut haben. Für einen qualitativen Zugang zur Quantenphysik sollte diese Tatsache kein Hindernis sein, jedoch bei den Erklärungen beachtet werden.
- Diese Intervention ist dafür ausgelegt, dass Schüler*innen in der Unterstufe (8. Schulstufe) ein qualitatives Verständnis der Quantenphysik aufbauen können. Es kann trotzdem nicht davon ausgegangen werden, dass die Schüler*innen nach dieser Intervention die gleichen Vorrausetzungen wie Schüler*innen der 11. Schulstufe besitzen. Somit kann nicht in gleicher Intensität die Quantenphysik unterrichtet werden.

- Für alle drei Themen wurde nach der Analyse, aus der Intervention heraus (Anhang), ein möglicher Unterrichtsentwurf entwickelt. Dieser Unterrichtsentwurf wurde nicht an einer Klasse erprobt bzw. evaluiert und kann daher nur als Empfehlung gesehen werden.
- Die Intervention wurde an Schüler*innen mit durchschnittlichem bis hohem Interesse sowie Leistungsniveau, in naturwissenschaftlichen Fächern, durchgeführt. Im Regelunterricht, mit einer inhomogenen Klasse, stellt sich die Frage, wie weit es für durchschnittliche Schüler*innen im Bereich der Naturwissenschaft zu verstehen ist.
- Die neun durchgeführten Akzeptanzbefragungen stellen Einzelergebnisse dar. Die Erkenntnisse, in Bezug auf dem physikalischen Verständnis der einzelnen Schüler*innen, können nicht auf größere Schüler*innengruppen verallgemeinert werden. Es sind aufgrund der kleinen Stichprobenanzahl nur möglich vorkommende Lernprozesse.
- Der Verfasser der Intervention ist auch Interviewer sowie Auswerter der Ergebnisse. Trotz Expertenvalidierung muss bei der Analyse und Interpretation der Ergebnisse diese Tatsache berücksichtigt werden. Es wurde möglichweise bei der Analyse, durch persönliche Eindrücke während des Gesprächs, nicht neutral bewertet.

In Hinblick auf zukünftige Forschungen wäre es sinnvoll, den Unterrichtsentwurf an einer großen Anzahl an Gruppen zu testen und analysieren. Einerseits um den Unterrichtsentwurf an sich zu optimieren, aber andererseits die Aussagekraft der gewonnenen Daten zu verstärken. Weiterführend zu diesem Unterrichtsentwurf der Vorbereitung bietet sich eine anschließende Evaluierung eines qualitativen Unterrichtskonzepts der Quantenphysik für die Unterstufe, wie zum Beispiel das Milq-Konzept, an. Die Auswertung über das Verständnis eines solchen Unterrichtskonzeptes wäre ebenfalls eine Evaluierung dieser Arbeit.
Für eine detailliertere Überprüfung der Erkenntnisgewinnung wäre eine Ergänzung durch die Erhebung des Vorwissens und dem Vergleich einer erneuten Befragung als Abschluss möglich.
Durch die Erkenntnis, dass es starke Probleme beim Verständnis des Themas Wellen gab, wäre eine Folgeuntersuchung bezüglich der Probleme und der Hintergründe interessant.

Im Nachhinein, wäre ein Probedurchgang der Intervention, zum Beispiel mit eigenen Schüler*innen dieser Altersstufe, ohne Aufnahme und Transkription gut gewesen. Einer-

seits um die eigene Anspannung zu lösen, Sicherheit zu bekommen, aber vor allem, um mögliche unvorteilhafte Formulierungen zu vermeiden. Außerdem ist es schwer sich auf alles Vorzubereiten, wie z.B. ab welchem Punkt ich fachlich eingreife. Hier kann Routine durch Probedurchgänge Abhilfe schaffen.

Nach meiner persönlichen Einschätzung ist es möglich und sinnvoll, bei 14-jährigen Schüler*innen, ein qualitatives Unterrichtskonzept der Quantenphysik zu unterrichten. Auch wenn bei einigen Themen nicht auf eine tiefe mathematische Erklärung zurückgegriffen werden kann, können ihre grundlegenden Beobachtungen, Theorien, Modelle und Konzepte, mit Hilfe eines angepassten Unterrichtskonzept, schon in diesem Alter übermittelt werden. Die Tatsache, dass das Verständnis einer Welle dieser Altersstufe nicht zumutbar scheint, stellt für mich kein Hindernis dar, da meiner Meinung nach, eine oberflächliche Akzeptanz ausreicht.

7 Literaturverzeichnis

Bitzenbauer, P., & Meyn, J. (2019). Quantenphysik greifbar unterrichten. *plusLUCIS - Gemischter Satz 2019*, *3*, 17–21.

Björn Bär. (2011). 21 Interferenz von Wellen 1—Telekolleg. Abgerufen 9. August 2021, von https://www.youtube.com/watch?v=ICrCcOj4lKg

Bower, G. H., & Hilgard, E. R. (1983). *Theorien des Lernens* (Bd. 1). Stuttgart.

Bundesministerum. (2021). RIS - Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen—Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 06.06.2021. Abgerufen 6. Juni 2021, von https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568

butsaya. (2021). Silhouette Bogenschießen. Abgerufen 12. August 2021, von https://de.123rf.com/photo_29156597_silhouette-bogenschie%C3%9Fen-schie%C3%9Ft-einen-bogen-auf-das-ziel-im-sonnenuntergang-himmel-und-wolke.html

Bybee, R., Tayler, J., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*.

Daniel B. (2012). LAOLA WELLE, DFB Länderspiel in Leipzig 31.05.2012.MOV. Abgerufen 9. August 2021, von https://www.youtube.com/watch?v=_adcgt6W-RI

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). *Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik*.

Duit, R., & Mikelskis-Seifert, S. (2010). PIKO-BRIEF NR. 5 Kontextorientierter Physikunterricht. In R. Duit, *Schülervorstellungen und Lernen von Physik*.

Eckart, G. (2016). Elektromagnetische Strahlung – was sie enthüllt—ZDFmediathek. Abgerufen 12. August 2021, von https://www.zdf.de/dokumentation/terra-x/kosmische-geheimnisse-ans-licht-geholt-100.html

Falstad, P. (2014). Ripple Tank Simulation. Abgerufen 9. August 2021, von https://www.falstad.com/ripple/

Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik, 41*(6), 867–888.

Gieseke, W., & Arnold, R. (Hrsg.). (2012). *Reflexionen zur Selbstbildung: Festschrift für Rolf Arnold*. Bielefeld: Bertelsmann.

Häußler, P., Bünder, W., Duit, R., Gräber, W., & Mayer, J. (1998a). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung—Perspektiven für die Unterrichtspraxis.* IPN Kiel.

Häußler, P., Bünder, W., Duit, R., Gräber, W., & Mayer, J. (1998b). *Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. IPN Kiel.

Hecht, H., & Desnizza, W. (2012). Behaviorismus. In H. Hecht & W. Desnizza (Hrsg.), *Psychologie als empirische Wissenschaft: Essentielle wissenschaftstheoretische und historische Grundlagen* (S. 125–133). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2947-6_10

Hoffmann, L., Häußler, P., & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. IPN Kiel.

IQuma. (2020). Wasserwellen. Abgerufen 9. August 2021, von https://www.youtube.com/watch?v=VFO3Rj1wEtQ&t=9s

Jung, W. (1991). Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer, *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*.

Kircher, E., & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. Springer.

Klafki, W. (1963). *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Beltz.

Lehmann, J. (2007). UNO - brettspiele-report. Abgerufen 12. August 2021, von https://www.brettspiele-report.de/uno/

Leitner, E., & Finckh, U. (2011a). Ausbreitung einer Wasserwelle | LEIFIphysik. Abgerufen 12. August 2021, von https://www.leifiphysik.de/mechanik/mechanische-wellen/aufgabe/ausbreitung-einer-wasserwelle

Leitner, E., & Finckh, U. (2011b). Wellentypen—Details einer Wasserwelle (Animation). Abgerufen 15. August 2021, von LEIFIphysik website: https://www.leifiphysik.de/mechanik/mechanische-wellen/downloads/wellentypen-details-einer-wasserwelle-animation

Müller, R. (2005a). *Physikdidaktik Endfassung—3.2 Kontextorientierung und Alltagsbezug*. Abgerufen von https://www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/InfoLehramt/FD17_QhxBz/RainerMueller.pdf

Müller, R. (2005b). *Qualitative Quantenphysik. Eine Handreichung für die Sekundarstufe I*. IPN Kiel.

Olympics. (2017). Rio Replay: Women's Individual Archery Final. Abgerufen 9. August 2021, von https://www.youtube.com/watch?v=d1fzS993cTk

Rabe, T. (2010). PIKO-BRIEF NR. 2 Affektive Aspekte und Lernen von Physik. In R. Duit, *Schülervorstellungen und Lernen von Physik*.

Reinmann, G. (2011). Didaktisches Design—Von der Lerntheorie zur Gestaltungsstrategie. *Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien*, *0*(0). Abgerufen von https://l3t.tugraz.at/index.php/LehrbuchEbner10/article/view/18

Reuter, S. (2015). *Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus. Lehr- und Lerntheorien*. diplom.de.

Riemeier, T. (2007). Moderator Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt, *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*.

Schaller, F. (2012). *Eine relationale Perspektive auf Lernen: Ontologische Hintergrundsannahmen in lerntheoretischen Konzeptualis*

ierungen des Menschen und von Sozialität. Verlag Barbara Budrich.

Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2

Schorn, B. (2015). Milq10. Abgerufen 31. August 2021, von https://www.milq.info/sample-page/milq10/

Schorn, B., & Wiesner, H. (2008). Die Quantenphysik in der Sekundarstufe I. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, *56*(6).

Widodo, A., & Duit, R. (2004). *Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts*. 23.

Wiehl, J. (2017). *Die Autopoietischen Systeme und die Definition des Bildungsbegriffes*. München: GRIN Verlag.

Wiesner, H., & Schorn, B. (2015). Das Münchener Internetprojekt zur Lehrer-fort-bildung (milq) in der 10. Jahrgangsstufe. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, *64*(4).

Wiesner, H., & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit & Rhöneck, *Lernen in den Naturwissenschaften*. IPN Kiel.

Zünd, A. (2000). Lärmorama—Akustik. Abgerufen 12. August 2021, von http://www.laermorama.ch/m1_akustik/schall_w.html

8 Anhang

8.1 Überarbeitete Intervention (3. Fassung)

I) Determinismus

Erklärung

„Wir sehen uns zu Beginn kurz ein Video (vgl. Olympics, 2017) vom Finale der Frauen im Bogenschießen 2016 in Rio (03:00-04:30) an. Es ist doch erstaunlich, wie gut die Schützinnen bei so gut wie jedem Schuss treffen. Manche sprechen hier vielleicht von Glück, aber mit ein wenig Physik lässt sich das folgendermaßen erklären.

Sobald wir bestimmte *Anfangsbedingungen* und alle *wirkenden Kräfte* kennen, können wir *zukünftige Ausgänge* vorherbestimmen genauer gesagt berechnen.

Ich möchte es dir an einem konkreten Beispiel, einer Zugfahrt, zeigen. Mit den Anfangsbedingungen und allen wirkenden Kräften, die wir uns gleich anschauen werden, können wir vorhersagen, wann der Zug an welchem Ort, also zukünftige Ausgänge, bestimmen.

Morgen um 12:30 Uhr soll der „Railjet“ vom Wien Hauptbahnhof mit einem Zwischenstopp in Wien Meidling nach St. Pölten fahren.

Die *Anfangsbedingungen* hier sind folgende:

Strecke HBF-Meidling: 3 km Strecke mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 35 km/h. Die Aufenthaltsdauer beträgt 2 min.

Strecke Meidling-St. Pölten: 55,6 km Strecke mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 145 km/h

Nun können wir uns überlegen welche(s) *physikalischen Gesetz*(e) wirken, bzw. bei dieser Rechnung relevant sind:

Da der Beschleunigungsvorgang beim Start bzw. Ziel so gering, im Vergleich zur restlichen Fahrzeit, ist reicht das Bewegungsgesetz für gleichförmige Bewegung:

$t = \frac{s}{v}$

Für den Versuchsausgang setzen wir nun die Anfangsbedingungen in die Gleichung ein und bekommen 5 min 10 s nach Meidling, 2 Minuten Aufenthalt und 23 min nach St. Pölten heraus. Somit braucht der Railjet von Wien HBF 30 min und 10 s nach St. Pölten.

Wir haben also einen *zukünftigen Ausgang*, wann wird der Zug in St. Pölten sein, berechnet. Natürlich können unvorhersehbare Ereignisse, wie ein Autounfall auf dem Gleis, pas-

sieren welche die Dauer verändern, aber ohne Zwischenfall stimmen die Ankunftszeiten im Sekundenbereich genau. Dieses Phänomen der Bestimmtheit, die Berechnung zukünftiger Ausgänge, nennen wir Determinismus.
Der Determinismus sagt uns z.B. wann welcher Zug an welchem Bahnhof ankommen bzw. abfahren wird, wann wir mit dem Auto wegfahren oder von der Wohnung weggehen müssen um pünktlich zu sein.

Bewertung
„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung
„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel
Arbeitsblatt *Determinismus* (S. 110) durchführen lassen.

Ist es möglich, immer zu treffen?

Aufgabe 1:

Denk nochmal an das Beispiel der Profibogenschützinnen.

Überlege dir, wie sie den Pfeil abschießen müssen damit er sicher in die 10 geht, wenn sie in einer Halle trainieren, also ohne Berücksichtigung des Windes?

Geschwindigkeit und Abschusswinkel

Aufgabe 2:

Abbildung 22: Bild vom Bogenschießen (vgl. butsaya, 2021)

Nun beobachten wir den Vorgang aus der Ferne (Abbildung 22). Überlege dir zuerst welche *Anfangsbedingungen* und anschließend welche *physikalischen Gesetze* für die oben genannten Abschusskriterien (für alle möglichen Situationen) für den Versuchsausgang nötig sind damit immer in die 10 getroffen wird?

Distanz, Höhe des Ziels, Masse/Form des Pfeils, Anfangsgeschwindigkeit, Gewichtskraft, Trägheitskraft, Wind

Versuche einen Merksatz zu formulieren!

Merke:

Wenn die Anfangsbedingungen eines Körpers (Ort und Geschwindigkeit) zu einem anfänglichen Zeitpunkt genau genug bekannt sind und man alle wirkenden Kräfte kennt, kann man die Bahn des Körpers, also den Versuchsausgang mit den Gesetzen der klassischen Physik, im Prinzip für alle Zeiten vorausberechnen. Diese Auffassung wird Determinismus genannt.

II) Wahrscheinlichkeit

Erklärung Teil I (mit diskreter Zufallsvariable)

„Beim Würfeln, was glaubst du, welche Zahl ist am „schwersten“ zu würfeln? Schauen wir es uns an, nimm den Würfel, würfle bis ich unterbreche und sag mir jedes Mal was du gewürfelt hast, ich schreibe mit. [In einer vorbereiteten Excel-Datei wird jede gewürfelte Zahl dokumentiert. Die Anzahl der Würfe, jeder Zahl, ist durch eine automatische Zählfunktion in absoluter und prozentueller Form dargestellt. …] Wir könnten das natürlich länger fortführen, aber aus zeitlichen Gründen reicht das. Hier siehst du die Auswertung deiner Würfe, sie sind doch noch unterschiedlich. Ich habe den Versuch vorher auch durchgeführt (und mir mehr Zeit genommen) und nach 232 Würfen siehst du folgenden Ausgang. Wir sehen, dass alle Zahlen ungefähr gleich oft gewürfelt wurden, also mathematisch ausgedrückt erwarten wir als Anzahl der Würfe jeder Zahl, 1/6 von der Gesamtzahl an Würfen. Je länger wir das Experiment durchführen würden umso genauer wird der Ausgang. Auf die Frage zu Beginn zurück, jede Zahl ist also gleich „schwer“ also gleich (un)wahrscheinlich zu würfeln.

Ein weiteres Experiment: Ein Behälter enthält 5 Kugeln, wobei eine davon andersfärbig ist und ein weiterer Behälter enthält 2 Kugeln wobei wieder eine davon andersfärbig ist. Das *Ziel* ist, ohne hinzusehen die andersfärbige Kugel zu erwischen und die *Frage* dazu „Ist es bei einem Behälter wahrscheinlicher/unwahrscheinlicher die andersfärbige Kugel zu erwischen?“

Ich habe dieses Experiment schon durchgeführt und gefilmt, welches wir uns anschauen werden. […]

Versuche nun, für beide Behälter die Anzahl der gezogenen andersfärbigen *Kugel in einem Verhältnis zu der Anzahl an Gesamtzügen* auszudrücken, wie beim vorigen Beispiel mit dem Würfel. […]

Bei den Brüchen aus beiden Experimenten erkennst du vielleicht schon einen Zusammenhang. Nach genügend Durchgängen bekommen wir immer *die Anzahl* der gewünschten Möglichkeiten durch *die Anzahl* aller Möglichkeiten. Man spricht hier oft kurz, dass sich die Wahrscheinlichkeit aus den *Günstigen (gewünschten Möglichkeiten) durch die Möglichen (alle Möglichkeiten)* ergibt.

Wenn wir diese Brüche als relative Häufigkeiten betrachten haben wir also laut dem Ausgang eine 20 bzw. 50% Chance die Kugel zu erwischen. Anders ausgedrückt die *Wahrscheinlichkeit*, dass wir die andersfärbige Kugel ziehen, liegt bei 20 bzw. 50%.

Die Wahrscheinlichkeit ist also eine Vorhersage/Schätzung, die auf der Erfahrung in der Vergangenheit beruht. Also wir versuchen mit einer kleinen Strichprobe (also der Vergangenheit) die Ergebnisse in der Gesamtheit (also der Zukunft) „vorherzusagen".

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Hier siehst du ein Bild (Abbildung 23) von einigen Uno Karten. Wie wahrscheinlich ist es von diesen Karten eine blaue Karte, Richtungswechsel, blaue Richtungswechsel, +4 zu ziehen?"

Abbildung 23: Auflistung von Uno Karten (vgl. Lehmann, 2007)

Erklärung Teil II (mit stetiger Zufallsvariable)

„Gehen wir zur Bogenschützin und dem Schießen auf eine Zielscheibe zurück. Hier haben wir leider ein Problem, die Wahrscheinlichkeit zu berechnen da wir nicht wie beim Würfeln 6 Möglichkeiten haben (1 bis 6, also eine endliche Anzahl) sondern so extrem viele, dass es schwierig zum Zählen wird, da sie ja auf jeden einzelnen noch so kleinen Punkt auf der Zielscheibe treffen könnte.

Da wir hier mit der Formel von oben nicht weiterkommen, müssen wir sie anpassen.

Dafür müssen wir zu Beginn die Möglichkeiten in Bereiche unterteilen. Am Beispiel der Zielscheibe nehmen wir die vorhandenen Ringe zum Unterteilen. Somit haben wir, durch die Unterteilung, aus einer sehr hohen Anzahl an Möglichkeiten, eine überschaubare Anzahl an Möglichkeiten, also die einzelnen Bereiche, geschaffen.

Nun zur Formel. Hier die Anzahl der gewünschten Bereiche durch die Anzahl der möglichen Bereiche zu rechnen ergibt wenig Sinn, weil dann kein Unterschied wäre, zwischen

unterschiedlich großen Flächen. Ein einzelner Bereich wäre somit genauso wahrscheinlich zu treffen, wie ein einzelner Bereich der 10-mal so groß ist. Deshalb setzen wir hier statt der Anzahl die Größe der Fläche in Verhältnis.
Die Wahrscheinlichkeit ist also, die *Größe der gewünschten Fläche(n)* durch die *Größe der gesamten Fläche*.
Möchten wir also die Wahrscheinlichkeit zu treffen für den innersten Kreis berechnen, müssen wir die Fläche des inneren Kreises durch die Gesamtfläche rechnen. Je kleiner die Fläche desto kleiner die Wahrscheinlichkeit zum Treffen. Ist auch nahelegend, da kleinere Flächen schwerer zu treffen sind als größere. Die Größe der Fläche sagt also die Wahrscheinlichkeit voraus.
Auf folgendem Bild (Abbildung 2) siehst du die Größen der Flächen von der Zielscheibe und die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten. […]

Die Verteilung dieser Flächen und ihre Wahrscheinlichkeiten können wir in einem Histogramm darstellen.
Zu Beginn benötigen wir dazu einen Ursprung und zeichnen eine x-Achse ein. Diese beschreibt die Größe der Radien.
Anschließend bewegen wir uns immer weiter weg von dem gewählten Ursprung. Für jeden Bereich benötigen wir die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten. Diese Wahrscheinlichkeiten werden in Abhängigkeit der Radien als Höhe (y-Achse) aufgetragen. Die Daten können wir in ein Diagramm übertragen. Die Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Entfernung zum gewählten Ursprung. So würde das bei der Zielscheibe aussehen (Abbildung 24). […]
Diese Verteilung wird auch Verteilungsfunktion genannt, also die Wahrscheinlichkeit für bestimmte Bereiche.

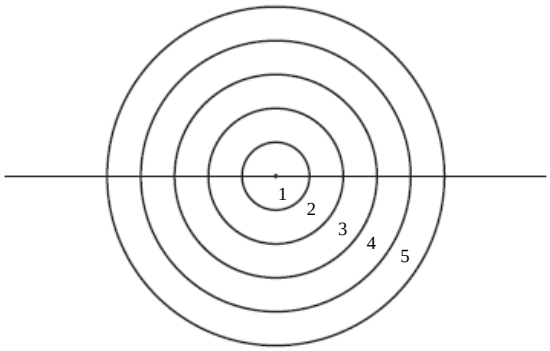

Abbildung 25: Skizze einer Zielscheibe (eigene Darstellung)

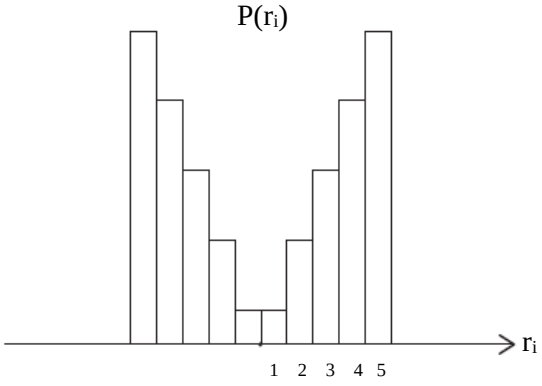

Abbildung 24: Dazugehörige Verteilungsfunktion (Zielscheibe), waagrechte Achse: Radien, senkrechte Achse: dazugehörige Wahrscheinlichkeiten (eigene Darstellung)

Nummer	Radius r_i in cm	Fläche A_i in cm^2	Wahrscheinlichkeit $P(r_i)$
Gesamt	125	$r_5{}^2 \cdot \pi = 15625 \cdot \pi$	$\frac{15625 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 1 \triangleq 100\%$
1	25	$r_1{}^2 \cdot \pi = 625 \cdot \pi$	$\frac{625 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}04 \triangleq 4\%$
2	50	$(r_2{}^2 - r_1{}^2) \cdot \pi = 1875 \cdot \pi$	$\frac{1875 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}12 \triangleq 12\%$
3	75	$(r_3{}^2 - r_2{}^2) \cdot \pi = 3125 \cdot \pi$	$\frac{3125 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}2 \triangleq 20\%$
4	100	$(r_4{}^2 - r_3{}^2) \cdot \pi = 4375 \cdot \pi$	$\frac{4375 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}28 \triangleq 28\%$
5	125	$(r_5{}^2 - r_4{}^2) \cdot \pi = 5625 \cdot \pi$	$\frac{5625 \cdot \pi}{15625 \cdot \pi} = 0{,}36 \triangleq 36\%$

Tabelle 9: Übersicht von den Flächen der Zielscheibe mit dazugehörigem Flächeninhalt und Wahrscheinlichkeit

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Hier (Abbildung 27) siehst du eine Zeichnung und (Abbildung 26) ein Bild eines Kanaldeckels. Du möchtest deinen Kaugummi in den Kanal werfen und bevor du schießt wäre es interessant wie wahrscheinlich es ist, dass du in die verschiedenen Löcher triffst. Versuche zu beschreiben wie es zu berechnen geht! […]

Wie würde die dazugehörige Verteilung aussehen?"

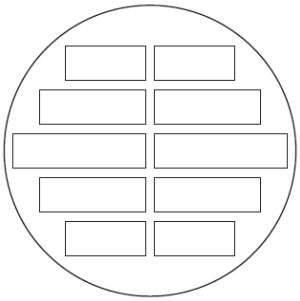

Abbildung 26: Skizze eines Kanaldeckels mit Gitter (eigene Darstellung)

Abbildung 27: Bild eines Kanaldeckels mit Gitter (vgl. Zmelty, 2016)

Erklärung Teil III (Zufall)

„Was bedeutet für dich Zufall? […] Die Physik und vor allem die Quantenphysik definiert Zufall anders, nicht nur durch den Mangel an Informationen. Er wird in den sogenannten subjektiven und objektiven Zufall unterschieden.

1) subjektive Zufall

Der subjektive Zufall ist zum Beispiel das Würfeln, das wir schon besprochen haben. Wir können uns den wahrscheinlichen Ausgang berechnen, aber letztendlich wissen wir nicht welche Zahl gewürfelt wird. Hier möchte ich auf den Determinismus von ganz zu Beginn zurückgreifen. Kennen wir alle Anfangsbedingungen und wirkenden Kräfte könnten wir den Ausgang vorhersagen. Gleiches gilt für den Würfel: Abwurfwinkel, -geschwindigkeit, Masse, Oberfläche wo er aufkommt, … wüssten wir alle diese Bedingungen wäre es kein Zufall mehr, sondern wir könnten den Wurf „steuern“. In der Praxis gelingt eine solche Vorhersage jedoch nicht wirklich, da wir im Allgemeinen nicht alle für das Experiment beeinflussenden Parameter genau genug kennen. Man spricht hier von einem subjektiven Zufall, da es nur subjektiv unbekannt ist, was genau abläuft. Objektiv gesehen gibt es jedoch für das Ergebnis eines jeden Wurfes einen Grund, auch wenn wir diesen nicht kennen bzw. erkennen.

2) Der objektive Zufall

Beim objektiven Zufall ist das noch ein bisschen anders. Hier können wir das Ergebnis eines Experiments, selbst bei Kenntnis aller Bedingungen, im Allgemeinen nicht exakt vorhersagen. Ein gutes Beispiel für echten Zufall in der Physik ist der radioaktive Zerfall. Stellen wir uns etwa ein einziges radioaktives Atom vor. Von diesem Atom wissen wir, dass es irgendwann „zerfallen/zerplatzen“ wird, und wir können die Wahrscheinlichkeit angeben, mit der es beispielsweise innerhalb der nächsten zehn Minuten zerfällt. Der konkrete Zerfall wird jedoch zu einem bestimmten Zeitpunkt auftreten, und wir haben keinerlei Möglichkeit, diesen Zeitpunkt vorauszusagen. Die Quantenphysik sagt, dass es für den

Zeitpunkt des einzelnen Zerfalls keinerlei Grund gibt, nicht einmal einen verborgenen. Der Zufall tritt aber nicht deshalb auf, weil noch Eigenschaften des Kerns unbekannt wären, sondern weil kein objektiver Grund vorhanden ist, der zum Zufall führt. Also keine Ursachen existieren. Dieser Zufall ist eine grundlegende Natureigenschaft. Die Natur lässt sich nicht in die Karten schauen."

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Beschreibe die Unterschiede folgender beiden Beispiele von Zufällen: Der Münzwurf und die Evolution der Lebewesen."

III) Wellenlehre

Erklärung Teil I (Eigenschaften)

„Kennst du die Laola-Welle? Weißt du warum sie Welle genannt wird? Mit diesem Video (vgl. Daniel B., 2012) kann ich dir zeigen, warum sie als Welle bezeichnet werden kann, was also eine Welle ausmacht. Für den Vergleich zur Wasserwelle kannst du dir vorstellen, dass jede Person ein Wassertropfen darstellt. Wenn alle sitzen, haben wir eine ruhige Oberfläche.

1) Die Störung

Plötzlich verspüren einige den drang die Welle zu „starten" und stehen auf. Die Personen machen es natürlich, weil sie es wollen, im Wasser kannst du dir das so vorstellen, dass z.B. ein Stein ins Wasser fällt. Damit die Welle erstmal entstehen kann muss also „irgendetwas" passieren, was die Oberfläche aus der „Ruhe" bringt. Dies wird als *Störung* bezeichnet. Störungen sind z.B. das Auslenken eines Pendels oder das ruckartige Verschieben von Kontinentalplatten (wodurch eine Erdbebenwelle entsteht).

2) Der Energietransport

Nun, nach der Entstehung der Störung ist es bei einer Welle aber auch noch wichtig, dass sie sich weiter ausbreitet. Die Störung wird immer etwas zeitversetzt an das nächste Teilchen weitergegeben, wodurch sie sich weiter fortsetzen kann. Eine Person beginnt aufzustehen und wir haben dadurch eine potentielle Energie. Diese kann man sich wie einen Schwung vorstellen, der weitergegeben werden kann. Die Energie (der Bewegung) wird an die nebensitzende Person „übertragen" damit auch diese aufstehen und selbst wieder hinsetzen kann.

Genauso im Wasser gibt jeder einzelne Wassertropfen die Energie, welche zu Beginn von der Störung übertragen wurde, jeden benachbarten Tropfen weiter. Bekommt ein Tropfen die Energie, geht er nach oben und sobald er sie wieder abgibt, geht er wieder nach unten, in die Ruhelage zurück.

3) Ende der Störung

Nur wann endet die Welle? Im Fall der Laola-Welle geht es durch das ganze Stadion im Kreis, bis es den Leuten zu langweilig wird und damit aufhören. Damit ist die Störung versandet und somit die Laola-Welle vorbei. Im Wasser kann sich die Störung auch weiter ausbreiten, bis sie z.B. an den Wasserrand stößt und die Energie nicht weiter übertragen werden kann. Damit ist auch hier die Störung versandet und die Wasserwelle nicht mehr vorhanden.

4) Kein Materietransport

Ein Detail vom Video hat noch die letzte wichtige Eigenschaft sehr schön gezeigt (00:20-00:30). Wenn du auf eine einzelne Person siehst, wirst du erkennen, dass jede Person vorher bzw. nachher genau am selben Platz sitzt, somit sich nur nach oben und anschließend unten bewegt hat. Bei der Wasserwelle bedeutet das, dass sich jeder Wassertropfen nur nach oben und unten bewegt und somit sich vorher auf der gleichen Position wie vorher befindet.

Es wird also zwar Energie transportiert aber keine *Materie*.

Abschließend noch die Definition einer Welle:

Eine Welle ist eine sich räumlich ausbreitende periodische oder einmalige Veränderung (Störung) des Gleichgewichtszustandes.

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

Nun zeig ich dir ein Video (vgl. IQuma, 2020). Beschreibe und zeige an diesem Video die vorher besprochenen Punkte: Störung, Energietransport, Ende und Materietransport“

Erklärung Teil II (Unterscheidungen)

„Natürlich sind nicht alle Wellen gleich, aber irgendwie müssen wir sie ja unterscheiden. Hier siehst du eine Skizze von zwei verschiedenen Wellen (z.B. könnten Wasserwellen sein) (Abbildung 28) und an diesen zeige ich dir zwei wichtige Begriffe mit der du Wellen unterscheiden kannst. Verschiedene Wellen haben sehr viele Gemeinsamkeiten, aber auf dem Bild sieht man sehr gut die unterschiedliche Höhe der Wellen. Dies wird als Amplitude bezeichnet. Sie ist die maximale Auslenkung aus der Ruhelage, also der Abstand zum höchsten (Wellenberg) bzw. tiefsten Punkt (Wellental). [Lehrkraft zeichnet ein] Ist diese Auslenkung nach oben hat die Amplitude ein positives Vorzeichen und ein negatives, wenn sie nach unten ausgelenkt ist.

Der zweite Begriff zum Unterscheiden ist der kleinste Abstand zwischen zwei positiven/negative Amplituden also benachbarte „Gipfeln“. Dieser Begriff wird Wellenlänge genannt. Mit diesem Begriff können Lichtwellen in Sichtbares Licht (800 bis 400 nm also im Bereich 10^{-6} bis 10^{-7} m), Röntgenstrahlung (10^{-7} bis 10^{-12} m) Infrarotstrahlung (10^{-4} m) und viele mehr unterschieden werden (Abbildung 29).

Eine Welle, welche ständig in unserem Alltag präsent ist, ist die Schallwelle. Dank dieser Welle können wir sprechen, singen bzw. können allgemein Töne und Klänge entstehen. Vereinfacht können wir uns statt den Wassertropfen, Luftteilchen vorstellen. Beim Schall ist der Druck die Energie, welche übertragen wird. Durch den Druck werden die benachbarten Luftteilchen angeregt, wodurch eine Welle, mit Wellentale und Wellenberge, entsteht. Die Amplitude bestimmt die Lautstärke des Schalls.

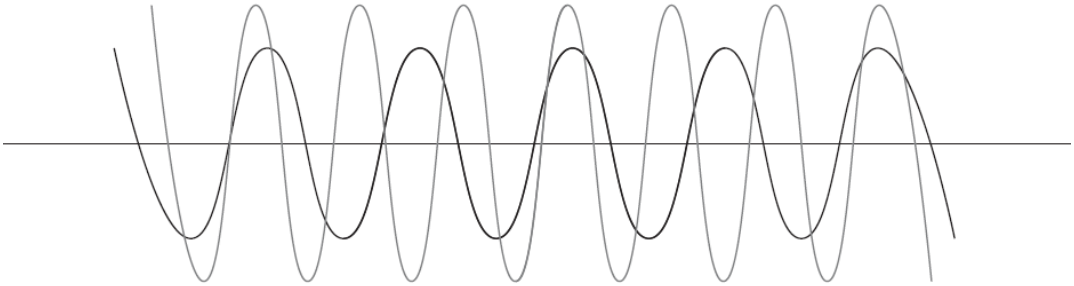

Abbildung 28: Skizzen von zwei unterschiedlichen Wellen (eigene Darstellung)

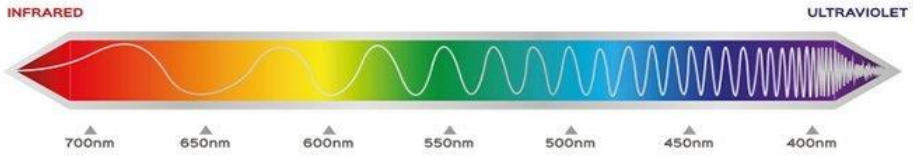

Abbildung 29: Spektrum des sichtbaren Lichts (vgl. Behrens, 2021)

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.“

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst“

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Ich zeige dir einige Bilder und du zeichnest mir bitte die Wellenlänge/Amplitude an verschiedenen Punkten von den Wellen ein. […]“ (Abbildung 30-34)

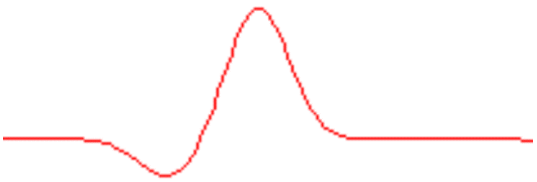

Abbildung 30: Skizze einer Welle (eigene Darstellung)

Abbildung 31: Bild einer Wasserwelle (vgl. Leitner & Finckh, 2011a)

Abbildung 32 (links): Skizze von verschiedenen Wellen (vgl. Eckart, 2016)
Abbildung 33 (rechts): Bild einer Wasserwelle (vgl. Zünd, 2000)

Erklärung Teil III (Interferenz)

„Hier siehst du ein Video mit lauter Wasserwellen (vgl. Björn Bär, 2011) (00:36-00:58). Wenn du genau den Übergang von zwei Wellen beobachtest, erkennst du, dass sie nach dem Zusammentreffen genauso weiterlaufen wie vor dem Zusammentreffen. Sie „stören" sich nicht gegenseitig, also sie durchlaufen einander ungestört. Beim Zusammentreffen bzw. Überlagern von Wellen passieren trotzdem interessante Phänomene, wodurch der Begriff *Interferenz* eingeführt wurde. Damit wir die Überlagerung besser beobachten können, spule ich ein wenig vor zu einem Pendel womit durch Auslenkung (Störung) mechanische Wellen erzeugt werden können (02:32-03:38). Beide haben eine positive Amplitude (beide zeigen nach oben) und laufen gegeneinander. Hier siehst du sehr schön, dass sich die Amplituden beim Zusammentreffen aufaddieren und anschließend ungestört weiterlaufen. Da sich die Amplituden/Auslenkungen verstärken spricht man hier von einer *konstruktiven Interferenz*. Als immer, wenn ein Wellenberg auf einen Wellenberg und ein Wellental auf ein Wellental trifft, haben wir konstruktive Interferenz.

Wenn ich wieder weiter vor spule (03:38-04:24), sehen wir diesmal zwei gleiche Wellen wobei eine Welle eine positive und die andere eine negative Amplitude hat. Wir lassen diese gegeneinander laufen. Hier siehst du schön, dass sie sich beim Zusammentreffen gegenseitig auslöschen, aber anschließend wieder ungestört weiterlaufen. Die Amplituden addieren sich wieder, aber aufgrund des unterschiedlichen Vorzeichens werden sie abgeschwächt bzw. in diesem Fall sogar ausgelöscht beim Zusammentreffen. Beim Abschwächen der Amplituden/Auslenkungen spricht man von *destruktiver Interferenz*. Also immer, wenn ein Wellenberg auf ein Wellental und umgekehrt trifft, haben wir destruktive Interferenz.

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Nun sehen wir uns das ganze an Schallwellen an. Kennst du Noise-Canceling-Kopfhörer (Falls nicht kurz erzählen, dass sie den Lärm außerhalb der Kopfhörer unterdrücken und ein Beispiel dazu)? Wenn du dir nun vorstellst du wartest auf der Bushaltestelle auf deinen Bus und hinter dir steht eine weitere Person. Da sehr viele Autos vorbeifahren setzt du dir diese Kopfhörer auf. Versuche mit dem gerade Gelernten zu erklären, wie das funktioniert, dass du die Autos nicht mehr hörst, aber die Person hinter dir schon die Autos hört? [Eventuell den Tipp geben, dass der Kopfhörer auch Schallwellen aussenden kann]"

Erklärung Teil IV (Beugung)

„Natürlich kann sich eine Welle (nehmen wir z.B. wieder die Wasserwelle) nicht immer ungestört ausbreiten, sondern in der Natur kommen andere Hindernisse vor. Wir sehen uns nun an, wie sich verschiedene Wellen bei verschiedenen Hindernissen verhalten. […] Hier bei dieser Simulation (vgl. Falstad, 2014) siehst du sehr schön was mit der (ebenen) Welle passiert, wenn sie durch einen Spalt läuft. Ein Teil der Welle kann sich normal weiter ausbreiten, also geradlinig, aber am Rand siehst du, dass ein Teil der Welle die Richtung ändert, also abgelenkt wird. Dieser Vorgang wird als Beugung bezeichnet bzw. die Welle wird gebeugt. Eine Beugung kann beobachtet werden, wenn die Wellenlänge λ, die wir vorher besprochen haben, ungefähr der Spaltbreite entspricht. Ist der Spalt deutlich zu groß/klein ist keine Beugung erkennbar (z.B. ein Lichtstrahl in ein offenes Fenster).

Als nächstes „entfernen" wir eine Seite vom Spalt und beobachten (vgl. Falstad, 2014) was mit der Welle passiert. […] Auch hier können wir die Beugung beobachten, aber nur bei dem Teil der Welle der Nahe dem Hindernis ist. Auch hier kann gesagt werden, dass im Abstand der Wellenlänge von der Kante Beugung beobachtet werden kann (Abbildung 34). Betrachten wir die Welle als Ganzes, sprechen wir davon, dass die Welle gebeugt wird.

Ein konkretes Beispiel, die Polizei/Feuerwehr/Rettung verwendet Ultrakurzwellen zum Einsatzfunk mit Wellenlengen von 1-10 m Wellenlänge. In der Stadt mit vielen Gebäudekannten sind sehr viele Hindernisse für die Welle. Bei einer Welle mit 3 Meter Wellenlänge wird also 3 Meter von der Kante weg abgelenkt und läuft nicht geradlinig weiter. Bei einer Wellenlänge von 10 Meter wird sogar 10 Meter gebeugt.

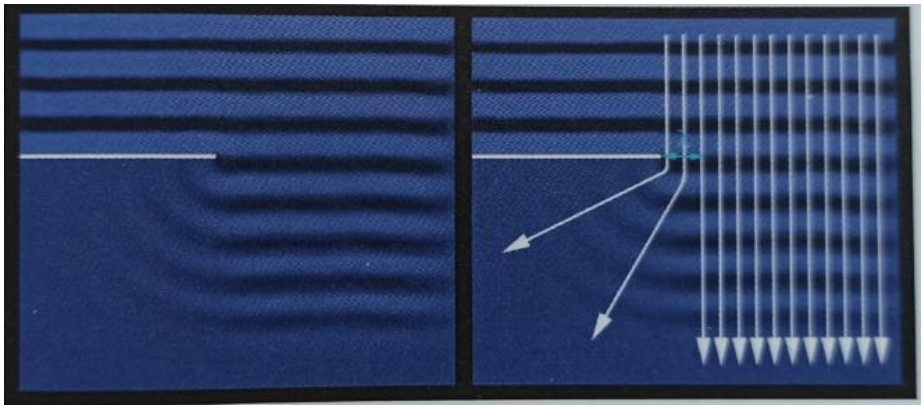

Abbildung 34: Beugung einer Wasserwelle an einem Hindernis (vgl. Apolin, 2008)

Bewertung

„Nun würde ich dich bitten, meine Erklärung zu bewerten. War sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw."

Wiederholung

„Jetzt möchte ich, dass du meine Erklärung in deinen Worten nochmal wiederholst"

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

„Du stehst vor einer offenen Eingangstür. Eine weitere Person befindet sich im Raum etwas weiter weg (Abbildung 35). Warum kann die Person im Raum dich hören, wenn du etwas sagst, aber nicht sehen?"

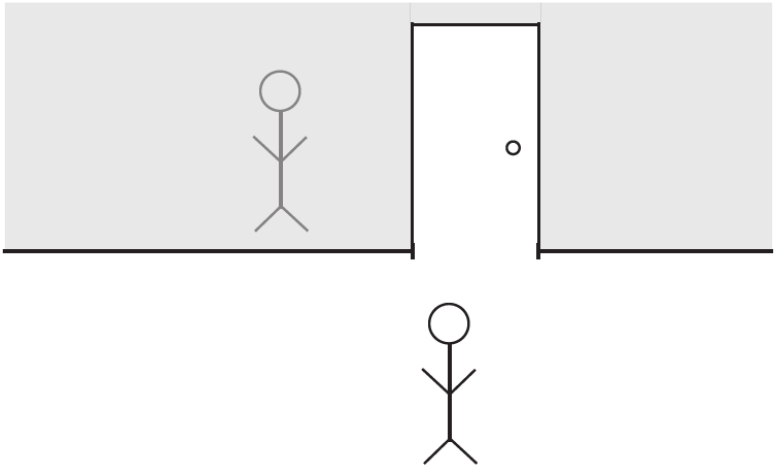

Abbildung 35: Skizze einer offenen Haustür mit einer Person vor der Tür und einer weiteren hinter der Wand (eigene Darstellung)

8.2 Unterrichtssequenz auf Basis der Intervention

Stunde 1: Determinismus

Lernziele: Ich kann …

… den Determinismus anhand eines alltäglichen Beispiels erklären.

5 E´s	Lehrer*innenaktivität	Schüler*innenaktivität
Engage	Die Lehrkraft zeigt ein Video (vgl. Olympics, 2017) vom Frauen Finale im Bogenschießen (03:00-04:30) und fragt die Schüler*innen warum die beiden (und natürlich noch viele andere auf der Welt) bei (fast) allen Schüssen so gut treffen, warum ist das nicht nur Glück? Nach einigen Überlegungen der SchülerInnen leitet die Lehrkraft mit „Was die Physik zu dieser Frage sagt, sehen wir uns heute an“	Die Schüler*innen schauen sich das Video an und überlegen bzw. sagen der Lehrkraft warum die Profis so oft treffen.
Explore	Die Lehrkraft teilt das Arbeitsblatt *Determinismus* aus und gibt als Auftrag *Aufgabe 1* alleine zu lösen.	Die Schüler*innen probieren Aufgabe 1 zu lösen.
Explain	Die Lehrkraft sammelt die Lösungen von Aufgabe 1 und diskutiert sie mit ihnen. Das Ziel dieser Aufgabe ist, dass sie sehen, wenn immer die gleichen Bedingungen sind (Bahn und Abschuss) wird auch immer die 10 getroffen werden (Üben macht also Sinn).	Die Schüler*innen vergleichen ihre Lösungen und diskutieren diese mit der Lehrkraft.

Explore	Die Lehrkraft bittet die Schüler*innen Aufgabe 2 vom Arbeitsblatt zu zweit zu lösen.	Die Schüler*innen probieren Aufgabe 2 zu zweit zu lösen.
Explain	Die Lehrkraft sammelt (schreibt sie auf die Tafel) die Lösungen von Aufgabe 2 und diskutiert sie mit ihnen. Anschließend diktiert sie folgendes für Merke am Arbeitsblatt: „Wenn die Anfangsbedingungen eines Körpers (Ort und Geschwindigkeit) zu einem anfänglichen Zeitpunkt genau genug bekannt sind und man alle wirkenden Kräfte kennt, kann man die Bahn des Körpers mit den Newtonschen Gesetzen im Prinzip für alle Zeiten vorausberechnen.“	Die Schüler*innen vergleichen ihre Lösungen und diskutieren diese mit der Lehrkraft. Anschließend schreiben sie den Merksatz auf das Arbeitsblatt.
Elaborate	Die Lehrkraft gibt den Auftrag, dass die SchülerInnen zu zweit, weitere Beispiele finden sollen und die dazugehörigen Anfangsbedingungen. Abschließend vergleicht und diskutiert die Lehrkraft die Lösungen.	Die Schüler*innen überlegen zu zweit weitere Beispiele und dazugehörige Anfangsbedingungen. Abschließend vergleichen und diskutieren sie ihre Lösungen mit der Lehrkraft.

Arbeitsblatt *Determinismus* siehe S. 110

Stunde 2: Wahrscheinlichkeit

Lernziele: Ich kann …

… relative Häufigkeiten berechnen und den Kontext bei einfachen Beispielen als Wahrscheinlichkeiten deuten.

… Wahrscheinlichkeitsverteilungen von disktreten und stetigen Zufallsvariablen bei einfachen Beispielen zeichnen.

… den Unterschied zwischen objektiven und subjektiven Zufall erklären und Beispiele dazu nennen.

5 E´s	Lehrer*innenaktivität	Schüler*innenaktivität
Engage	(Optimal wäre, wenn von den Schüler*innen das Würfeln als Beispiel kommt in der Elaborate-Phase beim Determinismus, ansonsten wird es von der Lehrkraft gesagt.) Die Lehrkraft stellt folgende Fragen an die Klasse: „Wer kennt das Brettspiel „Mensch ärgere dich nicht“? Wie kann eine Spielfigur auf das Feld gebracht werden? Was passiert noch, wenn eine 6 gewürfelt wird? Warum können wir gerade bei der Zahl 6 diese guten Zusätze durchführen, ist die Zahl 6 schwieriger zu Würfeln als die 1 oder 5, was glaubt ihr?“ Nach mehreren Antworten der letzten Frage leitet die Lehrkraft mit folgender Aussage in die nächste Phase ein: „Wir werden uns nun ansehen, wie wir solche Aussagen mathematisch „beantworten“ können.“	Die Schüler*innen beantworten die Fragen der Lehrkraft.

Explore	Die Lehrkraft holt zwei Behälter an den Tisch. In einem Behälter befinden sich 5 gleich große Kugeln und in dem anderen 2. In jedem Behälter ist eine Kugel optisch von den anderen unterscheidbar. Die Lehrkraft zeigt es den Schüler*innen genau und bittet nacheinander immer 2 Schüler*innen heraus, welche versuchen sollen mit geschlossenen Augen diese spezielle Kugel zu ziehen. Nach jedem Zug wird die gezogene Kugel wieder in den Behälter gegeben. Die Lehrkraft schreibt an die Tafel für beide Behälter, ob diese gezogen wurde oder nicht. Nach einigen Zügen, wenn es schön ersichtlich ist, dass bei dem Behälter mit 2 Kugeln die spezielle Kugel öfter gezogen wurde unterbricht sie das Experiment.	Die Schüler*innen hören der Lehrkraft beim Versuchsaufbau und Durchführung zu, versuchen anschließend aus den Behältern die spezielle Kugel zu ziehen und geben diese anschließend wieder in den Behälter zurück.
Explain	Die Lehrkraft präsentiert das Ergebnis und fragt die Schüler*innen ob das Zufall ist, dass bei dem einen Behälter so viel öfter die richtige Kugel gezogen wurde oder ob das öfter so ausgehen würde, wenn der Versuch öfter durchgeführt werden würde. Nach einigen Antworten zeichnet die Lehrkraft den Versuch an die Tafel. Zwei Kreise für die Behälter und 2 bzw. 5 Kugeln (wobei jeweils eine andersfarbig). Sie fragt nach den Unterschieden der Behälter und diskutiert mit den Schüler*innen darüber und führt sie zu den Brüchen 1/5=0,2 und ½=0,5 und was das sprachlich zu bedeuten hat (20% Chance, 50%	Die Schüler*innen antwortet auf die Fragen der Lehrkraft und diskutiert mit ihr über die Ergebnisse des Versuchs bzw. den Aussagen der Lehrkraft.

	Chance). Anschließend schreibt die Lehrkraft die Formel (Anzahl der Günstigen Ausgänge) / (Anzahl der Möglichen Ausgänge) auf die Tafel. Sie erklärt, dass die relative Häufigkeit berechnet wurde, gibt eine Begriffserklärung mit dem Beispiel der Kugeln und kommen so zu den mathematischen Begriffen „wahrscheinlich und Wahrscheinlichkeit“.	
Explain	“Nun, diese Formel für die relative Häufigkeit hilft uns in sehr vielen Fällen die Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen zu berechnen, könnt ihr mir noch Beispiele nennen?“ „Wenn wir uns an die Bogenschützinnen zurückerinnern. Funktioniert hier diese Formel auch, wenn ja, wie?“ Die Lehrkraft zeichnet eine Zielscheibe und lässt sie die „Möglichen“ einzeichnen, falls sie mit ja antworten. „Hier kommen wir leider nicht weiter, weil es unüberschaubar viele Möglichkeiten gibt. Der Pfeil könnte auch außerhalb der Zielscheibe landen. Deshalb teilen wir das Zielfeld also die „Möglichen“ in Bereiche ein. Beim Bogenschießen wird die Zielscheibe auch in verschiedene Ringe eingeteilt.“ Die Lehrkraft zeichnet Kreise in die Scheibe an der Tafel. „Da die Ringe immer größer werden, bekommt man weniger Punkte. Zugleich ist die Wahrscheinlichkeit kleiner, dass ihr die kleineren	Die Schüler*innen nennen Beispiele für diskrete Wahrscheinlichkeiten und überlegen anschließend ob diese Rechnungen auch bei den Bogenschützen gilt bzw. teilen diese Überlegungen der Lehrkraft mit.

	Flächen treffen könnt als die Größeren. Die Verteilung dieser Flächen und ihren Wahrscheinlichkeiten können wir in einem Histogramm darstellen.“ Die Lehrkraft skizziert die Wahrscheinlichkeitsdichte dargestellt über ein Histogramm.	
Elaborate	„Ihr bekommt nun eine Skizze und ein Bild eines Kanaldeckels. Ihr möchtet euren Kaugummi in den Kanal werfen und bevor ihr schießt, wäre es interessant wie wahrscheinlich es ist, dass ihr in die verschiedenen Löcher trifft. Versucht zu zweit zu beschreiben wie es zu berechnen geh! Wie würde die dazugehörige Verteilung aussehen?“ Anschließend vergleicht und diskutiert die Lehrkraft die Ergebnisse der Schüler*innen.	Die Schüler*innen zeichnen zu zweit die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Treffen eines Kaugummis in einen Kanaldeckel und vergleichen es anschließend mit der Lehrkraft.

Stunde 3+4: Wahrscheinlichkeit

Lernziele: Ich kann…

… eine Welle als Störung physikalisch beschreiben und Beispiele dafür nennen.

… die Amplitude und die Wellenlänge in einer Skizze einzeichnen und ihre Bedeutung anhand eines Beispiels erläutern.

… erklären, dass die Interfenz eine Überlagerung von Wellen ist und, diese sich ungestört überlagern können und die Amplituden addiert werden.

… erklären, dass bei konstruktiver Interferenz die Amplituden verstärkt und bei destruktiver Interferenz die Amplituden ausgelöscht werden und es dazwischen alle möglichen Fälle gibt.

… erklären, dass bei der Beugung ein Teil einer Welle an einem Hindernis die Richtung ändert und dieses von der Wellenlänge und der Größe und Art des Hindernisses abhängig ist.

… beschreiben, dass bei jeglicher Art von physikalischen Wellen Beugung gezeigt werden kann.

5 E´s	Lehrer*innenaktivität	Schüler*innenaktivität
Engage	Die Lehrkraft zeigt ein Video von einer „Laolawelle“ im Stadion (vgl. Daniel B., 2012) und fragt die Schüler*innen ob sie etwas erkennen und was da genau passiert? Nach einigen Vorschlägen leitet die Lehrkraft mit „Dies ist eine von vielen verschiedenen Wellen. Wir werden uns nun die Grundbegriffe dieser Wellen erarbeiten!“ in die nächste Phase über.	Die Schüler*innen beobachten das Video und beschreiben was sie sehen.

Explore	Die Lehrkraft teilt das Arbeitsblatt1 aus und bespricht kurz Aufgabe 1. Sie zeigt zuerst das Video (vgl. IQuma, 2020) in 0,25 Abspielgeschwindigkeit und anschließend die Simulation (vgl. Leitner & Finckh, 2011b) und bittet die Schüler*innen ihre Beobachtungen zu notieren. Abschließend sollen sie die letzte Frage versuchen zu beantworten.	Die Schüler*innen schreiben ihre Beobachtungen vom Video und der Simulation auf das Arbeitsblatt und beantworten die letzte Frage.
Explain	Die Lehrkraft sammelt zuerst die Ergebnisse der Beobachtungen der SchülerInnen und geht auf diese ein. Anschließend sammelt sie die Beschreibung der letzten Frage und geht auf diese ein. (Wichtig ist die Tatsache, dass kein Materietransport passiert diskutiert wird. Entweder kommt es von den Schüler*innen oder es muss von der Lehrkraft unterstützt werden. Hier kann wieder auf die Laola-Welle zurückgegriffen werden.) Abschließend diktiert sie den Merksatz.	Die Schüler*innen erzählen zunächst ihre Beobachtungen und diskutieren darüber mit der Lehrkraft. Anschließend das Gleiche mit der letzten Frage. Abschließend schreiben sie den Merksatz auf das Arbeitsblatt.
Explore	Die Lehrkraft bespricht Aufgabe 2 (a und b) vom Arbeitsblatt.	Die Schüler*innen versuchen die Unterschiede der beiden Wellen zu erkennen. Anschließend versuchen sie diese Unterschiede in einen Kontext zu geben.
Explain	Die Lehrkraft bespricht die Lösungen der Schüler*innen und geht auf diese ein. Sie zeichnet am Whiteboard die Unterschiede ebenfalls ein und beschriftet es mit den Fachausdrücken (Amplitude, Wellenlänge).	Die Schüler*innen besprechen mit der Lehrkraft ihre Lösungen und zeichnen/schreiben die Fachausdrücke von der Tafel ab.

Elaborate	Die Lehrkraft bespricht Aufgabe 2 c). Anschließend vergleicht und diskutiert die Lehrkraft die Ergebnisse der Schüler*innen.	Die Schüler*innen zeichnen bei den Bildern die Amplitude und Wellenlänge ein und vergleichen es mit der Lehrkraft.
Explore	Die Lehrkraft bespricht Aufgabe 3 vom Arbeitsblatt und zeigt den Schüler*innen anschließend die Videoausschnitte.	Die Schüler*innen schauen sich die Videoausschnitte an und schreiben ihre Beobachtungen auf.
Explain	Die Lehrkraft sammelt zuerst die Ergebnisse der Beobachtungen der Schüler*innen und geht auf diese ein. Abschließend diktiert sie den Merksatz.	Die Schüler*innen erzählen zunächst ihre Beobachtungen und diskutieren darüber mit der Lehrkraft. Abschließend schreiben sie den Merksatz auf das Arbeitsblatt.
Elaborate	Die Lehrkraft bespricht das Beispiel in Aufgabe 3 und lässt es sie zu zweit ausführen. Anschließend vergleicht und diskutiert die Lehrkraft die Ergebnisse der Schüler*innen.	Die Schüler*innen versuchen zu zweit zu erklären, wie Noise-Canceling-Kopfhörer funktionieren und vergleichen es mit der Lehrkraft.
Explore	Die Lehrkraft bespricht Aufgabe 4 vom Arbeitsblatt und zeigt den Schüler*innen anschließend die Simulationen (zuerst als Hindernis den Spalt und anschließend ein einseitiges Hindernis).	Die Schüler*innen schauen sich die Simulationen an und schreiben ihre Beobachtungen auf.
Explain	Die Lehrkraft sammelt zuerst die Ergebnisse der Beobachtungen der Schüler*innen und geht auf diese ein. Abschließend diktiert sie den Merksatz.	Die Schüler*innen erzählen zunächst ihre Beobachtungen und diskutieren darüber mit der Lehrkraft. Abschließend schreiben sie den Merksatz auf das Arbeitsblatt.

Elaborate	Die Lehrkraft bespricht das Beispiel in Aufgabe 4 und lässt es sie zu zweit ausführen. Anschließend vergleicht und diskutiert die Lehrkraft die Ergebnisse der Schüler*innen.	Die Schüler*innen versuchen zu zweit zu erklären, wieso wir um die Ecke hören, aber nicht sehen können und vergleichen es mit der Lehrkraft.

Alles Wichtige zum Thema Wellen

Aufgabe 1 - Eigenschaften

Die Lehrkraft zeigt dir ein kurzes Video.
Notiere deine Beobachtungen:

Zuerst ruhige Wasseroberfläche. Durch das Eintauchen (Störung) eines Stiftes wird die Oberfläche nach unten gedrückt. Diese Störung entfernt sich bis zum Rand, bis es aufhört.

Anschließend siehst du eine Simulation. Sie soll die gleiche Situation wie im Video simulieren. Die Punkte sind einzelne Wasserpunkte von der Oberfläche des Wassers.
Was kannst du beobachten?

Die Punkte sind am Beginn auf einer Linie. Beim Starten werden nacheinander die Punkte ausgelenkt und es entsteht eine Welle.

Wie würdest du eine Wasserwelle beschreiben anhand deiner Beobachtungen?

Eine Welle ist die Ausbreitung einer Störung und somit von Energie ohne Materietransport.

Merke

Eine Welle ist die Ausbreitung einer Störung und somit von Energie ohne Materietransport. Die Störung kann zum Beispiel das Eindrücken der Wasseroberfläche sein (Wasserwelle).

Aufgabe 2 - Unterscheidungen

Vergleiche diese beiden Ausschnitte von Wellen.

a) Beschreibe die Unterschiede der beiden Ausschnitte in Abbildung 36 und zeichne sie ein.

b) Finde einen Kontext (bei z.B. Wasserwellen) für die Unterschiede.

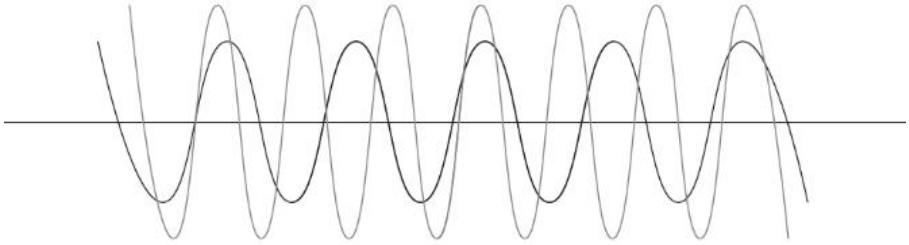

Abbildung 36: Skizze zweier periodischen Wellen (eigene Darstellung)

a) Höhe, Abstand zwischen den Wellenbergen

b) Höhe: Je höher umso stärker wird die Wasserwelle ausgelenkt; Abstand?

c) Zeichne bei folgenden Bildern (Abbildung 37-40) die Amplitude sowie die Wellenlänge ein.

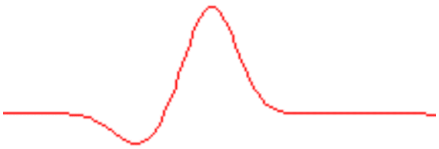

Abbildung 37 (links oben): Skizze einer Welle (eigene Darstellung)

Abbildung 38 (rechts oben): Bild einer Wasserwelle (vgl. Leitner & Finckh, 2011a)

Abbildung 39 (links unten): Skizze von verschiedenen Wellen (vgl. Eckart, 2016)

Abbildung 40 (rechts unten): Bild einer Wasserwelle (vgl. Zünd, 2000)

Aufgabe 3 - Interferenz

Die Lehrkraft zeigt dir einen kurzen Ausschnitt eines Videos.

Beschreibe was du beobachtest?

Die Wasserwellen verlaufen ungestört ineinander.

Die Lehrkraft zeigt dir einen kurzen Ausschnitt eines Videos.

Beschreibe was du beobachtest?

Die Amplituden der beiden Wellen addieren sich kurz beim Aufeinandertreffen. Anschließend verlaufen sie ungestört weiter.

Die Lehrkraft zeigt dir einen weiteren kurzen Ausschnitt eines Videos.

Beschreibe was du beobachtest?

Die Amplituden der beiden Wellen addieren sich kurz beim Aufeinandertreffen (löschen sich gegenseitig aus). Anschließend verlaufen sie ungestört weiter.

Merke

Wenn zwei Wellen an einem Ort aufeinandertreffen, so überlagern sie sich ungestört. Während des Durchdringens werden ihre Auslenkungen vorzeichenrichtig addiert. Dieses Phänomen nennt man Interferenz. Wird die Auslenkung verstärkt spricht man von einer konstruktiven Interferenz, bei einer Auslöschung von einer destruktiven Interferenz.

Beispiel:

Stell dir vor du wartest auf der Bushaltestelle auf deinen Bus und hinter dir steht eine weitere Person. Da sehr viele Autos vorbeifahren setzt du dir deine Noise-Canceling-Kopfhörer auf. Versuche mit dem gerade Gelernten zu erklären, wie das funktioniert, dass du die Autos nicht mehr hörst, aber die Person hinter dir schon die Autos hört?

Die Kopfhörer senden ebenfalls Schallwellen aus. Die Schallwelle des zu „eliminierenden“ Klangs muss aufgenommen, kopiert und zeitversetzt abgespielt werden, sodass genau beim Ohr Wellental des Klangs und Wellenberg von dem Kopfhörer (und umgekehrt) zusammenkommen. Durch die Interferenz addieren sich die Amplituden genau beim Ohr zu 0, wodurch nichts mehr zu hören ist.

Aufgabe 4 – Beugung

Die Lehrkraft zeigt dir eine kurze Simulation.
Notiere deine Beobachtungen:

In der Mitte verläuft die Welle, so wie vorher, geradlinig weiter. Auf beiden Seiten wird die Welle, in eine andere Richtung, abgelenkt.

Die Lehrkraft zeigt dir eine kurze Simulation.
Notiere deine Beobachtungen:

Die Welle wird nur auf der Seite wo sich das Hindernis befindet abgelenkt.

Merke

Trifft eine Welle auf einen Spalt so ändert sie an beiden Seiten ihre Richtung, sie wird also abgelenkt. Dieser Vorgang wird als Beugung bezeichnet bzw. die Welle wird gebeugt. Die Beugung kann beobachtet werden, wenn die Wellenlänge der Welle ungefähr der Spaltbreite entspricht. Trifft eine Welle auf ein einseitiges Hindernis wird die Welle an dieser Seite gebeugt. Die Beugung kann vom Hindernis aus im Abstand der Wellenlänge beobachtet werden.

Beispiel:

Du stehst vor einer offenen Eingangstür. Eine weitere Person befindet sich im Raum etwas weiter weg. Warum kann die Person im Raum dich hören, wenn du etwas sagst, aber nicht sehen?

Die Wellenlänge von Schall liegt im Meterbereich, was auch ungefähr in der Größenordnung der Tür ist. Dadurch kann ein Teil der Schallwelle an der Kante der Türe gebeugt werden. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichts liegt im Nanometerbereich, wodurch zu wenig gebeugt wird, dass wir es Wahrnehmen könnten.

8.3 Vollständige Transkription

Vollständige Transkription geordnet nach den drei Themen und darin nach den Teams.

L … Interviewer (Lehrkraft)

S1 … Schülerin aus Team A

S2 … Schüler aus Team A

S3 … Schülerin aus Team B

S4 … Schülerin aus Team B

S5 … Schüler aus Team C

S6 … Schüler aus Team C

Determinismus

Team A

Erklärung

L: Das erste Thema ist der Determinismus, ich beginne mit einer kurzen Erklärung. Wir schauen uns zu Beginn einen kurzen Ausschnitt vom Bogenschießen an. Auf dieses Beispiel werden wir noch ein paar Mal zurückkommen. Es ist das Finale der Frauenweltmeisterschaft von 2006. […] Wenn wir uns diesen Ausschnitt anschauen, ist es ja Wahnsinn wie gut die Beiden sind, sie treffen jedes Mal die 8,9,10. Manche nennen es Glück, andere Talent oder Training und die Physik beschreibt dieses noch ein wenig anders. Sie sagt wir können, wenn wir alle Anfangsbedingungen wissen und die dazugehörigen physikalischen Gesetzmäßigkeiten also alle wirkenden Kräfte, können wir zu jedem zukünftigen Zeitpunkt vorhersagen was passiert, also zukünftige Ausgänge vorherbestimmen. Nun ein kurzes vereinfachtes Beispiel, wir kommen später auf die Bogenschützinnen zurück, wäre das Zugfahren.

Um 12:30 fahren wir weg, vom HBF dann bleibt er in Wien Meidling stehen und nach einer kurzen Aufenthaltszeit geht es weiter nach St. Pölten.

Als erstes müssen wir uns die Anfangsbedingungen überlegen:

Wir wissen 12:30 fährt er weg, wir brauchen die Distanz nach Meidling, die ist 3 km und fährt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 35 km/h. Hier ist er wegen der kurzen Strecke bzw. den engeren Kurven langsamer. Dann bleibt er 2 Minuten stehen und nach St. Pölten ist es dann eine Strecke von 55,6 km mit einer Geschwindigkeit von 145 km/h. Das sind alle Anfangsbedingungen, die wir grob brauchen und als nächstes überlegen wir uns welche physikalischen Gesetze beim Zugfahren auftreten bzw. wäre es besser

zu sagen welche für uns relevant sind. Natürlich wirken sehr viele Kräfte und kommen viele Gesetze vor, aber es reichen uns die die das Ergebnis wirklich relevant beeinflussen. In diesem Fall ist das Bewegungsgesetz für die gleichförmige Bewegung eine sehr gute Näherung, wenn wir uns fragen, wann kommt der Zug in St. Pölten an. Wir können hier auch die Beschleunigung am Beginn und die Verzögerung am Ende als Gesamtes weglassen. Also wenn wir die Formel für uns umformen, ist die Zeit die Strecke durch die Geschwindigkeit. Für dieses Beispiel reicht uns wie gesagt das Bewegungsgesetz, da alle anderen wirkenden Kräfte das Ergebnis nicht relevant beeinflussen.
Nun, wenn wir die genannten Anfangsbedingungen einsetzen bekommen wir raus, dass der Zug 5 min 10 s nach Meidling braucht, dann 2 Minuten stehen bleibt und anschließend 30 min und 10 s nach St. Pölten fährt.
Wir wissen also das der Zug mit diesen Anfangsbedingungen nach 30 min und 10 s in St. Pölten ist. Natürlich muss man dazusagen, dass unvorhersehbare Ereignisse, wie ein Autounfall auf dem Gleis oder ein technisches Problem können wir nicht vorhersagen. Aber wenn keine unerwarteten Ereignisse eintreten, ist der Zug nach 30 min und 10 s in St. Pölten.
Dieses Vorherbestimmen, also wenn wir alle Anfangsbedingungen und die physikalischen Gesetze kennen, dass wir die Zukunft vorhersagen können, weil wir wissen ja wann er wo ist, das nennen wir den Determinismus oder auch Bestimmtheit.

Bewertung

L: Bevor wir zur Wiederholung bzw. der Anwendung kommen, würde ich euch bitten meine Erklärung zu bewerten. Bitte ganz ehrlich sein, war es gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel usw.

S2: Ich habe es verstanden.

S1: Es war einfach logisch.

S2: Aber ich versteh nicht, beim Bogenschießen kommt es ja voll darauf an, wie gut man ist.

L: Zu dem kommen wir gleich. Vorher bitte ich euch meine Erklärung zu wiederholen.

Wiederholung

S2: Möchtest du oder soll ich?

S1: Mach du.

S2: Ok, also man mit den Anfangsbedingungen und den physikalischen Gesetzen kann man, wenn es nicht zu irgendwelchen Zwischenfällen, unerwarteten Zwischenfällen kommt kann man zukünftige Ereignisse vorhersagen, kann man die Zukunft vorhersagen und das haben sie mit dem Beispiel erklärt.

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

L: Auf dem dritten Zettel habt ihr ein Arbeitsblatt, wir kommen zum Bogenschießen zurück. Da ist einmal die erste Frage, wie der Pfeil abgeschossen werden muss, damit er sicher in die 10 geht, wenn er in einer Halle trainiert, also ohne Berücksichtigung des Windes. Schreibt mal eure Überlegungen auf, was ist wichtig damit ihr immer in die 10 trifft, wirklich aus Sicht der Bogenschützin, also wenn ihr den Pfeil schießt, was ihr da beachten müsst.

S2 (gleich sofort): Der Winkel zum Beispiel wie man den Pfeil vom Bogen weg, schießt.

[Hier hatte ich kurz überlegt, ob ich sage, dass er es aufschreiben soll, aber ich entschied mich gleich für eine offene Diskussion]

L: Ja genau, ich habe das Abschusswinkel genannt, aber stimmt genau. Sehr gut das ist schon das Erste und was ist das Zweite glaubts ihr?

S1: Naja genug Kraft, damit er überhaupt auf der Zielscheibe ankommt.

L: Ja ok stimmt, aber jetzt nicht nur genug, weil wir wollen ja nicht nur, dass er überhaupt ankommt sondern, dass er in die 10 geht.

S1: Ich muss genau einschätzen wie viel ich brauch, dass er in die 10 geht.

L: Genau und was ändert sich durch die Kraft?

S1: Naja die Geschwindigkeit.

L: Ganz genau, also der Winkel und die Geschwindigkeit müssen genau passen, um die 10 zu treffen.

S2: Das heißt die Kraft beeinflusst dann auch wie der Pfeil fliegt?

S1: Überlegen die das wirklich? [Gleichzeitig, deshalb nicht verstanden]

L: Ganz genau (zu S2)

L: Bitte (zu S1)

S1: Denken die das wirklich, denken die wie stark muss ich meinen Arm zurückziehen damit der genau dort landet?

L: Ja natürlich, nur bei den Profis sind es durch das viele Üben schon Automatismen.

S1: Ja e, aber am Anfang muss man sich das überlegen?

L: Ja natürlich.

S2: Aber die Profis müssen ja bei verschiedenen Entfernungen treffen, da ändert sich ja das Ganze.

L: Genau, das macht ja auch den Sport aus, bei verschiedenen Distanzen gut zu treffen. Ändert sich die Entfernung brauche ich eine andere Kraft also Geschwindigkeit und Winkel. Aber da sind wir jetzt gerade genau in die zweite Frage übergegangen.

Wir beobachten jetzt ein Bogenschützin aus der Ferne. Jetzt ist die Frage welche Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze sind für die gerade gennannten Abschusskriterien, also Winkel und Geschwindigkeit, damit wir immer in die 10 treffen. Also was müssen wir beachten, dass wir egal wo wir stehen IMMER in die 10 treffen.

S2: Wetter, also Wind.

L: Genau. Was noch?

S1: Die Entfernung ist wichtig.

L: Sehr gut.

S2: Wieder die Kraft.

L: Genau also die Anfangsgeschwindigkeit. Was kann sich noch verändern?

S1: Das ich mich gerade hinstelle.

L: Ja, die Position von uns.

S1: Wenn die Geschwindigkeit bedeutend ist, ist ja auch das Material des Pfeils wichtig.

L: Ja sehr gut und wenn wir beim Pfeil bleiben, was kann sich noch verändern und den Ausgang beeinflussen?

S1: Das Gewicht.

L: Super und eines noch?

S1: Die Form.

L: Ja ganze genau, dass alles beeinflusst den Flug des Pfeils. Wenn ihr jetzt nochmal auf das Bild schaut, ihr habt mir vorher Distanz gesagt, was fällt euch da noch ein?

S1: Naja das wir in der gleichen Höhe wie die 10 stehen.

L: Jaa fast, du meinst das Richtige, wir müssen nicht auf der gleichen Höhe stehen aber die Höhen sind wichtig, also die Höhe der 10 vom Boden bzw. unsere Größe.

Sehr schön das waren schon seeehr viele Kriterien, Anfangsbedingungen gesagt. Welche Gesetzmäßigkeiten sind vorhanden, welche Kräfte wirken hier noch?

S1: Naja der Pfeil wird nicht ganz gerade fliegen?

L: Ja, wieso nicht?

S1: Ja wegen dem Wind und der Erdanziehung.

L: Sehr gut, genau also wegen dem Wind haben wir die Trägheit und natürlich die Gewichtskraft die Erdanziehung.
Jetzt haben wir wirklich alles gesagt, möchte das wer nochmal zusammenfassen/wiederholen?
S1+2: Alle physikalischen Gesetze: Winkel, Geschwindigkeit, Gewicht, Material, Größe, Wetter, Spannkraft, Höhenunterschied, Distanz.
L: genau und wenn wir das alles wissen, was können wir dann mit dem anfangen?
S1: Dann können wir es vorhersagen.
S2: Ja, naja aber wir wissen ja nicht, wie gut der ist, ich würde das nicht schaffen.
S1: Aber wenn ich dir sag du stellst dich jetzt da hin, sag dir genau wie du ihn halten musst und auch wie weit du zurückziehen musst, dann kannst du nur in die 10 treffen.
S2: Hm, ok ja stimmt, das heißt eigentlich, wenn wir das alles wissen, dann kommt es ja gar nicht mehr auf Talent an.
L: Ja auf jeden Fall. Das sagt der Determinismus. Natürlich ist es in der Praxis anders, wir sind keine Roboter und spüren wieviel Wind geht und können im Kopf den Winkel und die Spannkraft genau berechnen. Hätten wir Zeit und stellen Geräte auf könnten wir das natürlich schon messen. Und, dass wir es könnten, ist der Determinismus, der sagt, wenn wir es rechnen, treffen wir immer in die 10. Da wir die Anfangsbedingungen und die physikalischen Gesetze wissen.
S2: Aber der Wind ändert sich ja so stark, wie sollen wir das so schnell wissen, bis ich den Bogen abschieße, hat sich der Wind schon geändert.
L: Ja natürlich wir Menschen werden das im Wettkampf nicht in der kurzen Zeit berechnen können, wenn ja würde es ja auch keine Wettkämpfe geben, wenn es sowieso jeder könnte, also bei uns Menschen trifft hier der Determinismus nicht zu, aber wie gesagt ein Roboter könnte das schon so schnell rechnen, dass es sich ausgeht, also möglich ist es prinzipiell schon.
S2: Ok ja klar.

Team B

Erklärung

L: Das erste Thema ist der Determinismus. Hierfür zeige ich jetzt das Bogenschießen Frauenfinale Olympia von 2006.
[…]

Es ist ja schon Wahnsinn wie die Profis da fast immer in die Mitte treffen bei wirklich großen Distanzen. Manche sprechen hier von Glück, manche von Talent und die Physik hat hier noch einen ganz anderen Zugang, sie sagt wir können sich das Ganze auch berechnen.
Die Physik sagt, wenn wir alle Anfangsbedingungen wissen, also wenn wir beim Start alles wissen, wenn wir alle wirkenden Kräfte also alle physikalischen Gesetzt kennen, also alles was diesen Versuch beeinflusst, dann können wir die Zukunft vorhersagen. Wenn wir diese beiden Dinge wissen, dann können wir zu jeglichem zukünftigen Zeitpunkt den Ausgang bestimmen, also berechnen.
Damit das ein wenig klarer wird, ein Beispiel dazu. Es ist vereinfacht, aber es spiegelt genau das wieder und später kommen wir wieder auf das Bogenschießen zurück.
Das Beispiel ist Zug, wir fahren von Wien nach St. Pölten. Morgen um 12:30 fährt er weg vom Hauptbahnhof, bleibt in Meidling stehen und dann in St. Pölten, also ein Zwischenstopp. Die Frage ist, wann ist er in St. Pölten. Das ist die Zukunft, wir wollen wissen wie lange braucht er bis nach St. Pölten. Dafür brauchen wir eben die Anfangsbedingungen, da habe ich e schon einiges gesagt.
Um 12:30 fahrt er weg.
S4: Die Geschwindigkeit.
L: Genau die Geschwindigkeit.
S3: Den Zwischenstopp müssen wir auch noch mitberechnen
L: Genau und dann brauchen wir noch den Weg, also die Distanz.
S3+4: Aja genau.
L: Ich habe nachgeschaut vom HBF nach Wien Meidling sind es ziemlich genau 3 Kilometer, da fährt er mit einer Geschwindigkeit von 35 km/h, weil da viele Kurven sind, da bringt es nichts mehr zu beschleunigen und von Wien Meidling nach St. Pölten sind es 55,6 km mit einer Durchschnittgeschwindigkeit von 145 km/h, schaffte er auf dieser Strecke. Der Zwischenstopp sind 2 Minuten. Jetzt haben wir alle Anfangsbedingungen, jetzt müssen wir uns noch die physikalischen Gesetze überlegen, was müssen wir beachten.
Wie gesagt es ist nicht wichtig welche Kräfte überhaupt wirken, sondern welche beeinflussen das Ergebnis, weil wir könnten sehr viele finden, aber nicht alle beeinflussen das Ergebnis somit können wir sie weglassen.
Wir nehmen ein gutes Modell die diese Frage gut beschreibt und zwar die gleichförmige Bewegung, s=v*t, also Weg ist Geschwindigkeit mal die Zeit. Das heißt, um die Zeit zu berechnen nehmen wir t=s/v.

Wenn wir uns das mit den Zahlen ausrechnen, brauchen wir 5 Minuten und 10 Sekunden nach Meidling, 2 Minuten Aufenthalt und 23 min nach St. Pölten. Das heißt wir sind nach 30 Minuten und 10 Sekunden in St. Pölten. Also wir haben mit den Anfangsbedingen, wie weit wie schnell usw., und den physikalischen Gesetzen also alle notwendigen wirkenden Kräfte haben wir herausgefunden das wir genau nach 30 Minuten und 10 Sekunden in St. Pölten sind, wir haben also in die Zukunft geschaut.
Natürlich, nicht erwartende Ereignisse wie z.B. ein technisches Gebrechen oder ein Gleisbruch, wodurch der Zug steht und nicht weiterfahren kann, können wir nicht vorhersagen. Wenn solche Dinge nicht passieren, ist die ÖBB ja wirklich punkt genau.
Das ist der Determinismus, der sagt, dass die Zukunft bestimmt ist, die Bestimmtheit, durch Anfangsbedingungen und wirkenden Kräfte.

Bewertung

L: Zweiter Schritt, ganz ehrlich, bitte meine Erklärung bewerten, war es verständlich was ich gerade gesagt habe.
S3+4: Sehr verständlich. Alles verstanden.

Wiederholung

L: Jetzt bitte meine Erklärung wiederholen. Aus zeitlichen Gründen reicht es, wenn immer eine von euch Wiederholt.
S4: Das Beispiel sozusagen.
L: Ja, was der Determinismus ist, gerne auch mit dem Beispiel.
S4: Also bei einem Zug, muss man die wie heißt das
S3: Physikalischen Gesetze
S4: Ja, da braucht man die Distanz, die Zeit, die Stopps und die Geschwindigkeit. Mit den Variablen, nein sind ja keine Variablen.
L: Ja, nennen wir sie mal Informationen.
S4: Mit diesen Informationen können wir uns ausrechnen, wann genau der Zug ankommen wird.
L: Wie nennen wir diese Informationen?
S4: Anfangsbedingungen.
L: Genau, mit diesen Anfangsbedingungen und den physikalischen Gesetzen, wie du es richtig gesagt hast, die welche nochmal sind, wie haben wir es berechnet.
S3: Weg durch Geschwindigkeit.

L: Ja, das war die gleichförmige Bewegung. So können wir uns das Ergebnis die
S3: Zukunft vorhersagen.
L: Genau, zukünftige Ausgänge berechnen.

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

L: Ganz hinten habt ihr ein Arbeitsblatt. Hier geht es jetzt wieder um Bogenschießen. Als erstes sollt ihr überlegen, wenn ihr so Profibogenschützinnen seid, was muss passieren damit ihr immer in die 10 trefft.
S4: Man muss die Distanz beachten.
S3: Wie stark man Pfeil schießt, weil das beeinflusst ja eigentlich die Geschwindigkeit.
L: Ich habe das vielleicht ein wenig schlecht formuliert. Als ersten Schritt geht es mir wirklich nur darum, was könnt ihr beeinflussen?
S4: Ich glaube immer etwas höher nicht gleich oder nach unten.
L: Ja genau, das ist schon das erste der Abschusswinkel und das zweite habt ihr e schon gesagt, die Geschwindigkeit. Das könnt ihr aktiv tun.
Und bei Zwei, wir beobachten eine Profibogenschützin und überlegen uns, was müssen wir alles beachten, was beeinflusst das Schießen?
Distanz habt ihr schon richtig gesagt.
S3: Jetzt müssen wir auch den Wind mitberechnen.
S4: Der Pfeil hat ja auch ein Gewicht, also die Masse des Pfeils.
L: Genau. Wenn wir noch beim Pfeil bleiben, was ist noch wichtig?
S3: Die Form. Es ist ja ein Unterschied, ob man mit einem Stift oder einen Stein schießt.
L: Ja sehr gut. Wenn ihr nochmal auf das Bild schaut, ihr habt schon Distanz gesagt, was ist noch wichtig?
S3: Die Höhe.
L: Ja ganz genau.
S4: Augenhöhe.
L: Ja, wie groß bin ich, wie groß ist die Zielscheibe. Wirkenden Kräfte fehlt mir noch etwas. Was beeinträchtig noch den Flug?
S3: Es hat ja alles eine bestimmte Form und wie die Luft daran vorbeigeht, ich kann nicht gut erklären.
L: Ja genau, nennt sich Trägheitskraft.
Sehr schön, wenn wir das alles wüssten alles was wir jetzt gesagt haben, was ist dann?
S3: Dann können wir genau treffen.

L: Richtig. Also wenn wir das alles wissen können wir vorhersagen, dass wir treffen.
S4: Aber das ist ja unwahrscheinlich, weil der Wind ändert sich ja ständig.
L: Ja natürlich ein Mensch kann es nicht zu jeder Zeit berechnen.
S3: Aber ein Roboter.
L: Ja ein Roboter könnte es mit guten Sensoren.

Team C

Erklärung

L: Wir beginnen mit dem ersten Thema, das ist der Determinismus. Dafür zeige ich euch zu Beginn ein Video. Da seht ihr das Frauenfinale Olympia 2016 vom Bogenschießen. […] Ich hätte das euch erzählen können und ihr hättet mir es geglaubt, aber ich wollte es noch veranschaulichen wie gut die treffen können. Fast jeder Schuss ist eine 10, schlechteste war hier eine 8, aber es ist hier schon um die Entscheidung gegangen, höchste Nervosität. Manche bezeichnen das vielleicht mit Glück, die Physik kann das ein wenig näher erklären. Und zwar der Determinismus sagt, wenn du alle Anfangsbedingungen weißt und alle wirkenden Kräfte, bzw. physikalischen Gesetze, wenn du diese beiden Sachen weißt, kannst du alle zukünftigen Ausgänge vorhersagen bzw. berechnen. Also laut Determinismus ist die Zukunft vorhersagbar, sobald du alle Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze weißt. Wir kommen später auf das Bogenschießen Beispiel zurück. Damit wir konkreter werden, ein einfacheres Beispiel, das Zugfahren. Wir schauen uns gleich die Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze an. Damit können wir immer sagen, wann der Zug wo ist. Also so wissen wir um diese Uhrzeit ist er an diesem Ort, wenn wir die Anfangsbedingungen und physikalischen Gesetze wissen. Also zum Beispiel fährt morgen um 12:30 der Railjet vom Hauptbahnhof nach St. Pölten mit einem Zwischenstopp in Meidling. Wir möchten wissen, wann er in St. Pölten ist, ein zukünftiger Ausgang. Zuerst müssen wir uns die Anfangsbedingungen überlegen.
S5: Die Anfangsbedingungen sind wie lange er dort stehen bleibt und die Strecke.
L: Genau. Wir müssen wissen, die Strecke nach Wien Meidling, die Aufenthaltsdauer und die Strecke nach St. Pölten. Was müssen wir noch wissen?
S6: Wie schnell er beschleunigt.
L: Ja das ist schon sehr genau, allgemein?
S5: Wie schnell er ist.
L: Genau mit Geschwindigkeit und Strecke können wir schon sehr viel rechnen. Das sind grobe Anfangsbedingungen. Und mit grob mein ich, weil wenn wir uns die physikalischen

Gesetze überlegen, gibt es mehr Möglichkeiten. Wir könnten sehr ins Detail gehen oder man bleibt ein wenig grober und überlegt sich welche Gesetze den Ausgang, die zukünftigen Ereignisse merklich beeinflussen. Die Beschleunigung wird auf diese Strecke nicht sehr viel ändern, deshalb macht es Sinn bei diesem physikalischen Gesetz der gleichförmigen Bewegung zu bleiben. S=v*t bzw. für uns t=s/v.
S6: Das heißt konstant, immer gleich schnell.
L: Genau, wir nehmen an dass er immer gleich schnell fährt, eine Durchschnittsgeschwindigkeit. Also das war jetzt das physikalische Gesetz. Mit diesen Sachen können wir uns jetzt ausrechnen, wann er in St. Pölten ist. Ich habe in Google Maps die Strecke geschaut, also die Bahnstrecke, 3 km ist die Strecke nach Wien Meidling. Mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 35 km/h, laut ÖBB Seite, und 45,6 km ist es von Wien Meidling nach St. Pölten mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 145 km/h. Mit diesen Werten kommen wir auf 5 Minuten 10 Sekunden nach Wien Meidling, zwei Minuten Aufenthalt und 23 Minuten nach St. Pölten und somit sind wir 30 Minuten und 10 Sekunden auf St. Pölten. Das heißt wir wissen mit diesen Anfangsbedingungen und den physikalischen Gesetzen, dass er um 13:00:10 in St. Pölten ist. Auf Sekunden ist es wahrscheinlich nicht immer genau, da bräuchten wir ein genaueres physikalisches Gesetz, aber grundsätzlich stimmt die ÖBB ja normal ziemlich genau. Das ist ja eigentlich in die Zukunft geschaut bzw. berechnet. Natürlich was wir nicht berechnen können sind Geschehnisse, die nicht vorhersehbar sind, z.B. ein LKW der die Leitungen übersieht, können wir nicht berechnen. Aber im Optimalfall können wir zukünftige Ausgänge berechnen. Das sagt der Determinismus.

Bewertung:
L: Jetzt würde ich euch bitten, die Erklärung zu Bewerten. Also bitte ehrlich sein. War die Erklärung gut-schlecht, verständlich-nicht verständlich, war ein Teil etwas holprig oder alles schlüssig zu folgen?
S6: Nein war sehr schlüssig und ich kann jetzt sagen was es ist.
S5: Ich konnte auch einfach folgen. War super.

Wiederholung
L: Bitte wiederholen in eigenen Worten, was der Determinismus ist.
S5: Also, wenn die Anfangsbedingungen bekannt sind und die Kräfte bekannt sind, die darauf wirken, kann man sich berechnen was da rauskommt. Wie lang etwas braucht.

S6: Die Zukunft, also zukünftige Ausgänge.
L: Sehr schön.

Anwendung an ein konkretes Beispiel
L: Jetzt Anwendung an ein konkretes Beispiel, wenn ihr umblättert, seht ihr ein Arbeitsblatt. Es geht um das Bogenschießen. Ihr sollt euch überlegen, wenn ihr selbst mit dem Bogen schießt, was könnt ihr ändern, damit ihr gut trefft?
S5: Die Höhe. Die Stärke mit der man schießt.
S6: Den Neigungswinkel.
L: Genau, den Neigungswinkel oder Abschusswinkel und das zweite die Stärke also somit die Geschwindigkeit des Pfeils. Und wenn wir jetzt einen Schritt zurück gehen. Wenn ich jetzt schieße und ihr mich beobachtet, was sind hier die Anfangsbedingungen und die wirkenden Kräfte?
S5: Anfangsbedingung ist wie weit das Ziel entfernt ist.
S6: Die Geschwindigkeit. Die Höhe, von wo ich wegschieße.
S5: Wie lang der Pfeil ist.
S6: Und wie schwer.
S5: Die Form.
L: Ja sehr gut. Ein Sache noch, wenn ihr auf das Bild schaut. Was gehört noch zur Distanz.
S5: Wie hoch das Ziel steht.
L: Ja genau. Ganz genau. Das sind alles Anfangsbedingungen. Nun noch die physikalischen Gesetze, was haben wir hier?
S5: Die Gravitation, den Wind.
L: Genau. Sehr schön. Wenn wir das ganze wissen, was wir gerade besprochen haben, was können wir damit tun?
S5: Wenn wir das alles wissen, dann könnt man sich berechnen, wie der Pfeil genau auf das Ziel kommt.
S6: Aber das muss man auch mal so schnell rechnen können.
L: Genau. Also wir Menschen können das bei dem Wettkampf natürlich nicht so schnell, aber das ist ja gut weil sonst wärs ja fad.
S6: Maschinen schon.
L: Maschinen würden es können. Die könnten sich das alles berechnen und dann wäre die Flugbahn vorherbestimmt und wir können uns zukünftige Ausgänge berechnen, also das wir in die 10 treffen. Das ist Determinismus.

Wahrscheinlichkeit

Team A

Erklärung Teil I (mit diskreter Zufallsvariable)

L: Jetzt kommen wir zum zweiten Themenbereich, der Wahrscheinlichkeit. Hier wird es jetzt mathematischer, aber auch spielerisch. Ihr bekommt einen Würfel, ihr könnt würfeln und ich schreibe mit, welche Zahlen ihr würfelt. Bevor wir das machen, ist noch die Frage was glaubt ihr welche Zahl ist am schwersten zu würfeln?

S2: Das kann man ja nicht sagen, hängt das nicht davon ab, ob ich so oder so würfle. Es gibt doch sicher auch irgendwelche Statistiken welche Zahl am schwierigsten zu würfeln ist.

S1: Wenn ich immer eine Sechs würfeln möchte, müsste ich wissen wie ich würfeln müsste und das dann immer machen, das geht doch nicht. Du müsstest abmessen, wie hoch du würfelst und in welchem Winkel.

S2: Ist das eigentlich nicht wieder Determinismus, weil das ist ja genau was S1 gerade gesagt hat, mit den physikalischen Gesetzen könnten wir es dann wissen.

L: Wir sind ein bisschen an meiner Frage vorbeigeraten, das was ihr jetzt gesagt habt besprechen wir dann ein bisschen später beim Zufall, wir müssen es zunächst aus der mathematischen Sicht betrachten. Was glaubt ihr welche Zahl ist am schwersten zu würfeln, oder ist es „geht nicht“, das ist natürlich auch eine Antwort.

S1+2: Nein, kann man nicht sagen.

L: Na gut, würfelt mal, ich schreib mal mit.

[…] Erklärung der Tabelle und einige Würfe

L: Wenn wir uns das so ungefähr anschauen, die 1,4, 6 am häufigsten dann die 5 und dann die 2 und 3. Bei den ersten sind wir bei ca. 20% die 5 bei 14 und dann bei 10%. Also schon unterschiedlich würde ich mal sagen bei einer so kleinen Stichprobe. Ich habe mir da mal Zeit genommen und angeschaut, wann das ungefähr gleich wird. Ich habe das paar Mal probiert. Beim ersten Mal waren wir nach 232 würfen schon sehr sehr nahe. Von der Anzahl her sind wir natürlich schon mit 37 und 41 um 4 daneben aber, wenn wir auf die Prozent schauen, ist das schon fast gleich.

S2: Wie unterscheidet sich das im Vergleich zu unseren Würfen?

L: Auf die Prozent gesehen?

S2: Ja genau.

L: Schauen wir gleich. Da sind wir gleich bei…

S2: Heißt das jetzt, hm also mir fällt auf, dass wieviel haben wir gewürfelt 21 das ist ja schon ein großer Unterschied zu 232, da sind die Prozente deutlich unterschiedlich als bei den 232. Aber ich frage mich warum?
S1: Im grundgenommen ist die Wahrscheinlichkeit eine Zahl zu würfeln gleich, also fast gleich.
L: Jaa sehr gut, ganz genau S1. Das interessante ist ja es wird ja ab, also ich habe ja wirklich aufgehört, sobald es ungefähr nahe wird. Vorher war es auch sehr unterschiedlich [gezeigt]. Also erst am Schluss war kein Ausreißer mehr dabei. Ich habe das dann ein weiteres Mal gemacht und war bei knappen 400.
S2: Aber es kann ja dann natürlich wieder passieren, dass es wieder unterschiedlich wird. Sie haben solange gewürfelt, bis eine Anzahl kommt, die ja variiert, ungefähr gleich ist.
L: Aber wenn es mal ungefähr gleich ist, ändert sie sich nicht mehr so viel. Das ist ja der Grund durch die vielen Würfe. Wenn wir jetzt zum Beispiel 24 mal würfeln ist ein Wurf vom Prozent her 1/24, das heißt in die Prozente wirkt es 1/24 ein. Hier haben wir 232 Würfe also wirkt es 1/232 ein, also es ist um das 10-fache kleiner was sich ein Wurf auswirkt. Ich müsste also 10-mal die selbe Zahl würfeln, dass sich es sich um die gleiche Prozentzahl auswirkt wie bei 24 würfen bei einem Wurf.
S2: Jaaaaa
L: Aber hier (232 Würfe) sieht man ja e, wir sind hier um 4 unterschiedlich und die Prozente sind um fast nix um. Ihr (24 Würfe) habts ja auch, sogar nur 3 unterschiedlich, ist aber fast ist 3-fache von die Prozente her. Also je größer die Stichprobe wird umso mehr ist es egal, wenn 3,4 daneben sind, also das sich die Prozente fast nicht einwirken. [Fragende Gesichter] War das jetzt nicht klar am Schluss mit den Prozenten?
S2: Ja der Grund, warum das bei hohen Würfen nicht so stark mit den Prozenten abweicht, habe ich nicht ganz verstanden.
L: Probieren wir es aus, wenn wir bei euren 24 Würfen jetzt 5-mal die 4 würfeln sind wir plötzlich bei 36%, vorher waren wir bei 23% also um die Hälfte mehr. Bei den 232 Würfen, von 17,6 % auf 19,06% also nicht mal 2% und vorher 13%.
S2: Ok, das ist, weil wir mehr Würfe haben. Und je mehr würfe umso weniger wirkt es sich aus, jetzt habe ich es.
L: Jetzt schaut einmal auf die Prozent, wir sind ja ungefähr gleich. Welche Werte seht ihr?
S2: Ja so ungefähr 16?
L: Wenn wir das in einen Bruch schreiben wollen, wo sind wir da also ½ ist ja 0,5 dann wären wir 50%. Mit welchem Bruch kommen wir auf ca. 16 bzw. 0,16?

[…]

L: Ich sag es euch, 1/6. 1 durch 6 ist 16,6 periodisch. Fällt da schon was auf?

[…]

L: Wir haben 6 Zahlen zu würfeln.

S1: Also ist die Wahrscheinlichkeit 1 zu 6.

L: 1 zu 6. Das heißt bei allen ist dann plötzlich rausgekommen, wir haben alle ungefähr gleich gewürfelt, 1/6 1/6 1/6, … .

S2: Wenn wir jetzt überall 16,6 nehmen würden.

L: Ja genau. Das heißt, wenn wir zu Beginn gehen es sind alle gleich „schwer“ also gleich wahrscheinlich bzw. unwahrscheinlich zu würfeln.

Jetzt ein weiteres Experiment, leider durch Corona schon vorbereitet, da ich nicht sicher wusste, ob wir das in Präsenz durchführen können, deshalb habe ich es schon zuhause vorbereitet.

Und zwar wieder eine Excel Tabelle, ein Gefäß mit der ersten Roten, eine zweite Rote, dritte Rote, vierte Rote und eine schwarze also 4 rote und eine schwarz. Das haben wir verdeckt gezogen und wieder aufgeschrieben. Die Frage war wie oft zeihen wir die schwarze Kugel aus den 5 Kugeln. [Erklärung der Tabelle].

S2: Das heißt das Ziel herauszufinden wie oft muss man ziehen, um eine schwarze zu ziehen?

L: Ganz genau. Also was glaubt ihr, wie wahrscheinlich ist es hier die schwarze zu ziehen, wie ist hier die Verteilung?

S1: 1 zu 5.

L: Genau, wie würde wir es dann rechnen?

S1: 20 Prozent.

L: Genau 1 durch 5 ist 0,2 also 20%.

[… Video gezeigt]

L: Ich spule jetzt im schnellen vor, ihr könnt auf die Prozent schauen wie oft die schwarze gezogen wurde. 12, 13, 14, 13, 13, …

S2: Variiert dann die Abweichung der schwarzen je öfter Sie reingreifen? So wie beim Würfeln?

L: Ja genau, wird auch wieder immer weniger. Wir waren glaub ich e schon bei 20, genau nach 5 Züge und dann ziehen wir keine und wir sind um 3 Prozent abgerutscht und wir kommen wieder auf 20, das interessante werdet ihr gleichsehen, immer wieder auf 20. 18

Prozent 18, 19 und sind schon bei 150 Züge. Da kommt jetzt e eine schwarze 18,5 und 18,9 und haben eine Schwarze gezogen, also um 0,4 und vorher um über 3 Prozent.
S2: Ok jaja das ist wegen der deutlich erhöhten Anzahl der Versuche.
L: Genau. Und das schlimme ist wir sind bei 184 Züge und kommen schon hin bzw. jetzt bei 190 bei exakt 20% also 1/5 der gezogenen waren schwarz. Natürlich egal was wir jetzt zeihen wir kommen wieder weg.
S2: Aber das wollten sie ja erreichen.
L: Ja nur ich wollte diesmal nicht stoppen, sondern mehr. 19,7 sehr oft wieder bei der 20, 20,4 20,7 und spule wieder vor. Bei 275 Zügen sind wir wieder bei 20%. Diese Stichprobe ist wirklich schön, wir sind zwar zwischendurch wieder bei 19,2 also sehr weit weg, also sehr viele Rote zu viel, aber irgendwann kommen wir wieder zu die 20%. Es geht immer wieder weg, kommen immer auf die 20% zurück, genau 1/5. Nach 400 Zügen, der Schluss sogar wieder 20% also 80-mal die schwarze gezogen.
S2: Deshalb ist auch die Wahrscheinlichkeit 20% die schwarze Kugel zu ziehen.
UNTERBRECHUNG
L: Wir sind stehengeblieben, wir haben das zuerst mit den Würfeln dann mit den 5 Kugeln.
S1: Und jetzt noch die 2 Kugeln.
L: Richtig. Was ich leider letztens vergessen habe, die Ausgangsfrage war: Wo ist es wahrscheinlicher eine schwarze Kugel zu ziehen bei 4 rote und 1 schwarzen oder 1 Rote und 1 schwarzen Kugel?
S2: 1 Rote und 1 schwarze.
L: Was glaubst du S1?
S1: Ich bin seiner Meinung.
L: Gut schauen wir uns an. Beim ersten Video waren es immer bei die 20%. Das ist genau dasselbe nur mit einer schwarzen Kugel. [… Video zeigen]
Ich spule wieder etwas vor. Und wir sind hier wieder sehr schön wir pendeln um die 50 %. […]
S2: Hier weicht es ja wieder immer weniger ab, je mehr wir ziehen, oder?
L: Ja genau. Auch hier wieder, auch wenn wir immer wieder abweichen, wir kommen wieder auf die erwarteten 50% zurück.
Wie könnten wir diese Zahlen in Verhältnis setzen. Also beim Würfeln hatten wir ja 1/6, 6 mögliche Zahlen, die wir würfeln können und eine die wir wollen.
S2: Jetzt ½ oder?
L: Ja genau jetzt ½, weil wir 1 schwarze Kugel wollen und zwei Kugeln insgesamt.

S1: Und vorher 1/5.
L: Genau. ½ also 50% und 1/5 sind 20%. Wenn wir die Wahrscheinlichkeit berechnen wollen, sagt man die Günstigen, also die Anzahl, die man möchte, also 1 schwarze durch die Möglichen, also die Anzahl, die es insgesamt gibt.
S2: Und deshalb auch der Bruch, eine schwarze Kugel wollen wir und 2 Kugeln haben wir, ½.
L: Genau. Also ich habe mir das immer so gemerkt Anzahl Günstig, was wollen wir, durch Anzahl Möglich, was haben wir.
Die Wahrscheinlichkeit ist einfach eine Vorhersage, also einfach eine Schätzung, die wir auf Erfahrung der Vergangenheit gemacht haben, also wenn wir es oft machen, ah es kommt immer ungefähr 1/6 heraus und deshalb ist durch diese Erfahrung können wir die Zukunft schätzen, wir können sagen, wie der Ausgang ausgehen wird.

Bewertung
S2: Also ich habe es verstanden.
S1: Ja hat gepasst.

Wiederholung
L: Wiederholen, wer möchte?
S1: Der S2 möchte.
S2: Warum ich schonwieder. Na gut. Beim ersten Beispiel hatten wir 5 Kugeln und eine davon war die schwarze und wenn wir 5 Kugeln haben und das was Sie vorher gesagt haben Günstige durch Möglich die eine Schwarze haben wir also eine wollen wir ziehen und 5 haben wir also 1/5 das sind dann 20% also 20% Wahrscheinlichkeit die schwarze zu ziehen. Beim anderen haben wir wieder eine schwarze und zwei Kugeln, das heißt ½ das sind dann 50% die schwarze Kugel zu ziehen.
L: Sehr gut, genau das ist die Wahrscheinlichkeit. Beim nächsten Mal kommst du mir nicht aus S1, aber passt schon, war sehr gut.

Anwendung auf ein konkretes Beispiel
L: Hier seht ihr den Ausschnitt von Unokarten, die Zahlenkarten fehlen. Wie wahrscheinlich ist es eine blaue Karte zu ziehen?
S1: 6 zu 32 oder 3 zu 16. Genau das passt.
L: 0,1875 also wieviel Prozent?

S2: 18,75%.

L: Genau wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit eine Richtungswechsel zu ziehen.

S2: Es gibt 8 Richtungswechsel oder?

L: Ja.

S2: Das heißt 8/32.

S1: 1 zu 4.

L: Also wieviel Prozent?

S2: 25%.

L: Genau. Machen wir abschließend noch die Plus 4.

S2: Gekürzt sind das dann 1/8

S1: 0,125. 12,5%

L: Genau genau. Sehr gut, so können wir uns die Wahrscheinlichkeit berechnen.

Erklärung II (mit stetiger Zufallsvariable)

L: Jetzt kommt eine neue Erklärung. Jetzt gehen wir auf das Bogenschießen-Beispiel zurück. Wir haben uns immer die Wahrscheinlichkeit berechnet wo die Gesamtanzahl immer eine schöne endliche Zahl war also beim Würfeln 6, Kugeln 2 bzw. 5 und den Karten 32. Wenn man sich überlegt, wie wahrscheinlich ist es jetzt die Zielscheibe zu treffen oder eine bestimmte Fläche der Zielscheibe zu treffen ist es jetzt ein bisschen blöd, weil es gibt ja sehr sehr viele Möglichkeiten auf die Scheibe zu treffen. Also er kann da, da, da, da treffen. Wir haben irrsinnig viele Möglichkeiten, deshalb kommen wir mit dieser Rechnung nicht weiter. Jetzt hat man sich überlegt, wenn man keine endlichen Möglichkeiten hat, schaffen wir uns endliche Möglichkeiten. Im Fall der Zielscheibe so wie ich es eingezeichnet haben, wir teilen sie in Flächen ein. Die erste Fläche ist die kleinste in der Mitte, die zweite dieser Kreisring usw. . So wie bei den Profis wo sie unterschiedliche Punkte bekommen für unterschiedliche Bereiche. Und jetzt tun wir uns leichter, weil wir schon endliche Möglichkeiten haben. Nun vergleichen wir aber nicht die Anzahl, sondern die Größe. Das heißt wir schauen wie groß ist die Fläche des ersten Kreises, das wäre das Günstige, wenn wir wissen möchten, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist in den kleinen Kreis zu treffen und die Mögliche ist die gesamte Fläche. Also wieder ein Verhältnis zwischen der Fläche, wo wir die Wahrscheinlichkeit wissen wollen, durch die Fläche die Möglich ist. Natürlich wenn wir davon ausgehen, dass er die Scheibe trifft.

S2: 1 durch 5 oder?

S1: Nein da kannst du nicht 1 durch 5 rechnen, weil der Kreis hat ja weniger Fläche.

S2: Aja

L: Ja ganz genau. Die sind nicht alle gleich groß. Deshalb habe ich euch das ganze schon ausgerechnet. Die Radien sind [Tabelle gezeigt] 25 cm, der zweite 50 dann 75 100 125 cm. Und dann damit die Wahrscheinlichkeit durchgerechnet. Ich habe keine Werte gerechnet, die Fläche ist ja r^2* pi und beim Kreisring r2^2-r1^2 *pi usw. und wenn wir dann den kleinen Kreis nehmen, 625*pi durch die Gesamtfläche 15625*pi also 625/15625, weil sich das pi wegkürzt. Da kommt dann 4% raus. Beim zweiten Kreisring 12%, dann 20% 28, 36%. Und 100% das die Zielscheibe treffe, wenn ich davon ausgehe, dass ich nur die Scheibe treffen kann. Man sieht schon von der Größe her, die Fläche wird immer größer, 1 ist am kleinsten der Kreisring ein wenig größer und so weiter und die Wahrscheinlichkeiten werden auch immer größer. Ist gut, da eine kleinere Fläche schwieriger zu treffen ist, deshalb umso kleiner die Fläche umso kleiner ist die Wahrscheinlichkeit sie zu treffen.

Das erste was wir tun müssen in Bereiche teilen und mit den Flächen können wir dann die Wahrscheinlichkeiten berechnen. Es gibt dann noch ein Histogramm, einfach ein Diagramm wo es darum geht auf einen Blick sieht, wie die Verteilung der Wahrscheinlichkeit ist, wo bei welcher Fläche welche Wahrscheinlichkeit ist. Das macht man so, man nimmt sich einen Punkt, der auch im Diagramm in der Mitte ist und geht den Radius bei der Achse auch hinüber. Also wir wissen da ist r1 also auch beim anderen r1. Und genauso in die andere Richtung [an den Zeichnungen gezeigt beim Erklären]. In die y-Achse haben wir die Wahrscheinlichkeit aufgetragen. Das haben wir ja vorher berechnet und wie dieser Bereich, was der für eine Wahrscheinlichkeit hat. Also der kleine Kreis hat 4%, also da 4% in die Höhe, da 12% und so weiter. So sieht man eben r1 hat 4%, r2 hat 12% und so weiter. Und der Sinn dahinter, dass man sofort sieht, je weiter man aus der Zielscheibe rausgeht umso leichter also umso wahrscheinlicher ist es das man trifft. Das ist übersichtlicher, also visueller schöner sehen, überhaupt bei mehr Daten ist es auf einem Blick zu sehen.

S2: Es ist ja eigentlich das gleiche Prinzip wie bei den Würfeln.

L: Ganz genau, nur haben wieder Günstige durch Mögliche nur nicht mit Anzahl, sondern Fläche.

S2: Aja und deshalb haben wir vorher das mit Pi berechnet, weil das ist ja die Allgemeine Formel für die Kreisfläche bzw. Kreisringfläche.

Bewertung

L: Nun kommen wir wieder zu der Bewertung.

S1: Also ich hab es verstanden.

S2: Ja auch verstanden.

Wiederholen

L: Bitte S1 jetzt darfst du wiederholen.

S1: Wir haben besprochen auf der Zielscheibe die Wahrscheinlichkeiten wie hoch sie sind eine bestimmte Fläche zu treffen also wie hoch der Prozentsatz ist. Und dazu ein Diagramm dazu angeschaut das besser veranschaulicht wie hoch die Prozente sind. Berechnet haben wir es in dem wir die Flächen berechnet haben. Die Fläche des jeweiligen Stück durch die Gesamtfläche.

L: Und wie kann das Diagramm konstruiert werden?

S1: Auf der x-Achse den Radius und auf der y-Achse die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten auftragen.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Hier seht ihr einen Gullideckel skizziert. Ihr habt einen Kaugummi, den ihr in den Kanal werfen wollt. Jetzt wäre interessant wie wahrscheinlich es ist in die verschiedenen Löcher zu treffen.

S2: Ja man sieht, dass die hinteren Löcher viel kleiner sind und die in der Mitte am längsten, also man muss die Fläche ausrechnen von den verschiedenen Streifen und dann sieht man das es umso unwahrscheinlicher ist in die oberen reinzutreffen, weil die Fläche kleiner ist und in der Mitte da ist es am wahrscheinlichsten reinzutreffen, da sie am größten sind. Gerechnet, die Flächen durch die Gesamtfläche.

L: Ganz genau. Und wie könnten wir die Verteilung bzw. das Diagramm zeichnen, wenn wir alle Wahrscheinlichkeiten wissen?

S2: Dann wäre die Fläche von dem da am kleinsten abgebildet.

L: Also was brauchen wir als erstes um diese zu zeichnen?

S2: Diesen Punkt da.

L: Genau den Ursprung.

S2: Der Ursprung ist dann die kleinste Fläche.

L: Muss nicht sein. Kann aber natürlich. Wo würde er sich hier anbieten.

S2: Ich dachte, weil er beim vorigen beim kleinsten und dann immer größer.

L: Ja stimmt, aber hier hast du ja vorher richtig gesagt ist er in der Mitte am größten. Aber du kannst es ja individuell aussuchen. Wo gefällt er euch am besten?

S1: Ich habe die 4 kleinen gezählt und Werte angenommen und dann die 4 größeren und dann die großen.

L: Ok du hast alle 4 zusammengezählt. Aber das ist im Diagramm sehr schwer zu zeichnen. Ist auch möglich, aber ich würde es zum Beispiel so einteilen.
[Ich habe den Punkt in die Mitte und abgestuft eingezeichnet, 5 Bereiche]
Wie würde hier die Verteilung ausschauen?
[…]
Wie wäre die Verteilung in der Mitte?
S2: Die Frage ist jetzt welcher am wahrscheinlichsten ist zu treffen, oder?
L: Ja.
S2: Dann der in der Mitte.
L: Also muss es der kleinste oder größte Balken sein im Diagramm?
S2: Größte und auf der Seite werden sie immer kleiner.
L: Genau, genau.
[Ich habe sie skizziert]
L: Eine Möglichkeit wäre noch hier den Punkt hinzulegen [am Rand gezeichnet]. Dann wäre auf einer Seite nichts
S1: und dann kleinste, rauf, rauf, runter, runter.
L: Ganz genau.
S2: Und wenn ich ihn auf er anderen Seite hingebe den Punkt geht es trotzdem rauf, rauf, runter, runter.
L: Stimmt. Ihr könnt euch aussuchen wo, ganz egal. Wichtig ist nur, dass ihr vorher in Bereiche teilt. Damit ich Flächen berechnen kann.

Erklärung III (Zufall)
L: Jetzt werden wir die Wahrscheinlichkeit abrunden mit dem Determinismus, jetzt verbinden wir das Ganze. Und jetzt ist die Frage, was bedeutet für euch Zufall, an was denkt ihr, wenn ihr das Wort Zufall hört? Gebt mir ein Beispiel oder beschreibt es.
S1: Zufall ist für mich, wenn ich die Stufen rauf gehe und es haut gerade wer was runter und es trifft mich, also wenn jemand von dieser riesigen Fläche genau den kleinen Punkt trifft.
S2: Das ist aber auch wieder Determinismus, weil wenns jemand runter haut das Wetter mit physikalischen Gesetzen. Klar du stehst hald blöd das kann man natürlich auch als Zufall nennen. Irgendwie ist Determinismus auch dabei.
S1: Wenn man es so sieht, gibs entweder Determinismus entweder man sagt es sind die physikalischen Gesetze oder es ist Zufall.

S2: Naja, aber ist ja Zufall auch, dass du gerade auf diesem Punkt stehst, weil wo du stehst, kann man das auch mit physikalischen Gesetzen beschreiben, ja klar wenn ein Windhauch dich hinträgt.
S1: Die menschliche Psyche ist ein Rätsel, das ist immer die Wahrscheinlichkeit das ist immer dieser Faktor, wenn.
L: Ok das ist für euch Zufall. In diesem Kontext verwenden wir im Alltag das Wort Zufall, aber die Physik nicht. Ich erklär euch jetzt was die Physik sagt und wir kommen dann nochmal auf dieses Beispiel zurück.
Die Physik sagt es gibt zwei Arten von Zufällen, den subjektiven Zufall und den objektiven Zufall. Der subjektive Zufall ist im Prinzip das Würfeln, das heißt ich kann mir eine Wahrscheinlichkeit vom Ausgang berechnen, aber welche Zahl ich würfle ist ein subjektiver Zufall. Weil jetzt kommt der Determinismus wieder ins Spiel, wenn ich es wüsste, das was du am Anfang gesagt hast, die ganzen Anfangsbedingungen weiß, also wie schnell ich werfe, die Oberfläche, und so weiter …
S2: Dann ist es objektiv, oder?
S1: Nein du kannst ja noch immer nicht ganz beeinflussen, das ist ja das Ding du bräuchtest ja eine Maschine, die dir das genau runterfallen lässt.
L: Genau das ist der Punkt, wenn wir das wüssten, dann könnten wir das schon beeinflussen, wenn wir das alles wüssten, könnten wir eine bestimmte Zahl würfeln.
Also das ist der subjektive Zufall, weil es nur subjektiv unbekannt ist. Wir könnten es berechnen
S2: aber niemand machts
L: Als Mensch ist es fast unmöglich, ein Roboter könnte es wahrscheinlich. Von der Physik her spricht nix dagegen, dass wir uns berechnen können, wie wir eine bestimmte Zahl würfeln.
S2: Also man könnte den subjektiven so beschreiben, es ist möglich aber niemand machts.
L: Genau. Weil wenn wir es berechnen würden, wäre es ja kein Zufall mehr. Berechne ich mir wie ich eine 3 würfeln kann und würfle diese dann immer, ist es kein Zufall mehr.
S2: Ja dann zählt es nicht mehr als Zufall.
L: Erst, der Punkt ich könnte es mir berechnen tu es aber nicht, dann ist es subjektiver Zufall.
S2: Jaja. Das heißt, wenn man das wirklich alles berechnen könnte, würde es keine Zufälle geben.

L: Genau. Und jetzt kommt der objektive Zufall ins Spiel, der sagt. Selbst wenn ich alles weiß, wirklich alles also die Anfangsbedingungen und die physikalischen Gesetze, kann ich trotzdem nicht sagen was passiert.
S2: Gibs da ein Beispiel dazu?
L: Radioaktiver Zerfall. Wir wissen zwar das ein radioaktives Atom „zerfällt/zerplatzt“
S1: aber nicht genau wann
L: Aber nicht genau wann. Wir können nur sagen, dass es mit so und so einer Wahrscheinlichkeit zerfällt es in diesen 10 min.
S2: Man kann es nicht beeinflussen, wann es zerfällt so zu sagen
L: Aber wann es dann wirklich zerfällt, ist nach keiner Gesetzmäßigkeit, man hat keine Gesetzmäßigkeit gefunden. Es ist einfach zufällig.
S2: Aber es ist möglich noch eine Gesetzmäßigkeit zu finden.
L: Das ist jetzt ein philosophischer Aspekt, wenn du daran glaubst, dass wir irgendwann die Gesetzmäßigkeit finden, wäre es kein objektiver Zufall mehr, sondern ein subjektiver. Solang wir sagen, wir können es gar nicht, weil es einfach keinen Grund gibt, dann ist es ein objektiver Zufall.
S2: Das heißt, wenn wir irgendwann mal alle physikalischen Gesetze rausfinden, kann es sein, dass es keine objektiven Zufälle mehr geben wird. Was natürlich schwer wird, aber ja.
Kann man die Wahrscheinlichkeit berechnen, dass in 20 Jahren dieser Atomkern zerbricht, das geht?
L: Ja das geht, eben nur aus Erfahrung, eben das was wir vorher gemacht haben.
S2: Das heißt man bracht mehrere Atomkerne, aus Erfahrung das man weiß wann diese zerbrochen sind und so ist die Wahrscheinlichkeit
S1: Schön gesagt.
L: Genau. Ist ja genauso wie beim Würfeln, das wissen wir auch nur die 1/6, das haben sie nicht einfach gewusst, sondern durch häufiges Würfeln gesehen.
S2: Das heißt wenn ich 5-mal die 5 würfle ist das ist das vergleichbar mit 5-mal ist der Atomkern nach 5 Stunden zerbrochen.
L: Ja. Weil wenn jetzt zum Beispiel von 1000 radioaktiven Atomkernen sind in einer gewissen Zeitspanne 800-mal zerfallen, damit können wir sagen, dass mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit das nächste in dieser Zeitspanne zerfällt.
S1: 80%ige Wahrscheinlichkeit.
S2: also einfach 800/1000

L: Aber eins möchte ich nochmal festhalten. Die Quantenphysik sagt, für den Zerfall gibt es keinen Grund keine Gesetzmäßigkeit, es ist einfach zufällig. Die Natur lässt sich nicht in die Karten schauen, das ist Zufall.

Bewertung

L: Bewertung, verstanden?

S2: Glaub schon.

S1: Mhm.

Wiederholung

L: Wer möchte es wiederholen?

S2: Ja ok dann mach es ich. Also es gibt zwei Arten von physikalischen Zufällen, den subjektiven und den objektiven Zufall. Beim subjektiven ist es so, dass es möglich ist das Ergebnis also die Zukunft was da raus kommt vorherzusagen, mit bestimmten Mitteln/Techniken, die aber niemand benutzt, also das macht keiner, außer Physiker vielleicht.

S1: Aber es ist möglich, man könnte

S2: Ja genau, es ist möglich, aber die meisten machen es einfach nicht. Beim Objektiven ist es so, dass man bis jetzt noch keine Gesetzmäßigkeiten gefunden hat, wie man das Ergebnis oder die Zukunft beeinflussen kann. Beispiel mit dem Atomkern, dass man einfach nicht weiß, ja gibt es irgendwas, dass es vorhersagen kann, wann der jetzt zerfällt oder so, weil man das einfach noch nicht herausgefunden hat.

L: Sehr gut, ich würde noch hinzufügen, der Atomkern zerfällt nach keiner Gesetzmäßigkeit, es stimmt schon mit dem Vorhersagen, aber nicht auf das Vorsagen bezogen, sondern auch, dass es passiert, also der Vorgang passiert nicht nach einem Gesetz, sondern immer unterschiedlich.

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

L: Beschreibe den Unterschied folgender beiden Beispiele von Zufällen: Der Münzwurf und die Evolution der Lebewesen.

S2: Der Münzwurf ist subjektiv, weil da kann ich schon beeinflussen wie wirf ich die Münze und Evolution der Lebewesen kann man nicht beeinflussen.

Team B

Erklärung Teil I (mit diskreter Zufallsvariable)

L: Nun kommen wir zum nächsten Thema, die Wahrscheinlichkeit. Es wird jetzt ein wenig mathematischer.

S4: Hat was mit Karen zu tun.

L: Werden sehr gerne als Beispiel hergenommen. Ich habe mal mit dem Würfeln begonnen. Die Frage ist

S4: Welche Wahrscheinlichkeit eine 6 zu treffen?

L: Ja zunächst einmal, was glaubt ihr welche Zahl ist am schwersten zu würfeln?

S3: Das kann man nicht bestimmen, das ist überall gleich. Man kann es sich nicht ausrechnen.

S4: Ich denke man kann es sich ein bisschen ausrechnen.

L: Aber glaubt ihr grundsätzlich, dass eine Zahl schwerer zu würfeln ist?

S3+4: Alle gleich schwer.

L: Wir werden das jetzt überprüfen. Ihr könnt gleich würfeln und ich notiere es.

[…]

Ich würde hier gerne aus zeitlichen Gründen stoppen. 23 Würfe,

4-mal die 1

2-mal die 2

3-mal die 3

3-mal die 4

4-mal die 5 und

7-mal die 6 gewürfelt.

Ihr seht, mehr als 3-mal so oft die Sechs als die Zwei, also sehr unterschiedlich. Ich habe mir ein wenig Zeit genommen zuhause und 232-mal gewürfelt.

39-mal die 1

37-mal die 2

39-mal die 3

41 die 4

38 die 5

37 die 6.

S4: Alle sehr knapp.

L: Genau, hier sieht man schön, also es sind zwar auch 4 Unterschied, das selbe wie bei euch, aber bei dieser hohen Anzahl ist prozentuell gesehen fast nichts mehr um. Bei euch waren 8,6% aller würfe die 2 und 30 % die 6, bei mir sind es nur knappe 2%. Man sieht, je größer die Stichprobe wird

S3: Desto kleiner der Abstand.

L: Desto weniger wirkt sich das aus, wenn ihr daneben seid, also bei einer so großen Zahl ist um eins daneben fast egal und viel weniger als bei wenig Würfen.

Nach 232 Würfen habe ich jede Zahl ungefähr gleich oft geworfen. Ich habe hier gestoppt, sobald alle ungefähr gleich sind. Ich habe es ein zweites mal probiert, da ist es bei knappen 400 soweit gewesen, dass die Anzahl fast gleich ist.

Also irgendwann kommt immer der Punkt wo, es ungefähr gleich ist.

Wenn wir auf die Frage zurückkommen, bedeutet das, dass alle Zahlen gleich schwer zu würfeln sind.

Also auch von der Mathematik her gesehen, sind alle gleich schwer also gleich wahrscheinlich bzw. unwahrscheinlich zu würfeln.

Wenn ihr euch jetzt die Prozente anschaut

S3: Alle ungefähr 16%.

L: Ja und wenn wir das als Bruch schreiben wollen würde, also 50% sind ja 0,5 also ½, 0,2 sind 20% also 1/5, können wir die 16% auch so in ein Verhältnis setzen?

[…]

1/6 ist 16,6 periodisch also alle sind bei ungefähr 1/6. Also die Wahrscheinlichkeit, dass ihr eine 1 würfelt ist

S3+4: 1/6

L: Genau und die 2.

S3: Wieder ein 1/6. Also für alle 1/6, weil es 6 gibt und eine würfeln.

L: Ja richtig, sehr gut. Das ist sehr interessant, dass wenn wir das oft durchführen auch immer auf diese Prozente kommen.

Bevor wir das mathematisch abrunden, habe ich noch ein Beispiel vorbereitet. Und zwar ich habe das mit Kugeln auch durchgeführt. Ihr werdet es gleichsehen, leere Schüssel, rein gegeben wurden eine rote eine zweite rote eine dritte rote eine vierte rote und eine schwarze Kugel.

Die Frage war, wie wahrscheinlich ist es die schwarze Kugel zu ziehen.

[… Tabelle erklärt und gezeigt]

Ihr seht hier schon 18, 20. Hier am Beginn wirkt sich ein Zug noch sehr stark aus, später nicht mehr so stark, werdet ihr aber e sehen.
Ich spule jetzt ein bisschen vor, jetzt sind wir zwischenzeitlich bei 10% herunten.
[…]
Jetzt sind wir schon bei 155 Zügen und bei 18%.
Jetzt sind wir genau bei 20.
S3: Ahh 1/5 also 20% ist es hier.
L: Genau.
S3: Es bleibt immer im Bereich der 20%.
[…]
L: Also man sieht, wie ihr selbst gesagt habt, wir kommen immer wieder auf die 20% also 1/5 zurück. Also 1/5 der Züge haben wir eine schwarze Kugel gezogen.
Ich habe das gleiche Experiment mit zwei Kugeln durchgeführt. Eine rote und eine schwarze Kugel.
S4: Jetzt ist die Wahrscheinlichkeit höher ,oder?
S3: Ein halbes.
L: Ja genau, sehr gut.
[…]
Auch hier sehen wir, wir sind immer in der Nähe der 50% die wir vorgeahnt haben bzw. wir kommen immer wieder zurück. Und bei der Anzahl seht ihr auch schön, dass es immer fast gleich ist.
[…]
Und berechnen, ihr habt es intuitiv e immer schon richtig berechnet. Immer müsst euch immer nur überlegen, wieviel möchte ich, also bei den Kugeln 1 schwarze Kugel die ich ziehen möchte ist im Zähler und im Nenner wie viele insgesamt da sind also im ersten Fall 5 also durch 5 und da jetzt 2 also durch 2. Somit 1 durch 5 also 1/5 bzw. 1 durch 2 also ½. So können wir uns Wahrscheinlichkeiten berechnen, wie viele möchte ich durch wie viele habe ich. Das interessante ist, dass das Experiment auch wieder die Wahrscheinlichkeit bestätigt. Früher ist man durch diese Experimente auf diese Berechnung gekommen. Die Wahrscheinlichkeit ist also eine Vorhersage/Schätzung, die auf der Erfahrung in der Vergangenheit beruht.

Bewertung

L: Bewertung bitte.

S3: Super, ich verstehe es.
S4: Ich auch.

Wiederholung
S3: Umso mehr rote Kugeln du hast umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit die schwarze Kugel zu ziehen. Und wenn wir gleich viele schwarze wie rote Kugeln haben, ist die Wahrscheinlichkeit ungefähr gleich groß die schwarze zu ziehen.
L: Und berechnen?
S3: In Bruchzahlen. Wenn du 5 rote Kugeln hast und 2 schwarze Kugeln dann 2/7.
L: Genau, was sind die 2 und die 7.
S3: Die die wir haben wollen durch die Gesamten.
L: Ja sehr schön.

Anwendung an ein konkretes Beispiel
L: Es sind hier alle Uno, abgesehen der Zahlenkarten, abgebildet und die Frage ist jetzt wie wahrscheinlich ist es von diesen Karten eine blaue Karte zu ziehen?
S3: Also 2 zu 8.
L: Für jeden Stapel und insgesamt?
S3: 6 zu den ganzen Karten, 32.
L: Genau genau, also entweder 6 durch 32 oder eben 2 zu 8 also eben ¼.
Und wie ist es das wir eine Richtungswechsel ziehen?
S3: 8 zu 32.
L: Wieviel ist das?
S3: 8/32. 4
L: Also wie wahrscheinlich ist es dann?
S3: Naja 8/32. ¼.
L: Genau 25%.

Erklärung Teil II (mit stetiger Zufallsvariable)
L: Jetzt haben wir eine andere Variante der Wahrscheinlichkeit. Beim Würfeln hatten wir 6 Möglichkeiten 1,2,3,4,5,6 bei den Kugeln einmal 5 einmal 2 insgesamt, bei den Karten 32, also Anzahl der insgesamt Möglichen. Wenn wir uns jetzt an der Bogenschützenbeispiel erinnern und uns fragen, wie wahrscheinlich ist es auf die Zielscheibe zu treffen wird es schwierig, weil es gibt ja viele Möglichkeiten, man kann ja da, da, da, da [auf die Ziel-

scheibe gezeigt] treffen, das wird mit dem Zählen mühsam, also mit der Anzahl kommen wir da nicht weiter. Deshalb überlegt man sich, das erste wichtige ist, man teilt das Ganze in Bereiche ein. E wie beim Dart, Bogenschießen, also z.B. den innersten Kreis und dann die Kreisringe und jeder davon ist ein Bereich.
Dann überlegt man sich nicht die Anzahl, also wieviel gibt es die wir wollen und wieviel gibt es insgesamt, sondern jetzt vergleichen wir die Flächen. Das heißt wir sagen der erste Bereich da ist
S3: Kleiner, also der kleinste.
L: Ja stimmt. Also wir rechnen uns den Flächeninhalt von dem Kreis aus und setzen ihn in Verhältnis, im selben Bruch wie vorher, mit der gesamten Fläche. Fläche von dem Stück was wir wollen durch die gesamte Fläche. Dann haben wir die Wahrscheinlichkeit, dass wir in diese Fläche treffen.
Wenn wir uns fragen diese Flächen, dann müssen wir uns die Kreisringfläche ausrechnen.
S3: Und dann wieder durch die ganze Fläche.
L: Genau, dann wissen wir wie wahrscheinlich es ist in diese Kreisringfläche zu treffen.
Es macht dann keinen Unterschied, ob wir da, da oder da treffen, es gilt dann jeder Punkt in dieser Kreisringfläche.
S3: Und umso größer die Fläche umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass du hineintriffst.
L: Ganz genau. Und das passt dann auch wieder mit der Rechnung zusammen, denn je höher die Fläche ist umso größer ist die Zahl im Zähler und somit auch die Wahrscheinlichkeit.
Ich habe das Ganze in einer Tabelle vorgerechnet. Die Zahlen sind an sich nicht so wichtig, nur damit ihr es auch an konkreten Zahlen seht.
Beim Radius ist gemeint vom Punkt in der Mitte
S3: Bis zu dem [hingezeigt].
L: Genau. Der gesamte Radius ist auch gleichzeitig r5.
Bereich 1 und 5 sind Kreise also die Fläche r Quadrat Pi. Ich habe das mit Pi deshalb gelassen, weil so sind es schöne anschauliche Zahlen und dadurch dass wir das wir immer Verhältnisse berechnen, also zwei vergleichen, da kürzt es sich sowieso weg. Also da die gesamte Fläche, hier die kleinste Fläche mit 25 cm und der Radius wird immer um 25 cm größer.
Natürlich ab der zweiten Fläche müssen wir aufpassen, haben wir einen Kreisring, also großer Radius zum Quadrat Minus kleiner Radius zum Quadrat mal Pi rechnen.

S3: Ja klar.

L: Und dann habe ich die Wahrscheinlichkeiten gerechnet, der Radius wird ja immer um den gleichen Sprung mehr, also immer um 25 cm größer, also wird auch die Wahrscheinlichkeit immer um den gleichen Wert größer.

Also man sieht hier eben die Wahrscheinlichkeiten für die Flächen.

S3: Es wird immer größer.

L: Richtig, die Flächen werden immer größer.

S3: Je größer die Fläche des do wahrscheinlicher ist es.

L: Genau. Also wir haben eine Wahrscheinlichkeit von 4% das du in den ersten Kreis, 12% in den Kreisring usw. Und wenn wir die Wahrscheinlichkeiten zusammenrechnen, haben wir 100%, weil wir haben ja gesagt man kann nur treffen.

S3+4: Ja.

L: Bei 5 Bereiche ist so eine Tabelle ja noch sehr übersichtlich und schön, aber wenn da 20,30 oder noch mehr Werte stehen, wird das unübersichtlich das man wirklich schon lesen und vor allem interpretieren kann.

S4: Das wäre dann zu viel.

L: Ja, deshalb hat man sich einfallen lassen, es an einer Verteilungsfunktion darzustellen, damit wir es an einem Bild schön sehen kann. Das ist ein Histogramm.

Dafür braucht man als erstes die gleiche Achse, dann den Mittelpunkt, den wir auch einzeichnen und die gleichen Radien zeichnen wir ein. Das heißt, dass hier ist r1, von dem Punkt zur ersten Kante, das hier ist r2.

S3+4: Es wird immer größer.

L: Genau. Dasselbe in die andere Richtung, so haben wir alle Bereiche, die wir eingeteilt haben. Und jedem Bereich gibt man dann ihre dazugehörige Wahrscheinlichkeit. Das heißt wir wissen, der Bereich ist natürlich nur die halbe Scheibe, da wir vom Ursprung bis zum r1, also die halbe Fläche also

S4: Also 2%.

L: Genau und wenn wir beide gemeinsam nehmen, haben wir wieder die

S4: 4%.

L: Richtig.

S3: Das ist jetzt bei jedem Punkt. Da 12%, a nein 6%.

S4: Und so weiter.

L: Genau. Ich könnte das im Diagramm natürlich beschriften, aber man sieht am Diagramm auf einem Blick, ohne lang schauen zu müssen, dass die Wahrscheinlichkeit am Anfang
S4. Klein ist und nach außen immer größer.
L: Genau. Also ohne die genauen Werte zu wissen, kann ich hier schon einiges abschätzen, vor allem bei vielen Werten bzw. Bereichen.
Das ist eben mit der Verteilungsfunktion.

Bewertung
L: Bewertung?
S3: War super.
S4: Ich muss überlegen. Ich fand es übersichtlich, ich habe es verstanden, sogar die Rechnungen verstanden.
L: Sehr schön.

Wiederholung
L: Wer möchte es wiederholen.
S4: Es wird nicht von einzelnen Karten, sondern von einem gesamten Bereich gemacht. Wenn man sich das Beispiel ansieht. Die einzelnen Flächen werden größer, das heißt auch die Wahrscheinlichkeit wird größer und man kann sich dann auch noch ausrechen, wie die Wahrscheinlichkeit ist.
L: Wie geht das Ausrechnen nochmal, wenn man sich zum Beispiel fragen vom innersten Kreis?
S4: Da muss man mit einem Bruch rechnen. Den Radius durch den gesamten Kreis rechnen.
S3: Den kleinen Kreis durch das Gesamte.
S4: Durch das Gesamte ja.
L: Und was vom Kreis müssen wir nehmen zum Rechnen?
S4: Die Flächen.
L: Genau, also die Fläche von dem kleinen Kreis durch die Fläche des Gesamten Kreises.
S4: Dann hat man die Wahrscheinlichkeit.
L: Ja genau. Also zuerst haben wir immer von Anzahl gesprochen, jetzt sprechen wir von Flächen.
Und wieso rechnen wir hier mit Flächen nochmal?

S3: Weil es zu viele Punkte gibt, wo man hin treffen kann.

L: Genau. Was muss man als erstes machen, damit wir uns Wahrscheinlichkeiten ausrechnen können?

S3: In der Hälfte teilen.

L: Ja wäre eine Möglichkeit.

S3: Vierteln, Achteln.

S4: Was auch immer.

L: Genau und wie war das mit diesem Diagramm nochmal?

S4: Da hat man es übersichtlicher. Es ist das gleiche wie die Tabelle nur geteilt.

L: Ja und was tragen wir in diese Richtung auf?

S4: Den Radius.

L: Und in die Höhe?

S4: Kommen die Wahrscheinlichkeiten.

L: Ja richtig.

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

L: Ich habe einen Kanaldeckel herausgesucht und skizziert. Möchte man jetzt einen Kaugummi hineinwerfen und man sich fragt, wie wahrscheinlich es ist, in die verschiedenen Löcher zu treffen?

Wie gehen wir da vor?

S3: In Teile aufteilen.

L: Genau. Wie würdest du es aufteilen? Es gibt viele, welche gefällt dir am besten?

S3: In der Mitte. Hm, nein. Man könnte es so in Streifen.

L: Ja das gefällt mir sehr gut.

[S3 zeichnet ein]

S3: Also die Gesamtfläche brauchen wir mal.

L: Ja.

S3: Und jetzt brauchen wir die Streifen, oder?

L: Wenn wir wissen wollen, wie wahrscheinlich es ist in eines der Streifen zu treffen dann ja. Wie müssten wir das dann rechnen?

S3: Die Fläche des Streifens durch die Gesamte.

L: Genau. Nur dann wissen wir nicht, dass er reingeht, sondern er kann ja jetzt hier auch rauffallen.

S3: Also muss man die beiden Flächen zusammenzählen?

L: Jaa. Dann wäre unser Bereich das und das [auf der Skizze gezeigt]
S4: Und das müssten wir ja wieder mit der gesamten Fläche dividieren.
L: Ja genau. Super. Wie könnten wir das in ein Histogramm eintragen, was brauchen wir zu Beginn?
S4: Einen Punkt müssen wir setzen.
L: Ja richtig, wo setzen wir den hin?
S4: Hier. [Auf dem linken Ende]
L: Ok. Gut, das heißt links vom Punkt können wir nicht reintreffen da brauchen wir nichts zeichnen.
S4: Dann beginnt es mit dem kleinsten und wird immer größer.
L: kleinste, größer, größer [ich zeichne auf], und dann.
S3: kleiner, kleiner.
L: Genau. So würde es ausschauen. Sehr gut.
S4: Wenn wir das noch weiter links setzten, wäre es zuerst flach und dann genau gleich wie hier [S4 zeichnet].
L: Jaa ganz genau. Wirklich super.

Erklärung Teil III (Zufall)
L: Wir haben noch ein letztes Thema im Bereich der Wahrscheinlichkeit. Was bedeutet für euch Zufall? Wann ist etwas zufällig oder das ist für euch Zufall. Versucht es so oder mit einem Beispiel zu beschreiben.
S3: Ich verstehe das Wort Zufall nicht, weil ich glaube nicht an Zufälle. Ich glaube, dass alles irgendwie gewollt ist.
L: Ja ok, interessante Antwort.
S4: Ich glaube auch, dass das meiste gewollt ist, aber es gibt schon auch Zufälle. Ein Zufall ist zum Beispiel ein Freund, den du seit Ewigkeiten nicht mehr gesehen hast.
L: Das was du jetzt gemeint hast, wird in der Alltagssprache häufig als Zufall bezeichnet. Die Physik sagt, nennt so etwas nicht als Zufall. Dann ist die Frage was ist für die Physik dann Zufall, wissenschaftlich gesehen? Die Physik teilt den Zufall in einen subjektiven und objektiven Zufall.
Subjektiver Zufall ist z.B. das Würfeln
S3: Würfeln einer Zahl.
L: Genau, oder ziehen einer Karte bzw. einer Kugel, die wir zu Beginn hatten. Jetzt kommen wir auf den Determinismus zu Beginn zurück. Da haben wir ja gesagt, wenn wir alle

Anfangsbedingungen und die physikalischen Gesetzt wissen, wissen wir den Ausgang. Das heißt, wenn wir würfeln und wir wissen alles vom Würfel, also Gewicht, Oberfläche, Geschwindigkeit, Winkel usw. dann könnten wir mit den physikalischen Gesetzen berechnen was wir würfeln. Also wir könnten es berechnen den Ausgang, aber der Mensch macht es nicht bzw. kann es nicht in der Schnelle nicht. Aber aus physikalischer Sicht könnten wir es berechnen.
Subjektiver Zufall ist es also dann, wenn wir den Ausgang berechnen könnten, aber nicht tun. Subjektiv deshalb, weil es eben nur subjektiv, für uns gesehen, unbekannt ist.
Objektiver Zufall ist es dann, wenn es für alle Zufall wäre.
S3: Also es kann niemand berechnen.
L: Ja, nur nicht nur weil niemand es kann sondern, weil es nicht möglich ist zu berechnen.
S4: Was wäre ein Beispiel dafür?
L: Ein Beispiel dafür wäre der radioaktive Zerfall. Bei einem radioaktiven Atom ist es ja so, dass es zerfällt, zerplatzt, aber wann es zerfällt.
S4: Weiß niemand.
L: Weiß niemand, man berechnet sich Wahrscheinlichkeiten.
S4: In welchem Zeitraum, aber man weiß nicht genau wann.
L: Genau, man sagt zum Beispiel mit 90 prozentiger Wahrscheinlichkeit zerfällt es in der nächsten Stunde. Aber wann genau oder ob es nicht doch länger braucht, weiß man nicht. Die Wahrscheinlichkeit kommt ja, wie wir gelernt haben, nur durch Erfahrungswerte. Also man hat sich zum Beispiel 1000 davon angesehen und 900 sind genau in einem bestimmten Zeitintervall zerfallen, dann können wir sagen mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% zerfällt es in diesem Zeitintervall, paar wenige sind früher oder später zerfallen. Aber wann es genau passieren wird, wissen wir nicht, das passiert einfach zufällig. Die Physik sagt, dass es keine Ursache existiert, wann es passiert. Dieser Zufall ist eine grundlegende Natureigenschaft. Die Natur lässt sich nicht in die Karten schauen. Das ist ein objektiver Zufall.

Bewertung

L: Bewertung über den Zufall bitte.
S4: Ich würde noch gerne mehr Beispiele wissen zum objektiven Zufall wissen, aber ansonsten war es super, alles verstanden.
S3: Ich habe alles verstanden.

Wiederholung

L: Wer möchte diese Erklärung wiederholen?

S3: Also es gibt den subjektiven Zufall, das ist zum Beispiel jetzt Dart spielen, alles was man berechnen kann.

S4: Der Objektive ist, wenn man es sich gar nicht ausrechnen kann und es einfach nur Zufall ist. Also der Ausgang.

Anwendung auf ein konkretes Beispiel

L: Der Münzwurf und die Evolution der Lebewesen, was sind das für Zufälle?

S3: Der Münzwurf ist ein subjektives Beispiel, weil man es sich berechnen kann und die Evolution der Lebewesen kann man nicht berechnen also das ist einfach zufällig also ein objektiver Zufall.

Team C

Erklärung Teil I (diskrete Zufallsvariable)

L: Wir kommen jetzt zur Wahrscheinlichkeit, zu ein paar Themen. Was glaubt ihr, welche Zahl ist am schwersten zum Würfeln?

S5: Alle sind gleich wahrscheinlich.

S6: Denk ich auch.

L: Alles klar, schauen wir uns an. Ihr könnt würfeln, ich schreib das in meinem Programm mit. Da zählt es die Anzahl jeder Zahl und da auch noch in Prozent. Wieviel Prozent

S6: Von dem Ganzen.

L: Von allen. Ja. Könnt abwechselnd würfeln.

[… S5+S6 würfeln und L trägt ein]

L: Wir sind jetzt bei 10 würfe. Schauen wir es uns an.

Die 1 und 5 kein einziges mal gewürfelt.

2-mal den 2er, 4er und 6er.

4-mal den 3er.

Relativ unterschiedlich. Bei den Prozenten sieht man es auch, wesentlicher Unterschied.

S6: Ja.

L: Ich habe das jetzt mit deutlich mehr würfen durchgeführt und das können wir uns mal anschauen. Genau genommen 232 würfe, weil hier war es das erste mal so, dass alle Zahlen ungefähr gleich gewürfelt wurden.

S6: Hm.

L: Also ich sag jetzt einmal von der Anzahl her jetzt nicht so eindeutig, aber bei dieser Anzahl an würfen ist es schon sehr nahe, was ihr an den Prozenten seht, da sind wir schon sehr nahe. 1,7%, ist ja nicht viel.

So, diese Prozentzahlen sind alle sehr nahe der 16,6 periodisch. Das ist nämlich genau 1/6. Also wären alle gleich oft gewürfelt, würde überall 16,6 % stehen. Also es stimmt was ihr vorhergesagt habt, man kann nicht sagen, dass eine Zahl schwerer zu würfeln ist, es sind alle gleich schwer, weil bei einer hohen Anzahl an würfen kommen alle gleich oft vor. Je öfter wir würfeln umso genauer kommen wir zu diesem Ergebnis. Bei euch waren wir noch weit weg von, es sind alle gleich, aber hier sind wir schon sehr nahe. Das heißt, dass sagt uns die Wahrscheinlichkeit, alle sind gleich wahrscheinlich. Also alle gleich schwer, leicht zu würfeln heißt mathematisch gleich unwahrscheinlich, wahrscheinlich zu würfeln.

Bevor wir das mathematisch genauer analysieren ein weiteres Experiment. Und zwar eine leere Schüssel mit einer Decke darüber und es wird immer eine Kugel gezogen. Zwei getrennte Durchgänge. Einmal mit 5 Kugeln, 4 rote 1 schwarz und mit 2 Kugeln, 1 rot 1 schwarz. Und das Ziel bzw. Frage ist, wo ist es schwerer die schwarze Kugel zu ziehen? Bei 4 roten und 1 schwarzen oder 1 roten und einer schwarzen Kugel. Was glaubts ihr?

S5+6: 1 roten und 1 schwarzen Kugel.

L: Alles klar schauen wir uns an.

S5: Weil die 100% bei mehr roten Kugeln auf mehr aufgeteilt wird und bei 2 Kugeln 50/50.

L: Schön. Das schauen wir uns an.

0 heißt ich habe die schwarze Kugel nicht gezogen, 1 die schwarze Kugel gezogen. Hier zählt es die Anzahl von den gezogenen also schwarz. Hier Anzahl nicht gezogen, also rot. Hier Züge insgesamt. Und ganz unten die Anzahl der schwarzen gezogen in Prozent.

Wir können jetzt gleich schauen, du hast vorher gesagt die 100 Prozent teilen sich auf die fünf Kugeln auf, wieviel sollte es dann für die schwarze sein.

S5+6: 20 Prozent.

L: Genau, schauen wir.

[… Video gezeigt]

L: Wir haben gesehen wir waren immer wieder bei unsere erwartenden 20%. Manchmal mehr manchmal weniger weg, aber es kommt immer wieder zurück.

Genau dasselbe kann ich euch mit den zwei Kugeln zeigen.

Wieviel Prozent sollten wir hier haben?

S6: 50 Prozent.

L: Genau.

[… Video gezeigt]

L: Auch hier stimmen wieder diese 50 Prozent immer wieder. Das ist jetzt die Wahrscheinlichkeit. Die Wahrscheinlichkeit eine schwarze Kugel zu ziehen, liegt bei 20 bzw. 50 Prozent. Die Wahrscheinlichkeit ist also eine Vorhersage, Schätzung, die auf der Erfahrung in der Vergangenheit beruht. Also wir versuchen mit einer kleinen Strichprobe die Ergebnisse in der Gesamtheit vorherzusagen. Und die Mathematik stützt das Ganze. Beim Würfeln zum Beispiel, wenn ich wissen möchte, wie wahrscheinlich ist es eine 6 zum Würfeln also eine Zahl möchte ich wissen also 1. Dividiert durch alle Möglichkeiten, die es gibt, 6. Also 1 durch 6 also 0,166 periodisch also 16,6 periodisch Prozent. 5 Kugeln davon eine schwarze die ich möchte also 1 durch 5 also 0,2 somit 20 Prozent. Man spricht hier oft kurz, die Günstigen, gewünschten Möglichkeiten, durch die Möglichen, alle Möglichkeiten.

Wichtig die Anzahl der gewünschten Möglichkeiten durch die Anzahl aller Möglichkeiten, man zählt es ab. Ein Teil der Wahrscheinlichkeit.

Bewertung

L: Bitte bewerten.

S6: Es war wieder sehr gut erklärt und bin mitgenommen. Es war logisch, es erklärt sich teilweise von selbst.

S5: Es war simple und man ist gut mitgenommen.

Wiederholen

L: Wiederholen möchtest du jetzt S6?

S6: Ja das man durch die Erfahrung und Mathematik sagen kann, wie wahrscheinlich es ist beim Würfeln oder anderen Sachen zu einem Ergebnis zu kommen und zu welchem Ergebnis zu kommen und wie wahrscheinlich es ist.

S5: Und berechnet mit der Anzahl das was man haben will durch die Anzahl der Möglichkeiten.

L: Ganz genau.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Ihr seht ihr auf dem Bild alle Uno-Karten, abgesehen von den Zahlenkarten, und jede Farbkarte gibt es zwei Mal. Jetzt ist die Frage von diesen Karten, wenn wir sie zusammenmischen würden, wie wahrscheinlich es ist eine blaue Karte zu ziehen?

S6: Wir brauchen mal eine Formel.

S5: Die Möglichkeiten und die Anzahl der blauen Karten.

S6: Also 32 Möglichkeiten. 6 Blaue.

L: Genau. Also ist die Wahrscheinlichkeit ist somit?

S5: 6 durch 32. 6 32igstel

L: Da kommt 0,1875

S6: 18,75%

L: Genau. Und Richtungswechsel, wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit eine Richtungswechsel zu ziehen?

S6: ¼. Also 25%.

L: Super. Und eine blaue Richtungswechsel?

S6: 2 durch 32.

L: 0,0625.

S6: 6,25%

L: Sehr schön.

Erklärung Teil II (stetige Zufallsvariable)

L: Das war die erste Möglichkeit sich Wahrscheinlichkeiten auszurechnen. Gehen wir jetzt zum Bogenschießen zurück. Und zwar, wenn man sich überlegt, man schießt auf eine Zielscheibe und möchte sich die Wahrscheinlichkeit ausrechnen, haben wir mit dieser Formel ein Problem. Es würde hier sehr viele Möglichkeiten geben. Wenn ich mir überlege, wo ich überall hin treffen, wäre das auf der großen Zielscheibe schwer zu zählen. Ich könnte ja hier hier hier [mit dem Stift auf dem Zettel hingezeigt] hin schießen. Also Anzahl der Stellen wo ich hin schießen möchte durch die Anzahl der Stellen, wo ich hin schießen kann, kommen wir nicht mehr weiter. Das heißt, wir müssen die Formel ein wenig anpassen. Als erstes müssen wir den Bereich, also die ganze Zielscheibe, in Bereiche einteilen. Also bei so einer Zielscheibe kennt man das ja, dass es so in Ringe unterteilt werden. Also der Kreis in der Mitte ist mit eins bezeichnet, dann der Kreisring darüber mit 2, der mit 2 und so weiter. Wir haben die Gesamte Fläche in einzelne Flächen eingeteilt. Anstatt das wir jetzt sagen, wir nehmen die Anzahl der Flächen, weil wenn wir die Anzahl nehmen

S6: 1 zu 5.

S5: Aber die äußerste ist die größte. Und statistisch gesehen ist die äußerste am ehesten zu treffen.

L: Ja genau, aber das könnte ich mit dieser Formel nicht mehr rechnen, weil sie unterschiedlich groß sind, aber jeder Bereich hätte mit der Anzahl 1/5 Wahrscheinlichkeit. Also wie du gesagt hast, stimmt aber nicht, weil der Größte Bereich müsste am wahrscheinlichsten sein. Und um das zu schaffen, dass das auch mathematisch passt, vergleichen wir nicht die Anzahl, sondern die Flächen. Das heißt wenn wir wissen wollen, wie wahrscheinlich es ist in den kleinen Kreis zu treffen, nehmen wir die Fläche, des kleinen Kreises, das ist ja unser günstiges das wollen wir wissen, durch die Gesamtfläche, also die Fläche die Möglich ist zu treffen. Also die Formel ist eigentlich recht ähnlich, nur das wir statt der Anzahl die Flächen nehmen. Somit passt es auch wieder zusammen, wenn die Fläche größer ist, ist der Zähler größer im Bruch und somit die Wahrscheinlichkeit. Das heißt die Größe der Fläche sagt uns die Wahrscheinlichkeit aus. Jetzt habe ich euch eine Tabelle gegeben, man sieht das 1,2,3,4,5 ist die Beschriftung der Flächenstücke. Ganz oben ist die Gesamtfläche. In dieser Spalte haben wir die Radien der Flächen r1 bis r5. Die gesamte und die kleineste Fläche ist ein Kreis somit r quadrat pi und bei den restlichen haben wir einen Kreisring also r quadrat pi mit dem äußeren Radius minus dem kleineren. Die Fläche wird immer größer und die Wahrscheinlichkeit wie vorher besprochen immer die gewollte Fläche durch die Gesamtfläche. Also eine Spalte die Fläche und eine Spalte die Wahrscheinlichkeit. Das habe ich schön in einer Tabelle darstellen können, wir können da gut vergleichen die Flächen und Wahrscheinlichkeiten also schön herauslesen. Wenn es aber sehr viele Werte werden, wird es schwer, dass man einzelne Werte vergleicht, es wird unübersichtlich. Dafür gibs ja Diagramme. Da wissen wir zwar nicht die genauen Werte, aber schön zu vergleichen. Dieses Diagramm ist das zugehörige Histogramm zu der angefertigten Tabelle. Wie geht das zu erstellen? Wir brauchen zunächst einen Referenzpunkt einen Nullpunkt, wo wir beginnen können. Ich habe den Mittelpunkt gewählt, aber es ist frei wählbar. Dann haben die x-Achse wo in der Skizze und somit auch im Diagramm der Radius aufgetragen wird. Rechts und links vom Punkt. Auf der y-Achse nehme ich zu jedem Bereich die dazugehörige Wahrscheinlichkeit, also jeder Bereich ist so hoch wie die Wahrscheinlichkeit ist von dem jeweiligen Bereich. Also dieser Bereich ist in der Skizze die halbe Scheibe, also der Balken ist genauso hoch, wie wahrscheinlich es ist in diese Scheibe zu treffen. Das heißt wir müssen den Wert von der Tabelle noch durch zwei rechnen also 2% hoch. Der zweite Bereich ist diese Fläche also wieder die Hälfte somit 6%. So geht es weiter, 10%, 14% und 18%. So können wir sehen, die Wahrscheinlichkeit zu treffen wird größer je weiter nach außen. Man sieht sofort der innerste Bereich ist am unwahrscheinlichsten zu treffen und der äußerste am wahrscheinlichsten.

Bewertung

L: Ich würde nun wieder um die Bewertung bitten.

S6: Ja, war wieder gut erklärt. Wenn man das erste kapiert hat ist das zweite nicht mehr so schwierig.

S5: Das Einzige was ich auszusetzen hätte ist, dass es sich oft wiederholt hat. Es hat irgendwie so gewirkt, also hätten sie die ganz Zeit das gleiche. gesagt nur anders formuliert. Es hat lang gedauert. Sie haben es gut erklärt, aber am Ende langgezogen.

L: Alles klar.

Wiederholung

L: Wiederholen bitte.

S6: Wenn wir z.B. bei der Zielscheibe die Wahrscheinlichkeit von einem Treffer ausrechnen möchte bzw. generell bei Sachen, wo man nicht die gleichen Voraussetzungen hat, muss man die Fläche, dann das gleiche wie beim anderen, die die man haben will durch die die man hat nur das man die Fläche nehmen muss und dann hat man es.

L: Und wie war das mit dem Diagramm nochmal?

S6: Da ist die x-Achse der Radius und y-Achse die Wahrscheinlichkeit.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Wir haben einen Kanaldeckel, fotografiert und skizziert und wenn ihr da vorbei geht und etwas hineinwerfen wollt, könnte man sich die Frage stellen, wie wahrscheinlich es ist hinein zutreffen?

S5: Das geht eigentlich wie das vorige, das man sich die Flächen ausrechnet und am wahrscheinlichsten ist es dann in die größte Fläche zu treffen.

Die Fläche des ganzen Kreises und der einzelnen Rechtecken.

S6: Das ist dann die Wahrscheinlichkeit, ob wir überhaupt treffen.

L: Genau und wie rechnet man sich die Wahrscheinlichkeit in genau dieses hineinzutreffen?

S5: Diese Fläche durch die allen, inklusive den Löchern.

L: Sehr schön. Du hast es vorher schon gesagt die größten Flächen sind am wahrscheinlichsten. Wie könnten wir damit ein Histogramm zeichnen?

S6: Hier könnten wir die x-Achse nehmen.

L: Ok und was brauchen wir noch?

S6: Die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Flächen.

L: Und was noch?
S5: Die Mitte.
L: Ja. Wo wollts den hin?
S6: E da in der Mitte.
L: Passt wie schaut dann das Diagramm aus?
S6: Das ist ja schon in Balken angegeben. Also das größte ist der mittlere Balken. […zeichnet richtig ein]
L: Ja sehr gut. Perfekt.

Erklärung Teil III (Zufall)
L: Jetzt kommen wir zum Dritten Teil von der Wahrscheinlichkeit. Was bedeutet für euch Zufall?
S5: Wenn ich nicht bestimmen kann, wie etwas passiert.
S6: Wenn man weiß, dass es sich so und so entscheiden kann und gleich viel Chance und das es passieren wird, aber nicht entschieden wird. Oder wenn etwas nicht voraus gesehenes passiert.
S5: Nicht entschieden werden kann würde ich nicht sagen, es gibt Dinge, die entschieden werden können, wenn man sich genug Zeit nimmt, aber z.B. Bogenschießen und mir nicht alle möglichen Berechnungen, welche möglich wären, ist es ja trotzdem noch Zufall, der entscheidet, wo ich genau hin treffe.
S6: Ich bin mir nicht sicher, weil ich war selbst Bogenschießen und da ist schon viel können also wie schieße ich.
S5: Sicher kann man selbst bis zu einem gewissen Grad entscheiden, wenn man ein gutes Gefühl hat für die Luft und wie man anziehen muss, aber zu 100% kann man es nicht sagen.
S6: Ja stimmt hast schon recht.
L: Wow, sehr coole Diskussion war schon sehr viel dabei, wie ihr gleich merken werdet. Die Wissenschaft teilt den Zufall in zwei Kategorien ein, den subjektiven und den objektiven Zufall. Ihr habt den subjektiv eigentlich schon selbst gesagt und erklärt. Wie du gesagt hast das Bogenschießen, wenn ich den Ausgang berechnen könnte, das haben wir ja beim Determinismus gelernt, aber nicht tue, also so wie du es gesagt hast ich nehme mir die Zeit nicht. Also ich könnte mir alles berechnen, aber ich tu es nicht bzw. auch wenn ich es nicht so schnell könnte es würde gehen, aber ich tue es nicht, dann ist es subjektiver Zufall.
S6: Geht das dann beim Würfeln auch?

S5: Ja sicher, das ist dann wieder Wind, Oberfläche, Winkel. Wenn man sich genug Zeit nimmt, könnte man sich das wahrscheinlich auch berechnen.
L: Genau, weil wir die Anfangsbedingungen und alle Gesetze wissen. Es ist nur subjektiv zufällig, weil es nicht von den Gesetzen Zufällig ist, sondern nur für uns. Habt ihr selbst schon beschrieben. Sollten wir uns das mal berechnen, ist es kein Zufall mehr, weil wir ja wissen, was rauskommt.
Der objektive Zufall ist der Gegenspieler. Das ist dann, wenn wir sagen es gibt keine Gesetzmäßigkeiten, dass das passiert. Also nicht nur wir können und wollen es uns nicht berechnen, sondern es gibt keine Rechnung dafür, warum das so passiert. Es gibt kein Gesetz dafür, es ist einfach Zufall.
S6: Hm.
L: Beispiel dafür wäre.
S6: Das Leben.
S5: Ja oder wir wissen es nur noch nicht. Vielleicht sind wir einfach noch nicht so weit es zu verstehen, aber es gibt sie schon.
L: Natürlich könnten wir es auch so formulieren, wir wissen es noch nicht. Und sobald wir es wissen, ist es
S6: Subjektiv.
L: Genau. Das ist natürlich eine philosophische Frage. Physik sagt es gibt einfach keine. Beispiel wäre noch der radioaktive Zerfall. Ein Atom zerfällt z.B. mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% in einem bestimmten Zeitraum. Das kann ja nur gesagt werden, weil man 1000 solcher Atome beobachtet hat und 800 sind in diesem Zeitraum zerfallen. Der Rest nicht und somit sagt man mit 80 prozentiger Wahrscheinlichkeit wird der nächste wieder in dem Zeitraum zerfallen. Aber wann es dann tatsächlich zerfällt
S5: Können wir nicht sagen.
L: Können wir nicht sagen, das passiert einfach zufällig, nach keinem Gesetz. Es gibt keinen Grund, warum jeder dann zerfällt, wenn er zerfällt.

Bewertung
S5: Super erklärt.
S6: Ja.

Wiederholung
L: Bitte wiederholen.

S5: Es gibt zwei verschiedene Arten von Zufällen, den objektiven und den subjektiven Zufall. Der subjektive Zufall ist, wenn man theoretisch gesehen die Berechnungen anstellen könnte um das was rauskommt genau vorherzusagen, es aber zu lang dauern würde oder Technologie noch nicht so weit ist und wir deshalb es nicht anstellen, z.B. Bogenschießen. Deshalb ist es subjektiver Zufall was rauskommt. Beim objektiven Zufall ist es so, dass es nicht mal Gesetze gibt, mit Hilfe dieser wir berechnen was rauskommt, das heißt es ist unmöglich zu 100% sagen, wie es rauskommt. Aber wie wahrscheinlich etwas ist kann man sagen.

Anwendung an ein Konkretes Beispiel

L: Beschreibe die Zufälle der folgenden beiden Beispielen. Der Münzwurf und die Evolution der Tiere.

S6: Beim Münzwurf könnte man berechnen schnell wirft man die Münze, wie hoch ist er da, wo sie aufkommt, welcher Winkel, und so weiter dann könnte man es theoretisch berechnen. Also subjektiver Zufall und Evolution ist einfach gegeben, wissen wir nicht also objektiver Zufall.

Wellenlehre

Team A

Erklärung Teil I (Eigenschaften)

L: Heute starten wir mit der Wellenlehre, wie das Wort schon sagt es geht jetzt darum, dass wir Wellen kennenlernen. Kennt ihr die Laola-Welle?

S2: Ist es das, wenn alle so machen [S2 gibt die Hände in die Höhe]?

L: Ja genau und warum nennt man die eigentlich, Welle?

S2: Naja eine Welle geht ja auch runter und wieder rauf.

S1: Weils wie eine Welle ausschaut.

L: Genau, ein guter Vergleich ist die Wasserwelle.

[L zeigt Video einer Laola-Welle]

Ihr könnt euch jetzt noch vorstellen, damit wir wirklich den Vergleich haben zur Wasserwelle:

Grundsätzlich, wenn alle sitzen, haben wir eine Wasseroberfläche und jede einzelne Person ist ein einzelner Wassertropfen.

Wir beginnen mit einem ruhigen Gewässer und am Beginn sitzen auch alle im Stadion.

Das erste was wir brauchen, damit eine Welle entstehen kann ist die Störung. Und zwar in dem ist die Störung, die Leute verspüren den Drang eine Laola-Welle zu machen und beginnen aufzustehen. Das ist die Störung von der ruhigen Oberfläche. Im Wasser wäre es jetzt zum Beispiel, wenn ein Stein in das Wasser haut oder den Fuß eintaucht, dann ist das eine Störung der Wasseroberfläche und so kann eine Welle beginnen. Also es muss irgendeine Störung passieren, dass eine Welle starten kann. Die Oberfläche wird aus der Ruhe gebracht.

Das zweite ist, dass sich die Welle ausbreiten muss. In dem Fall sind halt, das andere Personen auch mitmachen und im Wasser muss es auch irgendwie übertragen werden. Da geht es darum das die Personen immer zeitversetzt aufstehen, also die einen setzen sich hin die anderen stehen auf, hinsetzen aufstehen. Das heißt es muss Energie transportiert werden. Hier könnt ihr euch vorstellen die Personen stehen auf und reißen sozusagen mit, mit dem Schwung nehme ich ihn mit, der Schwung wird an den Nachbarn übertragen. Macht der Nachbar nicht mehr mit hört die Laola-Welle auf, es muss Energie übertragen werden. Das muss beim Wasser auch so passieren. Die einzelnen Wassertröpfchen müssen die Energie, also durch die Störung ist ein Wassertropfen in die Höhe gekommen und dieses muss die Energie ans nächste weitergeben, das er auch in die Höhe geht und wieder weiter und wieder weiter.

S2: Also so ein Domino-Effekt.

L: Genau. Weil würde das nicht sein, würde es einmal in die Höhe gehen und aus, aber es geht ja immer weiter.

Also wir haben die Störung und den Energietransport, also Energie muss immer weitergegeben werden.

Das dritte ist, wir haben die Welle definiert, die brauchen wir das eine Welle entstehen kann und sie immer weiter haben und jetzt ist die Frage, wann endet die Welle.

Hier [Laola-Welle] hören sie einfach auf, sie freuts nicht mehr, die Energie wird einfach nicht mehr übertragen. Oder es könnte eine Mauer sein, dass sie nicht mehr weiter machen können.

S1: So wie beim Meer, wenn es gegen eine Klippe dingselt, dann kanns ja nicht mehr weiter.

L: Genau. Also wenn sie sich nicht mehr ausbreiten kann, versandet sie.

Jetzt haben wir noch einen wichtigen Fakt, und zwar das schauen wir uns im Detail an. Wenn ihr schauts, die Personen stehen auf und setzen sich wieder hin, so ist es im Wasser auch. Jeder Wassertropfen geht nur in die Höhe und wieder runter. Also wir haben zwar

einen Energietransport, aber keinen Materietransport. Das heißt der Wassertropfen gelangt nicht bis zum Ufer sondern, er bewegt sich durch die Störung immer nur rauf und runter.
S2: Es verändert nicht seine Position, sondern bleibt immer an der gleichen Stelle, außer dass er in die Höhe geht.
Aber wenn ich jetzt einen Stein ins Wasser haue, wird das jetzt wirklich unendlich weitergehen bis ein Felsen oder ein Hindernis kommt?
L: Naja die Energie kann ja natürlich noch wo anders hingehen.
S2: Deshalb werden sie ja immer kleiner.
L: Genau, der Wind zum Beispiel.

Bewertung
L: Bewertung
S2: Ich hab es verstanden.
S1: Es ist nur eine Welle.

Wiederholung
L: Wiederholen, S1 bitte.
S1: Es gibt eine Störung, Energietransport, ein Ende und Materietransport
L: kein Materietransport
S1: ja kein natürlich.
L: und was bedeuten diese 4 Punkte
S1: Die Störung ist, dass sie aufstehen bei dem Beispiel, Energietransport ist die Motivation, dass andere auch aufstehen, Ende ist, wenn die Leute nicht mehr aufstehen oder keine Leute mehr sitzen und sie bleiben immer an ihrem Platz und gehen nur rauf und runter.
S2: Materietransport wäre, dass wenn sie woanders hingehen würden?
S1: Wenn sie weiter gehen würden.
L: Genau sehr gut.

Anwendung an ein konkretes Beispiel
L: Ich zeige euch jetzt ein konkretes Beispiel und ihr erklärt mir die eben 4 genannten Punkte. Wo ist die Störung, Energietransport wo das Ende ist und den Materietransport.
[Video wird gezeigt]
Was ist hier die Störung?

S2: Der Stock, wenn der ins Wasser getaucht wird. […] Man sieht die Wellen werden nach außen verbreitet so weiter gehen. […]
L: Wo ist das Ende?
S2: Hier haben wir ja keinen Felsen.
S1: Das ist einfach der Rand, das ist eine Schüssel da gibs einen Rand.
Jetzt kommt noch ein Beispiel mit dem Materietransport wo sie noch was reintun und das geht dann in die Höhe.

Erklärung Teil II (Unterscheidungen)
L: Jetzt wollen wir die Wellen unterscheiden. Nicht jede Welle ist gleich, deshalb hat man sich überlegt ein paar Begriffe damit man die Welle unterscheiden können. Da [auf den Zetteln der SchülerInnen] habt ihr eine Skizze von zwei verschiedenen Wellen, das können jetzt Wasserwellen oder Lichtwellen, ganz egal was man sich hald vorstellen möchte und habe sie übereinandergelegt, damit man sie vergleichen kann. Was man schon erkennt, dass sie unterschiedlich hoch sind. Wenn wir von der Achse ausgehen, ist die eine deutlich höher als die andere.
S2: Heißt es hat mehr Energie, also es wird mehr Energie übertragen oder ist das etwas anderes?
L: Ja es wird mehr Energie übertragen, die Störung war stärker, also es muss ein schwerer Stein gewesen sein, das heißt es ist auch mehr Energie, also es wird mehr Energie transportiert.
Also ist die Auslenkung aus der Ruhelage, also wie stark werden sie ausgelenkt und da spricht man von der Amplitude. Oft nennt man es groß A, die Amplitude.
[Auf der Skizze eingezeichnet]
Es geht immer um den höchsten Punkt. Die Auslenkung ist von da, bis zum höchsten Punkt. Da ist sie natürlich dann kleiner. Wenn der höchste Punkt über der Ruhelage ist, hat die Amplitude ein positives Vorzeichen, wenn wir die Amplitude betrachten würden, die wäre dann negativ. Es ist wie beim Koordinatensystem, drüber positiv drunter negativ.
S2: Wie wär das beim Wasser dann negativ, ist die Ruhe dann die Wasseroberfläche?
S1: Es geht ja da auch runter.
S2: Das heißt unter Wasser ist dann negativ.
L: Naja von der Ruhelage gesehen unter Wasser, aber es ist ja da nicht unter Wasser, weil der Wassertropfen nach unten und die anderen nach oben.

S1: Unter Wasser ist ja das falsche Wort irgendwie, weil unter Wasser ist ja das was oben ist noch immer.
L: Stimmt. Es geht immer um die Ruhelage.
Genau das ist die Amplitude. So können wir sie mal vergleichen.
Die zweite Möglichkeit ist die Wellenlänge. Das ist das Häufigste, wo wir die Wellen unterscheiden.
Das ist der Abstand von einem Hochpunkt zum anderen Hochpunkt [in der Skizze eingezeichnet]. Diese Wellenlänge ist größer, wie diese Wellenlänge da von der hohen. Also die hohe hat zwar eine größere Auslenkung, aber eine kleinere Wellenlänge, das ist dann Lambda.
Von der maximalen Auslenkung zur nächsten maximalen Auslenkung, der Abstand ist dann die Wellenlänge.
S1: Logisch.
L: Die nennt man Wellenberge und dieses Wellental, das ist dann das ganze da [gezeigt].
S2: Angenommen Wasser, die Welle geht ja rauf, die Welle geht runter die ganze Zeit. Wenn ich etwas ins Wasser haue, rauf verstehe ich ja, aber wenn sie wieder runter geht was heißt das dann?
S1: Sie setzt sich hin. So wie die Leute, sie gehen ja rauf und runter. Nur das die nicht runter gehen. Sie setzen sich genau wieder auf die Ruhelage, oder?
L: Ja stimmt. Bei der Wasserwelle ist das wirklich so, wenn ihr euch den Tropfen vorstellt, der geht in die Höhe und geht dann nicht in die Null sondern geht nochmal runter an dann wieder hinauf.
S1: Er wird ja runtergedrückt.
S2: Das heißt er wird unter Wasser gedrückt.
L: Ja wobei, ja drüber Luft ist. Bei diesem Beispiel (Video) siehst du ja, da muss der Tropfen nach runter gehen, sonst kann ja da keine Luft sein.
Wenn der Stift reinkommt, wird ein Tropfen nach unten gedrückt, der gibt dann diese Energie weiter, dass er auch nach unten gedrückt wird …
S1: Es ist wie eine Schaukel, die eine geht rauf die andere geht runter.
S1: Ist es nicht eigentlich. Es ist so gerade, wenn du das so runtergibst geht das andere rauf oder?
L: Ja im Prinzip
S2: Das heißt der Tropfen geht rauf runter gibt die Energie zum anderen weiter und der geht auch rauf runter.

[Hier hat mich die S1 unterbrochen und S2 mit einer Analogie (Schaukel) erklärt und hat funktioniert.]
Diese Wellenlänge, können wir zum Beispiel das sichtbare Licht miteinander vergleichen. [Bild Spektrum von sichtbarem Licht]. Da sehen wir zum Beispiel rot 700 nm, das heißt 10^-6 m, das sichtbare Licht ist so zwischen 800 und 400 nm also im Bereich 10^-6 bis 10^-7 nm. Das ist die Wellenlänge, bei Rot ist es zum Beispiel 700 nm, also der Abstand breiter also bei Türkis da sind die Spitzen näher zusammen.
S2: Wie kann man Farben in Wellenlängen messen, wie kann man Farben mit Wellen definieren.
L: Licht ist ja eine Lichtwelle und die Wellenlänge können wir messen.
S2: Aber wenn ich an eine Farbe denke, angenommen nur an eine Farbe.
L: Wenn das Licht wo draufscheint und dort reflektiert wird, jedes Licht ist ja nur eine Welle und je nachdem welche Wellenlänge in unser Auge kommt sehen wir dann als eine Farbe.
S2: Ja ja ok klar.

Bewertung
L: Ok Bewertung. Ihr könnt auch gern die Punkte einzeln Bewerten, wenn irgendeine Erklärung nicht so gut war.
S2: Hab es erstanden.
S1: Wollen sie was Negatives hören? Ich weiß nichts Negatives, passt alles.

Wiederholung
S2: Wir haben hier zwei verschiedene Wellen. Die Wellenlänge ist vom höchsten Punkt des Wellenbergs zum höchsten Punkt des nächsten Wellenbergs [gezeigt]. Die Amplitude, der Abstand vom Ruhepunkt zum höchsten Punkt des Wellenbergs.
L: Oder?
S2: Oder Vom Ruhepunkt bis zum tiefsten Punkt des Wellentals.
L: Genau. Ich habe noch vergessen zu sagen die Wellenlänge geht natürlich unten genauso. Vom tiefsten Punkt zum nächsten tiefsten Punkt.

Anwendung an ein konkretes Beispiel
L: Ich würde euch bitten, bei diesen Bildern die Amplitude und die Wellenlänge einzuzeichnen.

[… Bild 1-3]

L: Ja schaut super aus. Wie wäre es bei dem Beispiel [Bild 4], Amplitude?

S2: Das ist ja der Nullpunkt, also das ist die Amplitude und haben hier eine zweite Welle?

S1: Mach doch einfach mal den Nullstrich.

S2: Ja ok, da.

S1: Der geht, aber da auch durch. Also siehst du das du eine zweite Welle hast.

S2: Aber haben wir nicht vorher besprochen, dass Wellenlänge so so so geht [S2 zeigt von Spitzenwert Wellenberg zu Wellenberg], wir haben ja nicht so so so gezeichnet [S2 zeigt von Spitzenwert Wellenberg zu Wellental].

S1: Aber die Amplitude ist trotzdem da.

L: Ja genau Amplitude ist da, aber da habe ich euch reingelegt, da könnt ihr keine Wellenlänge einzeichnen.

S2: Wir brauchen eine zweite positive.

L: Genau.

Erklärung Teil III (Interferenz)

L: Es gibt jetzt noch zwei Phänomene bei Wellen, die noch wichtig für die Quantenphysik sind. Das eine ist, man nennts Interferenz. Ich zeige euch dazu ein Video […] man sieht, er haut Steine in das Wasser. Was schön zu beobachten ist, dass sich beim Zusammentreffen die Wellen trotzdem genauso weiter ausbreiten wie vorher. Wenn jetzt zwei Wellen zusammentreffen.

S1: Gehen sie einfach durch.

L: Genau, gehen sie einfach durch. Sie können ungestört einander durchlaufen. Sie bleiben immer schöne Wellen und breiten sich schön fort. Aber beim Zusammentreffen passiert trotzdem ein Phänomen, eben die Interferenz. Da spule ich wieder vor.

S2: Was meinen Sie bei der Überlagerung?

L: Wenn sie zusammentreffen.

S2: A ja.

L: Bei diesem Experiment können Wellen simuliert werden. Es sind zwei Wellen mit positiven Amplituden. […]

S2: Negative Amplitude wäre es, wenn es nach unten gehen würde.

L: Genau. Und die Frage ist was passiert genau bei der Überlagerung. […]

S2: Sie verbinden sich und gehen höher.

L: Ja. Sie werden in dem Fall doppelt so hoch, sie addieren sich auf. Also wenn sie 5 und 5 cm hoch sind wäre es dann 10 bei 5 und 3 wäre es dann 8. Und wichtig nachher, sie prallen nicht zurück, sondern gehen weiter. Die geht links weiter und die geht rechts weiter.
S1: Da wäre es schöner, wenn eine Unterschiedlich wäre.
L: Ja, absolut. Das nennt man eben, das ist ein Spezialfall, konstruktive Interferenz, weil es verstärkt sich etwas, es wird mehr deshalb ist es konstruktiv. Wenn sich eine Amplitude verstärkt, spricht man von konstruktiver Interferenz.
UNTERBRECHUNG
L: Gestern haben wir ja gesehen, wenn wir zwei Wellen gegeneinander laufen lassen, was passiert bei der Überlagerung?
S1: Verdoppeln sich.
L: Wenn es zwei gleiche verdoppeln sie sich
S2: Wenn es zwei negative sind verdoppeln sie sich im Minus Bereich.
S1: Sie haben ja gesagt, sie zählen sich auf. Aufaddieren haben sie gesagt.
L: Genau. Und nachher wichtig, sie gehen nicht zurück, sondern laufen weiter. Wie bei den Wasserwellen, sie laufen danach ungestört weiter. Man sieht es dann beim Negativen.
[… Video gezeigt mit zwei Wellen, einer positiven und einer mit dem gleichen Betrag, aber negativen Amplitude, gegeneinander laufen.]
L: Jetzt ist eine Amplitude positiv eine negativ. Beim Zusammentreffen ist es jetzt so ziemlich Null, sie löschen sich kurz aus und da war es vorher unten und da geht es unten weiter also sie geht nicht zurück. Hier sieht man schön, dass sie ungestört ineinander laufen, es bleibt nach dem Aufaddieren gleich, sie addieren sich kurz auf und gehen dann wieder weiter.
S2: Aber da gehen sie wieder zurück.
S1: Eben nicht, darum geht’s ja. Das untere geht unten weiter das obere geht oben weiter.
S2: Jaja stimmt.
L: Genau. Jetzt haben wir ein Abschwächen, entweder es verstärkt sich die Amplitude, wenn es mehr wird oder wenn sie sich abschwächen werden sie weniger, hier löschen sie sich sogar aus, aber es kann ja sein das ein bisschen weniger werden, dann spricht man von destruktiver Interferenz. Zuerst hatten wir
S1: konstruktive Interferenz.
L: Genau.
Bewertung
L: Bewertung, was sagt ihr Erklärung der Interferenz.

S1: Für mich ist es logisch gewesen.
S2: Ja für mich auch.

Wiederholung
L: Wiederholen.
S1: Naja ist ja nicht so schwierig, entweder die Wellen addieren sich auf oder schwächen sich ab oder löschen sich ganz aus.
L: Und was davon addieren wir?
S1: Wenn es zwei positive Wellen sind, die addieren sich auf und eine negative und eine positive zum Beispiel, entweder sie löschen sich ganz aus, schwächen sich ab oder machen eine negativ kann ja auch sein.
L: Ja und du sprichst immer von Wellen, was davon addieren wir auf?
S1: Die Amplitude wird höher oder niedriger, je nachdem.
L: Genau und was ist konstruktiv und was destruktiv?
S1: Konstruktiv ist wenn z.B. zwei positive sind und die sich aufaddieren und destruktiv wenn eine pos. und eine neg. und entweder auslöschen oder schwächer werden.
Solang es mehr wird ist es konstruktiv und wenn es weniger wird destruktiv.
L: Genau.

Anwendung an ein konkretes Beispiel
L: Nun sehen wir uns Schallwellen an. Wisst ihr was die Amplitude bei Schallwellen aussagt?
S1: Ich weiß nicht geht es um den Ton, ob er höher oder tiefer ist oder wie laut er ist?
L: Ja es ist eines von den beiden, sehr gut. Es ist die Lautstärke. Ob er höher/tiefer ist bestimmt die Frequenz.
Kennt ihr diese Noise-Canceling-Kopfhörer?
S2: Die sorgen dafür, wenn du irgendwo bist, angenommen du bist am Bahnhof viele Leute, viel Gerede und du willst eigentlich nur Musikhören, dann schalten die die Nebengeräusche schalten hald alles aus und du hörst nur deine Musik.
L: Genau, also wenn wir jetzt reden würden und du es aufsetzen würdest, dann würde S1 mich trotzdem hören nur du mich nicht.
Wie könnte das funktionieren?
S1: Wenn die Amplitude höher ist, also wahrscheinlich hat die Wellen, sind die mit höherer Amplitude, die er mit den Kopfhörern hört und die sind dann lauter.

S2: Werden die automatisch lauter

S1: Nein, es macht deine Musik trotzdem leiser und das andere löschts ganz

L: Ja müssen wir uns mal unabhängig von der Musik, dass meine Gespräche, wie kann die Schallwelle ausgelöscht werden?

S2: Wir brauchen für eine positive Amplitude eine negative Amplitude.

L: Und wie groß?

S2: Genau gleich groß.

L: Ok. Also was brauchen wir um ein Geräusch, also eine Schallwelle, zu verstummen?

[…]

Ich zeichne euch eine Schallwelle auf. Wie könnten wir diese Welle verstummen lassen. Du hast es ja vorher schon richtig gesagt, bei einer positiven Amplitude brauchen wir eine gleich große, aber negative Amplitude.

[…]

Warum brauchen wir zu jeder positiven Amplitude eine negative Amplitude?

S1: Damit sie zu Null werden.

L: Genau und wie schaffen wir es dann, dass sie in jedem Punkt zu Null werden?

[…]

L: Ich zeige es euch [… L zeichnet ein]. Wir nehmen die gleiche Welle und versetzen sie. Somit können sie sich auslöschen und wir hören die Geräusche nicht mehr.

S2: Ahh klar.

Erklärung IV (Beugung)

L: Jetzt haben wir noch ein Phänomen, und zwar die Beugung. Wellen können sich nicht immer schön ausbreiten. Es gibt auch immer wieder Hindernisse. Jetzt nehmen wir den Spalt her, ein ganz spezielles Hindernis und schauen, wie sie sich da verhalten, was da passiert.

[… Applet gezeigt]

Jetzt schauen wir sich an und seht was da am Rand passiert. In der Mitte und am Rand. Sie kommt geradlinig zum Spalt her und jetzt sieht man schön in der Mitte bleibts und am Rand werden sie abgelenkt. An den beiden Kanten ändern sie ihre Richtung.

Dieses Phänomen nennt man Beugung. Das heißt die Welle hat sich gebeugt. Ob man diese Beugung gut beobachten kann, geht es um die Spaltbreite und die Wellenlänge. Dies könnte man mathematisch herleiten und da kommt zum Schluss raus, wenn die Wellenlänge

Lambda der Welle und dieser Spalt ungefähr gleich ist, dann kann man super Beugung beobachten.
Jetzt können wir uns noch anschauen, was passiert, wenn wir eine Seite wegnehmen. Jetzt haben wir eine Seite offen. Da sieht man jetzt, auf der Seite wo ein Spalt ist können wir sie nicht beobachten und da wo der Spalt ist haben wir sie trotzdem wieder, die Beugung. Jetzt kann man sich noch fragen, ab wann können wir keine Beugung mehr beobachten.
[am Bild gezeigt]
Genau der gleiche Abstand wie die Wellenlänge ist, soweit kann man die Beugung beobachten und alles was weiter weg ist als die Länge der Wellenlänge kann man keine Beugung mehr beobachten, sieht man hier schön. Alles innerhalb der Wellenlänge können wir Beugung beobachten, anschließend nicht mehr.
Ein konkretes Beispiel wäre die Feuerwehr, Rettung, Polizei beim Einsatzfunk. Sie verwenden Ultrakurzwellen von 1-10 m. Wenn die Funkwellen weggehen, und sie kommen zu einem Hindernis. Dann wird 1-10 m gebeugt, der Rest nicht mehr. Wenn die Wellenlänge jetzt 1 m z.B. dann werden 1 m von der Schallwelle gebeugt und der Rest dann nimmer. Bei 10 m Wellenlänge dann 10 m. Wenn sie gebeugt werden, ändern sie die Richtung und laufen nicht mehr gerade weiter.
Jede Kante beeinflusst das Ganze, also in der Stadt kann schlechter gefunkt werden als am Land, wo weniger Häuser sind.
Das gilt natürlich auch für Schallwellen, nur da sind wir bei einer ganz anderen Wellenlänge, deshalb ist es da nicht mehr wirklich relevant.

Bewertung
L: Ah jetzt kommen wir wieder zur Bewertung.
S1: Sie haben es gut erklärt wie immer.
L: Sicher? Irgendein Teil nicht so gut vielleicht?
S2: Passt schon.

Wiederholung
L: Jetzt wiederholen.
S2: Ich erkläre es anhand des Beispiels. Das Blauschwarze stellen Wellen da und das Graue der Spalt da. Ein Teil wird gebeugt und ein Teil geht gerade weiter so wie er hald vorher auch gegangen ist.
L: Ok und wieviel wird gebeugt bzw. ab wann wird es nicht mehr gebeugt?

S1: Wenn die Wellenlänge aus ist?

L: Jaa genau in der Distanz der Wellenlänge. Und wie ist es beim Spalt, das war ja jetzt ein Hindernis.

S2: Da wird auf beiden Seiten gebeugt.

L: Und wann kann man hier Beugung beobachten?

S2: Wenn die Wellenlänge gleich mit dem Spalt ist.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Jetzt ist die Frage eben, warum wenn ihr vor der Eingangstür steht und eine zweite Person steht hinter der Mauer. Warum kann die Person mich hören, wenn ich was sage aber nicht sehen.

S2: Die Wand ist ja dann wahrscheinlich das Hindernis

S1: Naja, wenn der Schall da so durch geht, also so gerade durchgeht, wenn es gleich groß ist, wird es gebeugt, also so gedreht und geht dann auch auf die Person.

Kommt hald drauf an wie groß die Schallwellen sind, das haben sie noch nicht gesagt. Wenn sie kleiner sind, gehen sie ja einfach gerade, oder?

L: Ja stimmt, sehr gut. Sie wird gebeugt, wenn die Wellenlänge so groß ist wie der Spalt. Schallwellen bei 100HZ haben 3,4 m Wellenlänge also da kommen wir schon sehr gut hin. Wäre die Wellenlänge kleiner oder viel größer könnten wir sie nicht bzw. nicht gut hören.

Und warum können wir sie nicht sehen?

S1: Weil die Mauer nicht transparent ist.

L: Aber das wäre bei Schall ja auch.

S1: Ja wir haben keinen Laserblick.

L: Aber warum können wir trotzdem hören?

S1: Weil es sich beugt.

L: Und das Licht?

S1: Das Licht beugt sich nicht.

L: Ja ja, ganz genau. Die Beugung ist nicht groß genug, dass wir nichts sehen können. Licht hat so eine kleine Wellenlänge, dass es so wenig gebeugt wird, dass wir das nicht wahrnehmen können. Das ist bei sichtbarem Licht 10-6 m das ist so klein.

S2: Also das Licht kann sich schon beugen, aber kann sich nur sehr sehr sehr gering beugen.

L: Ja nur wir können es nicht beobachten. Die 400 Nanometer kannst du nicht wahrnehmen.

Team B

Erklärung Teil I (Eigenschaften)

L: Jetzt kommen wir zum großen schönen Thema, Wellenlehre. Dazu eine Frage zu Beginn, kennt ihr die Laola-Welle?

S3+4: Nein. Noch nicht davon gehört.

L: Ok dann zeige ich sie euch.

[… Video der Laola-Welle gezeigt]

S4: Ach die Puplikumswelle.

L: Die nennt man eben auch Laola-Welle. Warum wird sie eigentlich Welle genannt, eine Idee?

S3: Naja, weil alle immer nach oben und unten.

S4: Weil es wie eine Welle aussieht.

L: Genau. Sieht aus wie eine Welle. Ich werde euch die wichtigsten Eigenschaften von einer Welle mit diesem Video erklären. Die Analogie dazu ist die Wasserwelle, die kann man sich gut vorstellen. Wenn alle sitzen, ist das wie eine ruhige Oberfläche im Wasser.

Das erste was wir für eine Welle brauchen, ist eine Störung. Bei der Wasserwelle kann das zum Beispiel ein Stein sein, der ins Wasser geworfen wird und in diesem Fall

S4: Eine Person steht auf.

L: Genau. Also zu Beginn muss irgendetwas passieren, was die Oberfläche aus der Ruhe bringt. Das nennen wir dann Störung. Somit kann eine Welle entstehen.

Die Frage ist jetzt, nach der Entstehung, wie kann die Welle weiter gehen. Damit sie sich weiter ausbreiten kann muss Energie transportiert werden.

Was ich noch vergessen habe, ihr könnt euch vorstellen jede einzelne Person ist ein Wassertropfen.

Bei der Laola-Welle könnt ihr euch den Energietransport als Schwung vorstellen. Die Person, die aufsteht gibt den Schwung an den Nachbarn weiter, klopft im auf die Schulter hey mach mit, damit auch der Nachbar aufsteht und wenn du es dann weitergibst, hast du somit die Energie übertragen und setzt dich wieder hin. Beim Wasser ist es auch so, zu Beginn haben wir die Energie von der Störung und jeder einzelne Tropfen gibt diese Energie immer an den nächsten Tropfen weiter.

Du (S4) schaust skeptisch?

S4: Ja, ich verstehe es noch nicht ganz.

L: Beginn ist eine ruhige Oberfläche, ein Stein kommt hinein und durch diese Energie, die da übertragen wird, werden manche Wassertropfen in Bewegung gesetzt also nach unten

bzw. nach oben. Und diese Energie, die sie nach oben bzw. unten wandern hat lassen, geben sie an den nächsten tropfen, an den Nachbartropfen, weiter der auch nach oben bzw. unten geht und selbst geht er wieder in die Ursprungsposition. Das geht immer so weiter und die Welle breitet sich aus.

S4: Achso er gibt die Energie ab und dann fällt er wieder nach unten. Dann hab ichs verstanden.

L: Also es wird Energie wirklich transportiert. Vom Stein zu Tropfen und zum nächsten Tropfen und immer weiter.

Die Frage ist dann natürlich jetzt wie weit? Wann endet die Welle?

S3: Da wär wenn die Menschen einfach sitzen bleiben.

S4: Wenn es keine Störung mehr gibt.

L: Genau, wenn sich die Störung nicht mehr weiter ausbreitet. Also im Stadion könnte eine Wand sein, wo keine Leute mehr sitzen. Die Energie kann also nicht mehr weiter übertragen werden.

Bei der Wasserwelle, wäre zum Beispiel die Küste ein mögliches Ende, also wenn der letzte Tropfen die Energie auf den Sand überträgt, geht es nicht mehr weiter. Oder ein Felsen wäre noch eine Möglichkeit, wie die Störung versanden kann.

Jetzt hatten wir den Beginn, also die Störung, den Energietransport, dass die Welle sich fortsetzen kann und das Ende, wenn ein Hindernis kommt.

Jetzt gibt es noch eine wichtige Eigenschaft der Welle. Das schauen wir uns da nochmal im Video an. Am besten ist es eine Person zu beobachten, die sehr nahe zur Kamera sitzt.

Was machen die einzelnen Leute, damit so eine Welle entsteht?

S3: Sie steht auf.

L: Ja, und dann?

S4: Setzt sie sich wieder hin.

L: Ja. Also jede Person sitzt vorher und nachher auf der gleichen Position, sie ist nur aufgestanden und wieder hingesetzt. Und das gleiche passiert im Wasser auch.

S4: Das Wasser geht auch nur nach oben.

L: Genau. Jeder einzelne Wassertropfen geht nur in die Höhe und wieder nach unten. Also wir haben hier keinen Materietransport, wir haben zwar Energietransport also Energie wird übertragen, aber keine Materie.

Bewertung

L: Ja, Bewertung der Erklärung bitte.

S3: Ich fand es wirklich cool, also das Beispiel vor allem ist echt gut gemacht.

S4: Ich habe den Energietransport zu Beginn nicht ganz verstanden, aber dann haben Sie es nochmal erklärt und dann habe ich es verstanden. Die Beispiele, vor allem das Video war super und hat sehr geholfen.

Wiederholung

L: Wer möchte es wiederholen?

S4: Das Beispiel sozusagen. Wenn es eine Störung gibt im Wasser kommt eine Energie z.B. von einem Stein kommt die Energie ins Wasser und die gibt dann die Energie immer weiter und das ist dann die Welle.

S3: Sie bewegen sich aber nicht, also sie werden nicht verschoben, sondern sie steigen nur in die Höhe und das Ende der Störung, wenn es eine Blockade gibt, dann endet die Welle.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Ich zeige euch ein Video und ihr versucht mir zu zeigen, wo diese Eigenschaften zu erkennen sind. Also Störung, Energietransport, Ende und kein Materietransport.

[… Video gezeigt]

S3+4: Störung ist der Stift.

L: Was passiert dann?

S3: Die Energie wird weitergegeben.

S4: Die Welle entsteht durch den Stift. Es geht bis ans Ende und dann hörts auf.

S3: Weil da ist eine Wand. Und so öfter man es rein gibt umso mehr Wellen entstehen.

S4: Das bewegt sich nicht [Papierstücke ins Wasser gegeben]. Deswegen bewegen die sich nicht. Ich habe mich immer gefragt, wieso sie sich nicht bewegen.

S3: Weil es ja nur nach oben bzw. unten geht.

L: Genau, da haben wir den kein Materietransport.

Erklärung Teil II (Unterscheidung)

L: Wir haben viel darüber geredet was eine Welle ausmacht. Aber es sind ja nicht alle Wellen gleich wir müssen uns noch überlegen, wie wir sie unterscheiden können. Es gibt ja sehr viele verschiedene Wellen, die wir unterscheiden müssen. Dafür brauchen wir diese Skizze. Wir haben hier zwei verschiedene Wellen, die sich deutlich unterscheiden. Was erkennt man hier für Unterschiede?

S3: Die eine ist höher die andere ist niedriger.

L: Ja genau, die eine ist höher. Das heißt, wichtig ist von der Ruhelage bis zum obersten Punkt, nennt man Amplitude mit dem Symbol groß A. Also diese Welle hat eine größere Amplitude wie die dunkle schwarze Welle [in der Skizze eingezeichnet].
S3: Aber das müssen im Wasser unterschiedliche Materialien sein, die reingeworfen werden.
L: Ja entweder unterschiedliche Materialien. Oder was könnte es noch sein?
S4: Wie stark das reingeworfen wird.
L: Genau, oder Form, Gewicht usw.
Die Amplitude sagt uns wie stark die Welle aus der Ruhelage ausgelenkt wurde.
S4: Also wurde die hier stärker und die leichter?
L: Ja genau.
Wenn wir von der von der Amplitude hinaufgehen, hat es ein positives Vorzeichen, hinunter ein negatives Vorzeichen. Immer A, aber da + da -.
Und für die zweite Unterscheidung brauchen wir wieder diese Spitzen, nur diesmal von einer zur benachbarten [in der Skizze eingezeichnet].
S4: Die ist hier gleich.
S3: Nein ist hier nicht, ich zeig es dir. Da sind sie ja viel weiter auseinander.
L: Achso, ja.
Das ganze wird als Wellenberg und das Ganze als Wellental bezeichnet. Und vom höchsten Punkt des Wellenbergs zum nächsten Punkt des Wellenbergs, also immer der höchste Punkt, das nennt man die Wellenlänge.
S3: Wie weit die Wellen auseinander sind.
J: Genau, also nein das gesamte ist die Welle, aber die Länge nimmt man von den Spitzen der Bäuche.
Das Symbol dazu ist Lambda.
Mit diesem Begriff können die Wellen super unterschieden werden. Zum Beispiel sichtbares Licht hat 800-400 Nanometer. Also in der Größenordnung 10 hoch -6 bis 10 hoch -7 Nanometer.
Rot ist dann bei 800 Nanometer Gelb 500 Violett 400 Nanometer. So können wir die unterschiedlichen Wellen unterscheiden.

Bewertung

L: Bewertung der Erklärung
S3: Ich fands gut. Ich verstehe Physik und finde es echt interessant.

S4: Ich fand die Erklärung auch wieder gut mit den Bildern. Selbe wie vorher.

Wiederholen

L: Wer möchte es wiederholen?

S3: Es gibt die Amplitude, das ist die Höhe sozusagen.

L: Wo ist die?

S3: Von der Nulllinie zur Spitze. Und die Wellenlänge ist von einem höchsten Punkt bis zum nächsten höchsten Punkt.

S4: Von einer Spitze des Wellenbergs bis zur nächsten Spitze des Wellenbergs.

L: Sehr gut.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Bitte versuchen die Wellenlänge und Amplitude bei den drei Bildern einzuzeichnen.

[… die Schülerinnen zeichnen]

L: Sehr schön, passen alle. Und beim Letzten Bild?

S4: So die Wellenlänge.

S3: Nein die Wellenlänge muss ja von Spitze zu Spitze gehen. Also geht nicht.

L: Sehr gut, ihr seid mir nicht reingefallen, bei dieser Welle kann keine Wellenlänge eingezeichnet werden.

Erklärung Teil III (Interferenz):

L: Wir haben die Welle jetzt betrachtet, also ihre Eigenschaften und wie wir sie unterscheiden können. Nun geht es um ein Phänomen, dass wir bei den Wellen beobachten können. Hierzu ein Video [Video gezeigt], was könnt ihr da sehen?

S3: Die Wellen kreuzen sich.

L: Und was passiert mit der Welle durch das Kreuzen?

S3: Sie wird unterbrochen.

S4: Sie kreuzen sich.

S3: Nein, sie gehen einfach weiter.

L: Ja, sehr schön sie gehen einfach weiter. Also wenn ihr die einzelnen Wellen beobachten, auch wenn sie zusammentreffen, laufen sie ungestört weiter, sie stören sich nicht gegenseitig, also sie durchlaufen einander ungestört.

Aber genau, wenn sie sich kreuzen, passiert etwas. Das schauen wir uns jetzt an.

Ich zeige euch jetzt ein Video eines Experimentes. Er schlägt auf der Seite aus, die Störung und des entstehen Wellen, die gegeneinander laufen. Beim ersten Versuch sind zwei Wellen mit gleichen positiven Amplituden.

[…]

S3: Sie verbinden sich zu einer Welle.

S4: Und trennen sich dann wieder.

L: Ja sie verbinden, also überlagern sich und anschließend ganz wichtig breiten sie sich weiter aus und gehen nicht zurück.

S3: Sie gehen aneinander vorbei.

L: Genau. Schauen wir uns noch einmal die Amplituden an.

S3: Sie sind gleich hoch und zusammen noch höher.

L: Richtig, die Amplituden überlagen sich, sie addieren sich auf. Amplitude der Ersten plus Amplitude der Zweiten Welle.

Also diese Überlagerung nennt sich Interferenz. Und wenn sich die Amplituden verstärken, also mehr werden wie in diesem Beispiel, heißt das konstruktive Interferenz.

Jetzt haben wir ein zweites Beispiel, wieder mit der gleichen Amplitude nur, dass sie diesmal unterschiedliche Vorzeichen haben, also eine über und eine unter der Ruhelage.

[…]

S4: Sie treffen sich in der Mitte, also genau am Nullpunkt.

L: Richtig, sie löschen sich kurz gegenseitig aus.

Also auch hier addieren sich die Amplituden auf nur da eine davon negativ ist, wird es zu Null.

S3: Damit sie bei Null sind müssen sie gleich groß sein. Und wenn die negative größer ist, dann ist sie nicht bei Null sondern etwas darunter.

L: Ganz genau. Und dadurch, dass sich die Amplitude abgeschwächt haben, nennen wir das, destruktive Interferenz.

Bewertung:

L: Bewertung.

S3: Super erklärt und das Video war auch toll.

S4: Wie vorher, super.

Wiederholung

L: Wiederholung. Möchtest du S4 beginnen?

S4: Wenn zwei Wellen gegeneinander laufen, dann kreuzen und verbinden sie sich und laufen anschließend so weiter wie vorher. Beim Verbinden werden sie zusammengerechnet. Also bei zwei positiven werden sie mehr und bei einem positiven und einem negativen werden sie zu Null.
L: Was muss passieren damit sie genau zu Null werden, also auslöschen.
S3: Genau gleich groß.
L: Und was von der Welle muss gleich groß sein bzw. wird zusammengerechnet?
S3: Die Amplitude.
L: Richtig. Und wie heißen die beiden Phänomene?
S4: Konstruktive Interferenz, wenn es mehr wird und destruktive Interferenz, wenn es weniger wird.

Anwendung auf ein konkretes Beispiel
L: Wir haben uns sehr viel über Wasserwellen unterhalten. Nun sehen wir uns Schallwellen an. Wisst ihr was die Amplitude bei den Schallwellen aussagt.
S3: Wie laut etwas ist?
L: Ganz genau. Kennt ihr Noise-Canceling-Kopfhörer?
S3+4: Nein.
L: Das sind so Kopfhörer, welche den Lärm, der außerhalb vorhanden ist, unterdrücken kann. Also wenn eine von euch die jetzt aufsetzt, kann sie mich nicht mehr sprechen oder die Schulglocke hören, aber du hörst natürlich alles normal.
Die Frage ist jetzt, wie funktioniert das?
S4: Ist da was eingebaut worden?
S3: Sind sie Schalldicht?
L: Ja ist was eingebaut, aber sind nicht schalldicht, es ist eine andere Technik. Es funktioniert über die Interferenz, versucht das zu kombinieren.
S3: Sie stoßen sie ab. Nein. Die Wellen kommen aufeinander zu und treffen sich.
L: Welche Wellen?
S4: Die von außen?
L: Und die zweite?
S3: Eine weitere von außen?
L: Nein. Überlegt, was könnte der Kopfhörer tun?
S3: Die Welle umleiten?
L: Nein.

S4: Kommen irgendwelche von den Kopfhörern auch?
L: Ja.
S3: Also sie nehmen eine Art Störsignal.
S4: Aber bei der Interferenz geht sie ja danach weiter. Sie muss danach weiter gehen.
L: Ja sehr gut, dass ist der Grund die Personen dahinter den Lärm trotzdem hören, weil sie ja auch weiter gehen, aber warum ihr nicht? Ihr habt es schon richtig gesagt, wir brauchen eine zweite Welle dazu.
S3: Sie kopieren die Welle und wenn sie aufeinandertreffen, ist es still und dann geht es wieder weiter und es ist wieder laut.
L: Ja super. Jetzt sind wir schon bei der Zielgeraden. Nach dem Kopieren müssen sie noch eins tun damit sie sich mit der herkommenden Welle auslöscht.
Wie müssen die Amplituden sein damit sie sich auslöschen können?
S3: Gleich groß.
L: Ja, und was noch?
S4: Eins muss Plus sein und eins muss Minus sein, damit es ja 0 ergibt.
L: Ganz genau. Also wir nehmen die Welle und verschieben sie so weit, damit sie genau das Gegenteil sind [Kurze Skizze gezeichnet].
S4: Kopieren und verschieben.
L: Richtig. Das interessante ist ja, dass ein Geräusch gemeinsam mit einem veränderten Geräusch Stille ergibt.
S4: Sehr interessant.

Erklärung Teil IV (Beugung)
L: Wir bis jetzt immer davon ausgegangen, dass kein Hindernis vorhanden ist. In Wirklichkeit können wir das ja nicht immer annehmen, also ist auch untersucht worden, was bei Hindernissen passiert. Hier können wir ein interessantes Phänomen beobachtet worden, eben die Beugung. Ich habe hier eine Simulation, wir haben hier Wasserwellen und jetzt gebe ich einen Spalt hinzu und wir beobachten was passiert.
[… Simulation gezeigt]
L: Wir sehen, in der Mitte lauft die Welle normal, geradlinig, weiter wie vorher, aber am Rand wird sie abgelenkt. Sie ändert also die Richtung am Rand. Das nennt man Beugung, dass bei einem Hindernis wird ein Teil der Welle abgelenkt, also die Welle wird gebeugt.
Diese Beugung können wir dann gut beobachten, wenn die Wellenlänge ungefähr die Spaltbreite ist. Ein Beispiel wäre Licht, also sichtbares Licht hat eine Wellenlänge von 10

hoch -6 bis 10 hoch -7 Meter und es geht durch dieses Fenster, dann können wir keine Beugung beobachten, weil der Spalt viel viel größer ist als die Wellenlänge.
Jetzt schauen wir uns an was passiert, wenn wir eine Seite vom Spalt weggeben. Also Zum Beispiel eine Hauskante.
[… Simulation gezeigt]
L: Man sieht, dass der meiste Teil der Wellen, also wo es offen ist, geht sie gerade weiter und genau auf der Seite des Hindernisses, also bei der Kante kann wieder Beugung beobachtet werden.
Wir können sich fragen, ab wann läuft die Welle geradlinig weiter und dafür habe ich euch ein Bild kopiert. Dieser Abstand ist genauso wieder Lambda, also die Wellenlänge. Also bei sichtbarem Licht, 10 hoch -6 Meter, dann wird 10 hoch -6 Meter abgelenkt und ab dann geht die Welle geradlinig weiter.
Ein Beispiel wäre, die Rettung, Polizei und Feuerwehr zum Sprechen den Funk. Diese verwenden Ultrakurzwellen mit Wellenlängen 1 bis 10 Meter. Also wenn eine Welle auf eine Hauskante trifft, wird 1 bis 10 Meter von der Welle gebeugt.

Bewertung
L: Letzte Bewertung.
S3: Auch bei der letzten Erklärung super erklärt und super Simulation.
S4: Auch für mich super, wie vorher.

Wiederholung
L: Wiederholung. S3, möchtest du beginnen?
S3: Also, wenn eine Funkwelle z.B. auf eine Hauskante kommt, ändert ein Teil der Welle die Richtung. Es kommt also weniger an.
L: Wie viel?
S3: Wellenlänge. Also so viel wie die Wellenlänge ist. Und bei einem Spalt wird auch auf beiden Seiten die Welle gebeugt.
L: Und wann kann man hier Beugung beobachten?
S3: Wieder genau die Wellenlänge.

Anwendung an ein konkretes Beispiel
L: Wir stehen vor einer offenen Tür und eine weitere Person drinnen um die Ecke und wir fragen uns. Wenn wir etwas sprechen, warum kann uns die Person hören, aber nicht sehen?

S3: Die Wellen breiten sich aus, gehen gerade und dann drinnen gehen sie wieder auseinander.
L: Warum?
S4: Es muss ja wieder ein Hindernis geben für die Beugung.
L: Ja was ist das hier?
S3: Die Wand.
L: Die Wand. Genau. Aber warum wird der Schall hier gebeugt, aber das Licht nicht? Damit wir etwas hören muss die Schallwelle ins Ohr und damit wir etwas sehen, die Lichtwelle in unser Auge. Warum kommt die Schallwelle ins Ohr, aber die Lichtwelle nicht in unser Auge.
[…]
L: Was ist der Unterschied zwischen einer Lichtwelle und einer Schallwelle, der auch für die Beugung wichtig ist?
[…]
L: Wegen der Unterschiedlichen Wellenlänge. Die Schallwelle ist im Meter-Bereich wobei das Licht im Nanometer-Bereich, also wird der Schall auch im Meter-Bereich gebeugt wobei das Licht nur im Nanometer-Bereich. Deshalb können wir um die Ecke hören, aber nicht sehen.

Team C

Erklärung Teil I (Eigenschaften)

L: Wellenlehre. Um in die Quantenphysik eintauchen zu können brauchen wir das Verständnis der Welle. Kennt ihr eine Laola-Welle?
S6: Ja, beim Sport im Stadion, wenn sie nacheinander die Hände in die Höhe halten.
L: Genau. Ich zeige euch jetzt ein Video. […]
Mit diesem Video werden wir die Welle definieren, schauen wir da alles brauchen also die Eigenschaften einer Welle besprechen. Das erste was wichtig ist, wenn alle sitzen, haben wir eine ruhige Oberfläche. Die Parallele dazu ist Wasser, also See zum Beispiel. Wenn alles ruht, haben wir eine ruhige Oberfläche. Und jede einzelne Person ist ein Wassertropfen. Das erste was wir brauchen, damit die Welle überhaupt entstehen kann ist die Störung. Im Wasser wird ein Stein ins Wasser geworfen und mit den Füßen eingetaucht. Irgendetwas was die ruhige Oberfläche verändert, stört, also aus ihrer Ruhelage bringt. Im Stadion wird die Laola-Welle begonnen, die ersten Leute stehen auf. Diese Störung brauchen wir

damit die Welle entstehen kann, aber auch damit sie weiter bestehen kann, sie muss sich ausbreiten. Nicht einmal kurz, also eine Person steht auf und sonst macht keiner mit, haben wir noch keine Welle, die Störung muss immer weiter gehen. Genauso im Wasser, es bringt nichts, wenn sich das Wasser kurz hebt und aus sondern es muss weiter gehen für die Wasserwelle. Damit sie weiter gehen kann, muss Energie transportiert werden. Im Wasser kommt der Stein hinein, es wird potentielle Energie auf das Wasser übertragen, also auf den ersten Tropfen, der auf den nächsten Tropfen und so weiter. Energietransport. Beim Video könnt ihr euch das mit einem Schwung vorstellen. Ihr steht auf und reißt den Nachbar mit damit er auch aufsteht und damit kann ich mich wieder setzen.
Nun wann endet die Welle? Wenn die Störung versandet. Also die Störung breite sich nicht weiter aus. Im Wasser zum Beispiel bei einer Klippe oder Strand und im Stadion, wenn eine Mauer wäre. Die Welle endet mit dem Ende der Störung.
Jetzt haben wir besprochen, wie sie entstehen, sich ausbreiten und enden kann. Nun fehlt noch eine nette Eigenschaft. Ich zeige euch nochmal das Video und ihr sagt mir, was eine einzelne Person macht.
S5: Sie steht auf wenn sie merkt die Person vor ihr steht auch auf und setzt sich wieder hin wenn die Person vor nach ihr beginnt aufzustehen.
L: Genau also vorher und nachher?
S6: Ist sie gleich.
L: Genau, also nur in die Höhe und wieder runter und sind nachher wieder da, wo sie vorher waren. Das gleiche ist mit den Wassertropfen im Wasser.
S5: Das heißt die Wassertropfen gehen nicht weiter, sondern steigen nur und sinken.
L: Genau. Das heißt es gibt keinen Materietransport. Es wird Energie, aber keine Materie transportiert.
Abschließend noch eine Definition: Eine Welle ist eine sich räumlich ausbreitende, periodische oder einmalige Veränderung des Gleichgewichtszustandes.

Bewertung
L: Bewertung?
S5: War wieder toll.
S6: Mhm. Überhaupt die Beispiele waren toll.

Wiederholung
L: Wiederholung der Erklärung bitte.

S6: Wenn bei einem Wasser Energie ins Wasser kommt, eine Störung, also Stein ins Wasser fällt, wird diese Energie übertragen und diese gehen dann rauf und runter und somit entstehen Wellen. Diese bewegen sich aber nur rauf und runter. Und sie endet, wenn die Störung sich nicht mehr ausbreiten kann.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Ich zeige euch ein Video und ihr zeigt, erklärt. mir bitte wo hier die vier Eigenschaften zu sehen sind.

S5: Das Ding was reinkommt ist die Störung und an der Wand endet die Welle. Sie geht zwar leicht zurück aber nicht viel.

Die Papierstücke gehen nur rauf und runter, aber gehen nicht mit der Welle mit.

Erklärung Teil II (Unterscheidung)

L: Nun sind wir beim zweiten Teil bei der Wellenlehre. Und zwar haben wir die Welle definiert, und jetzt können wir uns noch überlegen wie wir sie unterscheiden können. Hier lernen wir heute zwei Unterscheidungsmöglichkeiten kennen. Auf dem Zettel seht ihr zwei unterschiedliche periodische Wellen. Welche Unterschiede könnt ihr erkennen?

S5: Die eine schlägt hoher aus und ist kürzer.

L: Was meinst du mit kürzer?

S5: Kürzere einzelne Wellen.

L: Ja sehr schön jetzt habt ihr e schon beide gesagt, das wollen wir noch physikalisch beschreiben. Das erste ist die Höhe der Auslenkung. Hier ist die Ruhelage und von der Ruhelage, das ist ganz wichtig, bis zum höchsten Punkt der Auslenkung ist die Amplitude A [Amplitude in der Skizze eingezeichnet und beschriftet]. Bei der dunkleren ist die Amplitude kleiner als bei der hellen. Das was du vorher als einzelne Welle bezeichnet hast, nennt man wenn es nach oben geht Wellenberg und nach unten Wellental. Geht genauso nach unten die Amplitude. Nach unten haben wir ein negatives Vorzeichen, nach oben ein positives Vorzeichen. Das zweite was ihr auch richtig gesagt habt mit kürzer ist, wenn man sich von einem maximalen Punkt der Auslenkung bis zum nächsten maximalen Punkt ansieht [Wellenlänge in der Skizze eingezeichnet und beschriftet] nennt man Wellenlänge Lambda. Hiermit kann die Welle wirklich gut unterschieden werden. Also bei der hellen Welle ist die Amplitude größer aber die Wellenlänge kleiner. Ein Beispiel dazu wäre das sichtbare Licht, ist ja auch eine Welle. Hier habe ich euch das Farbspektrum davon kopiert. Also alles zwischen Rot und Violett ist die Wellenlänge von 700 Nanometer bis 400 Na-

nometer also in Meter ungefähr 10 hoch -6 bis 10 hoch -7 Meter. Hier sieht man schön, dass die Wellenlänge, also der Abstand der benachbarten Spitzen immer kleiner wird.

Bewertung

L: Bewertung der Erklärung bitte.

S5: Gut und einfach zu folgen. Alles verstanden.

S6: Ja. Skizzen sind super. Es ist immer leichter mithilfe einer Skizze.

Wiederholung

L: Bitte die Erklärung wiederholen.

S5: Man kann die Wellen unterscheiden. Dafür gibt es die Amplitude. Das ist wie weit der einzelne Teil der Welle ausschlägt, negativ runter und positiv rauf. Der Abstand zwischen den Wellenteilen, also benachbarten Wellenteilen ist die Wellenlänge.

L: Passt.

Anwendung an ein konkretes Beispiel:

L: Ihr habt auch auf euren Blättern Bilder und versucht hier die Wellenlänge und Amplitude einzuzeichnen. Beginnt mit den beiden Wasserwellen.

[… S5 und S6 zeichnen]

S5+6: Wellenlänge und Amplitude.

L: Super das reicht schon. Jetzt könnt ihr es gleich am letzten Bild versuchen.

S6: Da ist die Amplitude zum höchsten Punkt und das zum niedrigsten. Und das wäre dann die Wellenlänge [zeigt auf der Ruhelage auf den Beginn des Wellenbergs bis zum Ende des Wellentals] oder?

S5: Aber den Abstand zur nächsten Welle kann ich es nicht vergleichen, gibt ja keinen nächsten. Hm.

[…]

L: Ja das Beispiel ist absichtlich so gewählt, die Amplitude passt super, aber die Wellenlänge kann hier nicht eingezeichnet werden, da, wie du richtig sagtest, kein benachbarter Wellenberg vorhanden ist.

Erklärung Teil III (Interferenz)

L: Als nächstes zeige ich euch ein Video und ihr sagt mir was euch da auffällt.

S5: Sie überschneiden sich.

S6: Sie treffen sich und hindern sich aber nicht dann weiter. Sie gehen jeder ihren Weg trotzdem.
L: Super. Das ist mein Ziel. Sie stören sich nicht gegenseitig, Wellen können ungehindert durchlaufen also ungestört überlagern. Beim Zusammentreffen passiert dann noch etwas, das schauen wir uns an beim Übergang. Da spule ich ein wenig vor.
Hier wird eine mechanische Welle erzeugt. Genauer gesagt erzeugt er auf beiden Seiten genau die gleiche Welle also mit gleicher positiver Amplitude und lässt sie gegeneinander laufen. Schauen wir was passiert.
S5: Das war dasselbe mit dem Stift in der Schüssel, da habe ich auch gesehen, dass sie zurückgegangen ist.
S6: Sie gehen ihren eigenen Weg weiter.
S5: Ahhh.
L: Ja genau, weil sie gleich große Amplituden haben, könnte man glauben sie prallen ab, aber wie du sagtest, sie laufen ungestört weiter. Sehen wir beim nächsten Beispiel noch schöner. Was ist an diesem einem Punkt wie sie sich getroffen haben passiert?
S5: Sie ist gestiegen. Sie fusionieren sich in dem Punkt.
L: Ja genau, in dem einem Punkt fusionieren sie sich, also die Amplituden addieren sich auf. Wir können die Amplituden zusammenrechnen. In dem Fall sind beide gleich, also verdoppelt sich die Amplitude.
Das nennt man das Phänomen der Interferenz. Diese Überlagerung an einem Punkt. Und weil sie sich verstärkt haben, also die Amplituden, spricht man hier von konstruktiver Interferenz.
Das zweite Experiment ist, zwei Wellen mit einer positiven und einer negativen Amplitude, welche genau gleich sind nur unterschiedliches Vorzeichen und wieder gegeneinander laufen. Hier sieht man jetzt, dass sie sich gegenseitig auslöschen an diesem einem Punkt der Überlagerung. Und anschließend laufen sie wieder weiter, sehen wir hier schön. Auch hier addieren sich die Amplituden auf, weil bei einer negativen Amplitude wird das Plus zu einem Minus wodurch sie sich abschwächen. Also es ist immer Amplitude 1 + Amplitude 2 eingesetzt mit dem richtigen Vorzeichen. Da hier die Amplitude weniger wird, spricht man hier von destruktiver Interferenz.

Bewertung:
L: Bewertung bitte.
S5: Wie die vorigen, hab nichts auszusetzen.

S6: Ja. Auch hier wieder, mit den Videos kann man sich das alles besser vorstellen. Das Aufaddieren und weiter gehen.

Wiederholung:

L: Ja sehr schön bitte wiederholen.

S5: Wellen stören sich nicht gegenseitig, also gehen immer weiter und an dem Punkt, wo sie sich treffen, addiert sich die Welle. Wenn sich gleich hohe Welle nur mit unterschiedlichen Vorzeichen, dann gibt es einen Punkt, wo es gar keine Welle gibt und anschließend gehen sie weiter.

S5: Eigentlich ist das mathematisch einfach. Es addiert sich immer, weil selbst bei einer negativen kommt dann Plus plus Minus also Minus.

L: Ja ok und was von der Welle addiert sich?

S5: Die Amplituden.

L: Ja und wir haben zwei Unterscheidungen gemacht.

S5: Aja, konstruktive Interferenz ist bei einer Vergrößerung und destruktive Interferenz bei einer Verkleinerung der Amplitude.

Anwendung an ein konkretes Beispiel:

L: Nun geht es um Schallwellen. Kennt ihr Noise-Canceling-Kopfhörer?

S6: Ich glaub da wird die genau die Gegen, e wie wir das da gesehen haben, die Gegen

S5: Ich glaub, dass wenn ein Schall von außen kommt, abgedämpft wird.

S6: Ich glaub das kann man nicht so sagen, aber wenn eine positive Welle von außen kommen versucht es mit den negativen Wellen auszugleichen. Gibt es zwar nicht aber so irgendwie funktioniert das. Also nur als Beispiel eine Welle mit Plus 1 wird mit Minus 1 versucht auszugleichen.

S5: Oder sie versuchen die Störung einfach zu beenden, wie eine Mauer.

L: Aber wie ist das mit den Kopfhörern, wenn ich sie aufhabe. Einer von euch steht vor mir und einer hinter mir. Einer von euch spricht und ich höre es nicht durch die Kopfhörer, hört der andere das was gesprochen wurde?

S5: Ja.

L: Aber was heißt das dann?

S5: Das sie nicht verschwindet.

L: Genau. Also deine Erklärung S6 ist schon sehr gut, sie schaffen es durch die Interfenz in dem einen Punkt mit einer zweiten Welle die kommende Schallwelle auszulöschen. Das

wie ist noch nicht schön ausformuliert. Jetzt kommt so eine Schallwelle auf dich zu. Wie könnten wir mit einer zweiten Welle schaffen, mit Hilfe der Interferenz, dass an dem einen Punkt sich immer auslöschen?
S6: Der Kopfhörer fängt die Welle ein und im Kopfhörer wird die zweite Welle abgespielt und somit höre ich beides nicht.
L: Jaja ganz genau, aber wie muss die zweite Welle aussehen?
S5: Ich wusste gar nicht, dass es eine negative Schallwelle gibt.
L: Was ist eine positive Schallwelle?
S5: Ein Ton.
L: Ihr seid ja beide Musiker, der Ton besteht ja nicht nur aus positiven Amplituden, sondern damit der entsteht muss er ja schwingen, also positiv als auch negativ.
S5: Ja stimmt.
L: Ihr müsst aufpassen, ich habe immer von positiven Amplituden gesprochen, nicht von positiven Wellen.
S6. Mhm.
L: Zurück zum Beispiel, wie schaffen wir das. Diese Welle ist zum Beispiel ein Ton.
[S6 zeichnet die Welle richtig versetzt]
L: Jaa ganz genau. Super. Sie ist einfach verschoben.
S5: So, dass sie sich ausaddiert und dann ist kein Ton da.
L: Ganz genau. Also jetzt haben wir einen zweiten Ton, welche genau richtig versetzt ist, dann ist bei jedem Punkt Null.
Sehr interessant ist, dass ein Ton mit einem zweiten Ton Stille werden kann. Laut und Laut ist Leise.

Erklärung Teil IV (Beugung)
L: Wir haben bis jetzt immer davon gesprochen, dass sich Wellen ungestört ausbreiten können, aber in der Natur ist das ja nicht immer gegeben. Eine Lichtwelle oder Schallwelle hat sehr oft ein Hindernis. Man hat ein interessantes Phänomen entdeckt was mit einer Welle passiert, wenn es auf ein Hindernis trifft. Ich zeige euch eine Simulation. Das oben stellt die Welle da und jetzt gebe ich einen Spalt hinzu. Nun beobachten wir, was nach dem Spalt passiert. […] In der Mitte läuft sie normal weiter, sie breitet sich weiter geradlinig aus wie vorher. Aber am Rand wird die Welle abgelenkt. Obwohl hier ein Spalt ist und die Welle sich geradlinig ausbreitet, kommt sie hinter den Spalt. Also ein Teil der Welle muss die Richtung ändern, sonst wäre hinter dem Hindernis keine Welle. Dies nennt man Beu-

gung. Die Welle wird gebeugt. Wann kann eine Beugung gut beobachtet werden? Immer dann, wenn der Spaltabstand gleich groß ist wie die Wellenlänge. Sichtbares Licht haben wir ja gesagt ist im Wellenlängenbereich 10 hoch -6 bis 10 hoch -7 Meter. Somit können wir bei sichtbarem Licht nur Beugung beobachten, wenn der Spalt 10-6 bis 10-7 Meter breit ist. Also so klein, dass wir das im Alltag nicht erkennen. Deshalb sehen wir auch beim Fenster keine Beugung, weil der Spalt viel größer ist. Und wenn wir uns jetzt nicht einen Spalt ansehen, sondern eine Kante, können wir uns auch fragen, ob wir Beugung beobachten können. Also wir schauen uns an was mit dem Licht auf einer Kante des Fensters trifft, passiert.

S6: Was wäre, wenn wir die Beugung beim Licht sehen würden, wenn der Spalt klein genug ist.

L: Naja dann wird die Lichtwelle gebeugt, ändert die Richtung also knickt um. Aber da diskutieren wir am Schluss nochmal bei dem Beispiel. Zurück zur Kante.

Man sieht hier auf der Seite wo keine Kante ist, breitet es sich weiter geradlinig aus und irgendwann kommt der Punkt, wo ein Teil der Welle die Richtung ändert, somit gebeugt wird. Ihr habt da auch ein Bild auf euren Zetteln. Ab wann beugt sich die Welle, also ab wann breitet sich die Welle nicht mehr geradlinig aus? Das ist wieder genau die Wellenlänge. Also wenn eine Lichtwelle zum Fenster kommt, dann wird an von der Kante weg 10 hoch -6 Meter von der Lichtwelle gebeugt, danach nicht mehr. Also sie wird auch da gebeugt, aber 10 hoch -6 Meter ist so klein, das können wir nicht wahrnehmen. Ein Beispiel wäre, die Feuerwehr, Rettung und Polizei verwenden Funkgeräte. Sie verwenden zum Übertragen Ultrakurzwellen mit Wellenlängen von 1 bis 10 Meter. Das bedeutet, wenn die Polizei ein Funksignal ausschickt also eine Welle mit einer Wellenlänge von 10 Meter z.B. dann breitet sich die Welle geradlinig aus und kommt vielleicht irgendwann auf eine Kante, dann wird 10 Meter von der Kante weg ändern nach der Kante die Richtung und alle die weiter weg sind breiten sich weiter geradlinig aus. Also wenn 10 Meter oder weniger weit von der Kante weg sind, werden sie abgelenkt.

S6: Das heißt, deswegen kann man auch um die Ecke funken?

L: Ja ganz genau.

Bewertung

L: Bitte letzte Bewertung.

S5: Wieder einfach zu folgen und die Animation war gut.

S6: Find ich auch.

Wiederholung

L: Wer möchte es wiederholen?

S5: Die Wellen, die auf ein Objekt treffen, werden an dem Teil wo sie normal durch können gehen sie durch wie sie auch gekommen sind. Je nachdem wie groß die Wellenlänge ist, wird dann an der Kante von dem Objekt gebeugt und ändert die Richtung. Das was auf das Objekt direkt trifft kann nicht weiter gehen.

L: Ja und beim Spalt?

S5: Da geht die Welle wie vorher normal durch nur wird hier an beiden Seiten die Welle gebeugt, wenn er so groß ist wie die Wellenlänge.

Anwendung an ein konkretes Beispiel

L: Letztes Beispiel. Stellt euch vor ihr steht vor einer offenen Eingangstür und eine weitere Person steht drinnen hinter der Mauer. Die Person im Haus spricht etwas. Warum hört ihr die Person, aber warum könnt ihr sie nicht sehen?

S5: Also wir können sie hören, weil die Schallwellen wo sie gesprochen wird an der Kante die Richtung ändern. Das Licht was aber kommt, das eintrifft, liegt das daran das das Licht so klein ist, die Welle?

L: Was meinst du mit klein?

S6: Es kann nicht sichtbar gebeugt werden, weil der Spalt zu groß ist, wie das Fenster und bei den Schallwellen kommen gut gebeugt durch.

S5: Ja genau du hast es gut erklärt. Die Wellenlänge ist beim Licht viel kleiner.

L: Ganz genau sehr schön. Es wird sowohl die Schallwelle als auch die Lichtwelle an der Kante gebeugt, aber durch die kleine Wellenlänge beim Licht wird wie wir vorher besprochen, nur 10 hoch -6 Meter gebeugt und bei den Schallwellen sind wir im Meterbereich.

S5: Das habe ich vorher mit der Wellengröße gemeint.

L: Genau, hab es mir e gedacht, deshalb die Frage was du mit klein meinst. Die Wellenlänge hat noch gefehlt.

Schon interessant, es ist für uns normal das wir um die Ecke hören können und nicht sehen. Die Beugung ist unter anderem ein wichtiger Faktor dabei.