



universität  
wien

# DISSERTATION / DOCTORAL THESIS

Titel der Dissertation / Title of the Doctoral Thesis

„Die Rolle von Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall im naturwissenschaftlichen Kontext“

Konzeption und Evaluation einer Lehr-Lern-Einheit  
zur Wahrscheinlichkeitstheorie in der Radioaktivität

verfasst von / submitted by

Mag. rer. nat. Alexandra Jansky

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

Wien, 2019 / Vienna 2019

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

A 796 605 411

Dissertationsgebiet lt. Studienblatt / field of study as  
it appears on the student record sheet:

Physik

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf



# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Menschen bedanken, die mich maßgeblich während meines Doktorats unterstützt haben und ohne denen diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Zu allererst möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater, Prof. Martin Hopf, für seine großartige Betreuung bedanken. Er hatte stets ein offenes Ohr und immer wertvolle Ratschläge und seine ständige Hilfs- und Diskussionsbereitschaft haben mich enorm in meiner Forschung unterstützt. Danke Martin!

Des Weiteren möchte ich mich bei meinem CERN Supervisor, Dr. Sascha Schmeling, bedanken, der mir nicht nur die Möglichkeit gegeben hat, meine Doktorarbeit am CERN durchzuführen, sondern mich in den vergangenen Jahren auch durchgehend gefördert hat.

Mein außerordentlicher Dank gilt Julia Woithe, die mir nicht nur persönlich, sondern auch fachlich immer zur Seite gestanden ist. Unsere zahlreichen Gespräche waren nicht nur bereichernd, sondern auch motivierend. In diesem Zusammenhang möchte ich mich auch bei Dr. Jeff Wiener bedanken, der mir ebenfalls immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist.

Ebenso möchte ich mich bei Dr. Sarah Aretz für ihr gründliches Korrekturlesen dieser Arbeit bedanken.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern Gerhard und Theresia Feistmantl für ihre ständige Unterstützung und bei meinem Mann Roland für seine Geduld und Unterstützung bedanken.



# Abstract

In vielen Bereichen der Wissenschaft spielen Zufall und Wahrscheinlichkeit eine große Rolle. Insbesondere bei quantenmechanischen Phänomenen, wie zum Beispiel dem Zerfall eines instabilen Atomkerns, können lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden. Aus früheren Studien zum Beispiel aus der Mathematikdidaktik und Psychologie ist bekannt, dass Jugendliche Probleme haben, zufällige Prozesse zu verstehen. Diese Verständnisprobleme könnten einen Einfluss auf das Verständnis zufallsbasierter physikalischer Prozesse haben. Ausgangspunkt dieser Arbeit war die fachdidaktische Frage, ob Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu finden sind. Diese Fragestellung wurde mit den folgenden Schritten untersucht:

Im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion wird zunächst geklärt, was Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall verstehen und welche Themen in der Physik in Hinblick auf Wahrscheinlichkeitstheorie relevant sind. Dazu wurden zehn Physikerinnen und Physiker mittels Delphi Studie befragt. Es zeigt sich, dass Zufall und Wahrscheinlichkeit in der Radioaktivität als relevant erachtet wird.

Zur Erhebung der Lernendenperspektive werden Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall sowie zu ausgewählten Themen der Physik zusammengefasst. Um den Einfluss aus der Literatur bekannter Schülervorstellungen zum Zufall auf das Verständnis teilchenphysikalischer Prozesse zu untersuchen, wurden 33 Interviews mit 16 bis 19-jährigen deutschsprachigen Schülerinnen und Schüler durchgeführt und inhaltsbasiert analysiert. Es wurde entdeckt, dass Jugendliche aus der Literatur bekannte Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall auch in naturwissenschaftlichen Kontexten, zum Beispiel zum Thema Radioaktivität, äußern.

Basierend auf diesen Ergebnissen entstand eine Lehr-Lern-Einheit zur Wahrscheinlichkeitstheorie im Kontext Radioaktivität. Es wurde erforscht, ob es gelingt, Radioaktivität mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie so einzuführen, dass Jugendliche den Zerfall eines instabilen Atomkerns verstehen und akzeptieren. Die Lehr-Lern-Einheit wurde im Rahmen fachdidaktischer Entwicklungsforschung in mehreren Zyklen erarbeitet. Insgesamt wurden drei Iterationen durchgeführt und die jeweilige Version der Lehr-Lern-Einheit mit Hilfe der Akzeptanzbefragung evaluiert. Es wurden insgesamt 14 Einzelinterviews mit 17 bis 18-jährigen deutschsprachigen Jugendlichen durchgeführt. Alle Interviews wurden gefilmt, transkribiert und mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet. Die finale Lehr-Lern-Einheit wurde von den teilnehmenden Jugendlichen als adäquat und plausibel erachtet.

Zusammenfassend zeigt das Dissertationsprojekt, dass Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall im naturwissenschaftlichen Kontext eine Rolle spielen. Es wurde entdeckt, dass Jugendlichen aufgrund der Zufälligkeit des Zerfalls instabiler Atomkerne Verständnisprobleme aufweisen. Die Ergebnisse belegen die Machbarkeit einer angemessenen und plausiblen Einführung der Radioaktivität mittels Wahrscheinlichkeitstheorie.

## Abstract in english

Randomness and probability play a big role in many areas of science. For example, probabilistic statements can only describe quantum mechanical phenomena, such as the decay of an unstable atomic nucleus. It is known that adolescents have problems understanding random processes from previous studies in mathematics education research and psychology. These problems of understanding could also have an impact on the understanding of random physical processes.

The starting point of this work was the question of whether students' ideas on probability and randomness can also be found in the context of natural sciences. The following steps examined this question:

In the framework of educational reconstruction, it was first clarified what scientists understand by probability theory and randomness and which topics in physics are relevant in terms of probability theory. Ten physicists were participating in a Delphi study. It shows, among other things, that randomness and probability in radioactivity are considered relevant.

To survey the perspective of students, ideas about probability and randomness, as well as selected topics of physics are summarized. To investigate the influence of well-known students' ideas on randomness on the understanding of particle-physics processes, 33 interviews were carried out with 16 to 19-year-old German-speaking students and content-based analyzed. It turns out that student express students conceptions on probability and randomness known from literature even in scientific contexts, for example in the context of radioactivity.

Based on these results, a teaching unit on probability theory in the context of radioactivity was developed. It was explored whether radioactivity can be introduced with the help of probability theory in such a way that students understand and accept the decay of an unstable atomic nucleus. The teaching unit was developed within the scope of Design-Based research in several cycles. In total, three iterations were carried out and the respective version of the teaching unit was evaluated with the help of an acceptance survey. A total of 14 one-on-one interviews were conducted with 17- to 18-year-old German-speaking students. All interviews were filmed, transcribed and evaluated with the methods of qualitative content analysis. The final teaching unit was considered by the participating students to be both adequate and plausible.

In summary, students' views on probability and randomness play a role in the scientific context. It has been discovered that students have problems understanding the decay of unstable atomic nuclei due to its random nature. The results also demonstrate the feasibility of an adequate and plausible introduction to radioactivity using probability theory.



# Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG .....	1
1.1	Inhalt der Arbeit .....	1
2	DIDAKTISCHE GRUNDLAGEN UND METHODISCHES VORGEHEN .....	5
2.1	Das Projekt im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion .....	5
2.1.1	<i>Das Modell der Didaktische Rekonstruktion</i> .....	5
2.1.2	<i>Qualitative Inhaltsanalyse</i> .....	6
2.1.2.1	Richtlinien zur Vorgehensweise beim Analysieren nach qualitativer Inhaltsanalyse .....	7
A.	THEORETISCHER HINTERGRUND .....	13
3	FACHLICHEN GRUNDLAGEN ZU ZUFALL UND WAHRSCHEINLICHKEITSRECHNUNG .....	15
3.1	Einleitung.....	15
3.2	Maß und Wahrscheinlichkeitsräume .....	16
3.2.1	<i>Sigma - Algebra, Maße und Wahrscheinlichkeitsräume</i> .....	16
3.3	Messbare Abbildungen und Zufallsvariablen .....	18
3.3.1	<i>Zufallsvariablen, Verteilungen und Verteilungsfunktionen</i> .....	18
3.3.2	<i>Einige Beispiele für Verteilungen</i> .....	20
3.4	Erwartungswert und Varianz .....	21
3.5	Gesetz der großen Zahlen .....	21
4	BEDEUTUNG VON ZUFALL .....	22
4.1	Zufall im Sprachgebrauch .....	22
4.2	Zufall aus epistemologischer Sicht.....	23
4.3	Zufall und Physik .....	23
5	FACHLICHE GRUNDLAGEN ZUR RADIOAKTIVITÄT .....	24
5.1	Stabile und instabile Atomkerne.....	24
5.2	Die Beta-Umwandlung .....	25
5.3	Die Alpha-Umwandlung .....	25
5.4	Die Gamma-Umwandlung .....	27
5.5	Der radioaktive Zerfall eines instabilen Atomkerns.....	27
5.6	Die Halbwertszeit .....	28
5.7	Modellierung des radioaktiven Zerfalls instabiler Atomkerne .....	28
6	GENERELLE ASPEKTE ZU SCHÜLERVORSTELLUNGEN .....	31
6.1	Schülervorstellungen in der Physik.....	31
6.2	Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit.....	32
6.2.1	<i>Schülervorstellungen zum Messprozess</i> .....	36
6.2.1.1	Diskussion und Limitation.....	39
6.2.2	<i>Schülervorstellungen zur Atom-, Kern- und (Elementar-) Teilchenphysik</i> .....	40
6.2.3	<i>Schülervorstellungen zur Radioaktivität</i> .....	42
6.2.3.1	Schülervorstellungen zu ionisierender Strahlung .....	43
6.2.3.2	Schülervorstellungen zum Zerfall eines instabilen Atomkerns .....	44
6.2.3.3	Diskussion.....	45
B.	STUDIE ZU WAHRSCHEINLICHKEITSTHEORIE IN DER PHYSIK .....	47
7	ERHEBUNG WAHRSCHEINLICHKEITSTHEORETISCHER THEMEN IN DER PHYSIK .....	49
7.1	Motivation .....	49
7.2	Allgemeines über Delphi-Studien.....	49
7.3	Evaluation der Delphi-Studie.....	51
7.3.1	<i>Forschungsfrage und Studiendesign</i> .....	51
7.3.2	<i>Stichprobe und Pilotstudie</i> .....	58
7.3.3	<i>Auswertemethodik und Abbruchkriterium</i> .....	59
7.3.4	<i>Ergebnisse der ersten Befragungsrunde</i> .....	60

7.3.5	<i>Testinstrument der ersten Feedbackrunde</i> .....	63
7.3.6	<i>Ergebnisse der Delphi-Studie</i> .....	65
7.3.6.1	Diskussion der Ergebnisse der Delphi-Studie .....	68
C.	SCHÜLERVORSTELLUNGSSTUDIE 1 .....	71
8	ERHEBUNG VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZU ZUFALL UND WAHRSCHEINLICHKEIT IM KONTEXT DER TEILCHENPHYSIK .....	73
8.1	Einleitung.....	73
8.2	Evaluation der Schülervorstellungsstudie .....	73
8.2.1	<i>Forschungsfragen</i> .....	73
8.2.2	<i>Studiendesign</i> .....	74
8.2.3	<i>Erprobung</i> .....	75
8.2.4	<i>Testinstrument</i> .....	76
8.2.5	<i>Stichprobe</i> .....	78
8.2.6	<i>Auswertemethodik</i> .....	80
8.3	Ergebnisse der Schülervorstellungsstudie.....	85
8.3.1	<i>Analyserunde 1</i> .....	85
8.3.2	<i>Analyse zur Kontextabhängigkeit</i> .....	89
8.3.3	<i>Andere Ergebnisse</i> .....	91
8.3.4	<i>Diskussion der Ergebnisse</i> .....	94
9	ANALYSE DER LEHRPLÄNE DER SEKUNDARSTUFE 1 IN DEUTSCHEN GYMNASIEN.....	97
9.1	Einleitung.....	97
9.2	Evaluation der Lehrplananalyse.....	97
9.2.1	<i>Forschungsinteresse</i> .....	97
9.2.2	<i>Analysematerial</i> .....	98
9.2.3	<i>Ergebnisse zu Forschungsinteresse 1</i> .....	98
9.2.4	<i>Auswertemethodik</i> .....	99
9.2.5	<i>Ergebnisse zu Forschungsinteresse 2</i> .....	102
9.2.6	<i>Diskussion</i> .....	104
10	ZWISCHENFAZIT .....	105
D.	KONZEPTION UND ENTWICKLUNG DER LEHR-LERN-EINHEIT .....	109
11	ENTWICKLUNG DER LEHR-LERN-EINHEIT .....	111
11.1	Didaktische Grundüberlegungen.....	111
11.1.1	<i>Design-Based Research</i> .....	111
11.1.2	<i>Studie als Design-Based-Research Projekt</i> .....	111
11.1.3	<i>Grundüberlegungen zum Design der Lehr-Lern-Einheit</i> .....	112
11.1.4	<i>Erste Version der Lehr-Lern-Einheit</i> .....	113
11.1.4.1	Informationsangebot .....	113
11.1.4.2	Aufgaben.....	115
11.2	Evaluation der Lehr-Lern-Einheit .....	117
11.2.1	<i>Studiendesign</i> .....	117
11.2.2	<i>Methode der Akzeptanzbefragung</i> .....	118
11.2.1	<i>Auswertemethodik</i> .....	118
11.3	Erste Iteration - Prototyp der Lehr-Lern-Einheit.....	120
11.3.1	<i>Ergebnisse</i> .....	120
11.3.2	<i>Diskussion und Anforderungen für die nächste Iteration</i> .....	125
11.4	Zweite Iteration – Erste Überarbeitung des Designs und zusätzliches Designprinzip....	126
11.4.1	<i>Zweite Version der Lehr-Lern-Einheit</i> .....	128
11.4.1.1	Informationsangebot zum Gesetz der großen Zahlen .....	128
11.4.1.2	Aufgaben zum Gesetz der großen Zahlen .....	130
11.4.1.3	Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall.....	131
11.4.1.4	Aufgaben zum radioaktiven Zerfall.....	133

11.4.2	<i>Ergebnisse</i>	134
11.4.2.1	Akzeptanz und Paraphrasierung	134
11.4.2.2	Aufgaben	135
11.4.3	<i>Diskussion und Anforderungen für die nächste Iteration</i>	138
11.5	Dritte Iteration – Finale Version der Lehr-Lern-Einheit	139
11.5.1	<i>Einführung zur Wahrscheinlichkeitstheorie</i>	139
11.5.1.1	Informationsangebot	139
11.5.1.2	Anwendungsbeispiele	143
11.5.2	<i>Einführung zum radioaktiven Zerfall</i>	144
11.5.2.1	Informationsangebot	144
11.5.2.2	Anwendungsbeispiele	145
11.5.3	<i>Erklärung der Halbwertszeit</i>	146
11.5.3.1	Informationsangebot	146
11.5.3.2	Anwendungsbeispiele	148
11.5.4	<i>Stichprobe</i>	149
11.5.5	<i>Ergebnisse der Lehr-Lern-Einheitsstudie</i>	149
11.5.5.1	Akzeptanz	150
11.5.5.2	Paraphrasierung	152
11.5.5.3	Anwendungsbeispiele	155
11.5.6	<i>Zusammenfassung und Bewertung der Akzeptanzbefragung</i>	159
E.	SCHÜLERVORSTELLUNGSSTUDIEN 2 & 3	163
12	ROLLE DER ZUFALLSVARIABLE BEI SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUR WAHRSCHEINLICKEITSRECHNUNG	165
12.1	Evaluation der Studie	165
12.1.1	<i>Forschungsfrage</i>	165
12.1.2	<i>Studiendesign</i>	165
12.1.3	<i>Testinstrument</i>	166
12.1.4	<i>Stichprobe</i>	172
12.2	Ergebnisse des Fragebogens	173
12.3	Diskussion der Ergebnisse	175
12.4	Zusammenfassung	178
13	SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUM ZERFALL INSTABILER ATOMKERNE	180
13.1	Jugendliche beschreiben den radioaktiven Zerfall	180
13.1.1	<i>Stichprobe</i>	180
13.1.2	<i>Testinstrument</i>	181
13.1.3	<i>Auswertemethodik</i>	182
13.2	Ergebnisse der offenen Fragen	184
13.2.1	<i>Vorstellung 1: Der Kern zerfällt bis nichts mehr übrig ist</i>	184
13.2.2	<i>Vorstellung 2: Radioaktivität als ein Stoff</i>	184
13.2.3	<i>Vorstellungen zur Halbwertszeit</i>	184
13.2.4	<i>Zusammenfassung und Bewertung der offenen Fragen</i>	185
F.	SCHLUSSBETRACHTUNGEN	189
14	ZENTRALE ERKENNTNISSE DES FORSCHUNGSPROJEKTS	191
15	IDEEN ZUR WEITERENTWICKLUNG UND AUSBLICK	193
15.1	Zur Lehr-Lern-Einheit	193
15.1.1	<i>Fortbildung für Lehrpersonen</i>	193
15.1.2	<i>Erweiterung der Themenbereiche</i>	193
15.2	Zur Erhebung der Lernendenperspektive	193
16	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	195
17	LITERATURVERZEICHNIS	199
18	ANHANG	207

18.1	Themen zur Delphi-Studie .....	207
18.2	Interview Transkripte der Schülervorstellungsstudie .....	208
18.3	Fragebogen zu den Schülervorstellungsstudien 2&3 .....	265
18.4	Transkripte zur Akzeptanzbefragung .....	271
18.4.1	<i>Jugendlicher A</i> .....	271
18.4.2	<i>Jugendlicher B</i> .....	275
18.4.3	<i>Jugendliche C</i> .....	279
18.4.4	<i>Jugendlicher D</i> .....	285
18.4.5	<i>Jugendlicher E</i> .....	289
18.4.6	<i>Jugendlicher F</i> .....	294
18.4.7	<i>Jugendlicher G</i> .....	298

# Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 7-1:</b> Hauptthemen und deren Unterthemen aus dem „Physics guide“ des IB Curriculum für das Diploma Programme.....	53
<b>Tabelle 7-2:</b> Kategorien zur Reduzierung der Unterthemen .....	53
<b>Tabelle 7-3:</b> Neue Zuordnung ausgewählter Unterthemen .....	54
<b>Tabelle 7-4:</b> Finale Liste der Hauptthemen und deren Unterthemen für die Delphi-Studie..	56
<b>Tabelle 7-5:</b> Detaillierte Beschreibung der Stichprobe in der Pilotstudie der Delphi-Studie.	58
<b>Tabelle 7-6:</b> Detaillierte Beschreibung der Stichprobe für die Hauptstudie der Delphi-Studie .....	59
<b>Tabelle 7-7:</b> Ergebnisse der ersten Befragungsrunde der Delphi-Studie .....	62
<b>Tabelle 7-8:</b> Ergebnisse der ersten Feedbackrunde der Delphi-Studie .....	65
<b>Tabelle 8-1:</b> Interviewleitfaden zur Hauptstudie unterteilt in unterschiedliche Phasen .....	78
<b>Tabelle 8-2:</b> Übersicht über die Stichprobe der Hauptstudie zu Schülervorstellungen .....	80
<b>Tabelle 8-3:</b> Kodiermanual zum Kodieren der Schülervorstellungsstudie.....	82
<b>Tabelle 8-4:</b> Übersicht über alle gebildeten Kategorien in der Schülervorstellungsstudie mit zugehöriger Anzahl an Kodierungen.....	82
<b>Tabelle 8-5:</b> Übersicht über Kodierungen zum Vergleich von verschiedenen Phasen des Leitfadeninterviews zur Schülervorstellungsstudie .....	84
<b>Tabelle 8-6:</b> Zusammenfassung aller gefundenen Kategorien mit Anzahl der Jugendlichen, die mindestens einmal in dieser Kategorie geantwortet haben. Grün hinterlegt sind kontextunabhängige Vorstellungen und gelb hinterlegt sind kontextabhängige Vorstellungen (weiß sind jene, die nur in einem Kontext gefragt werden können). .....	85
<b>Tabelle 9-1:</b> Übersicht über Themenbereiche und Jahrgänge, in denen Radioaktivität in gymnasialen deutschen Lehrplänen bis zur Jahrgangsstufe 10 enthalten ist (Bundesland spezifisch).....	99
<b>Tabelle 9-2:</b> Ergebnisse der Inhaltsanalyse der Lehrpläne .....	103
<b>Tabelle 11-1:</b> Kodierleitfaden zum Analysieren der Lehr-Lern-Einheitsstudie .....	120
<b>Tabelle 11-2:</b> Ergebnisse der Transferbeispiele der Lehr-Lern-Einheit in Iteration 1 .....	120
<b>Tabelle 11-3</b> Ergebnisse zu den Anwendungsbeispielen der Lehr-Lern-Einheit in Iteration 2 .....	135
<b>Tabelle 11-4:</b> Übersicht der Stichprobe der Akzeptanzbefragung in Iteration 3.....	149

<b>Tabelle 11-5:</b> Übersicht der Ergebnisse zur Akzeptanz .....	150
<b>Tabelle 11-6:</b> Übersicht der Ergebnisse zur Paraphrasierung .....	153
<b>Tabelle 11-7:</b> Übersicht der Ergebnisse der Anwendungsbeispiele.....	155
<b>Tabelle 12-1:</b> Einteilung der von den Jugendlichen genannten Beispiele für zufällige Ereignisse nach der Art ihrer Zufallsvariable und dem Thema .....	169
<b>Tabelle 12-2:</b> Beispiele für zufällige Ereignisse kategorisiert nach Wahrscheinlichkeitsraum und Thema.....	171
<b>Tabelle 12-3:</b> Übersicht über die Stichprobe der Studie zur Rolle der Zufallsvariable .....	173
<b>Tabelle 12-4:</b> Ergebnisse der Befragung zur Rolle der Zufallsvariable .....	174
<b>Tabelle 12-5</b> Übersicht über alle als zufällig bewerteten Ereignisse .....	176
<b>Tabelle 12-6:</b> Übersicht über alle Ereignisse bei denen sich Jugendliche uneinig sind über sie zufällig oder nicht zufällig sind .....	176
<b>Tabelle 12-7:</b> Übersicht über alle Ereignisse, die von den Jugendlichen als nicht zufällig bewertet wurden .....	177
<b>Tabelle 13-1</b> Stichprobe der schriftlichen Befragung zu Schülervorstellungen zur Radioaktivität .....	181
<b>Tabelle 13-2:</b> Kodiermanual zum Kodierender offenen Fragen .....	183
<b>Tabelle 13-3:</b> Ergebnisse der offenen Fragen.....	185

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 2-1:</b> Schemenhafte Darstellung des Wechselspiels im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997) .....	5
<b>Abbildung 5-1:</b> Darstellung des Coulombwalls (Von Johannes Schneider - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <a href="https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61182444">https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61182444</a> ).....	26
<b>Abbildung 7-1:</b> Beispiel Item für die Delphi-Studie.....	57
<b>Abbildung 7-2:</b> Beispielitem der Feedbackrunde der Delphi-Studie .....	64
<b>Abbildung 8-1:</b> Springblobb im gespannten (umgestülpten) Zustand (rechts) und im Grundzustand (links).....	77
<b>Abbildung 11-1:</b> Apparatur um zehn Springblobbs gleichzeitig springen zu lassen.....	116
<b>Abbildung 11-2:</b> Schmenatische Darstellung des Studiendesigns .....	117
<b>Abbildung 12-1:</b> Ratingsystem für Jugendliche um ihre Bereitwilligkeit für die Interviewstudie anzugeben .....	166
<b>Abbildung 12-2:</b> Beispiel für ein Ereignis und das Bewertungssystem, mit dem das Ereignis auf seine Zufälligkeit bewertet werden soll. ....	171



# 1 Einleitung

Viele Entscheidungen in unserem Leben treffen wir bewusst oder unbewusst aufgrund von wahrscheinlichkeitstheoretischen Annahmen. Zum Beispiel: Wie haben Sie heute früh entschieden, was Sie anziehen werden? Haben Sie am Handy oder in der Zeitung nachgelesen wie die Wettervorhersage ist? In vielen Wetter-Apps wird heute eine Regenwahrscheinlichkeit angegeben. Diese besagt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, ob es zu einer Tageszeit regnet oder nicht. Ist diese Regenwahrscheinlichkeit besonders hoch, werden Sie sich wahrscheinlich entscheiden einen Regenschirm mitzunehmen, wenn sie nach draußen gehen. Dies ist nur ein sehr einfaches Beispiel bei dem jeden Tag eine Entscheidung aufgrund von Daten getroffen wird. Für ein reife, unabhängige und frei denkende Person ist es unablässig, solche wahrscheinlichkeitstheoretischen Daten interpretieren und darauf basierend Entscheidungen treffen zu können. Die Literatur zeigt, dass Jugendliche aber gerade in der Wahrscheinlichkeitstheorie großen Verständnisschwierigkeiten aufweisen (Fischbein und Schnarch 1997, Gal 2005, Batanero 2015). Diese Verständnisschwierigkeiten könnten zu Verständnisproblemen in anderen Bereichen außerhalb des Mathematikunterrichts führen. Denn Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall spielen auch für physikalische Themen eine Rolle. Es ist in der Teilchenphysik ein grundlegendes Verständnis von Wahrscheinlichkeitstheorie notwendig, um zum Beispiel die Bedeutung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Elektrons zu verstehen. Demnach könnten auch einige Schwierigkeiten der Jugendlichen beim Erlernen der Grundlagen dieser physikalischen Themen auf Lernhindernisse in der Wahrscheinlichkeitstheorie zurückgeführt werden. Diese und weitere Hypothesen werden in der vorliegenden Arbeit überprüft. Der Inhalt dieser Arbeit wird im nächsten Paragraphen erläutert.

## 1.1 Inhalt der Arbeit

Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts ist es eine Lehr-Lern-Einheit zum Thema Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall im physikalischen Kontext zu entwickeln. Die anfängliche Hypothese der Forscherin war, dass Jugendlichen Probleme im Verständnis von teilchenphysikalischen Phänomenen haben, weil sie Wahrscheinlichkeitstheorie fehlinterpretieren. Es erschien sinnvoll, Radioaktivität als Beispiel für teilchenphysikalische Phänomene zu wählen. Denn in der Radioaktivität gibt es viele Anknüpfungspunkte zur Wahrscheinlichkeitstheorie. Außerdem lernen Jugendliche im deutschsprachigen Raum zumindest laut gymnasialen Lehrplänen aller deutschen Bundesländer etwas über den Zerfall instabiler Atomkerne in der Sekundarstufe 1 (vgl. Kapitel 9). Es kann also davon ausgegangen werden, dass Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe eine Vorstellung vom radioaktiven Zerfall haben. Als

## **Kapitel 1|Einleitung**

Rahmentheorie für die Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit wurde die Didaktische Rekonstruktion gewählt. Die Arbeit ist in mehrere Teile gegliedert. In Abschnitt A wird der theoretische Hintergrund erläutert. Der Abschnitt B beschreibt die Liste wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen in der Physik, die erstellt wurde. Eine Schülervorstellungsstudie wird in Abschnitt C beschrieben. In Abschnitt D wird die Konzeption der Lehr-Lern-Einheit diskutiert. Eine weitere Erhebung von Schülervorstellungen wird in Abschnitt E erläutert. In Abschnitt F wird in der Schlussbetrachtung die Arbeit im Rückblick betrachtet. Diese Teile sind keine voneinander unabhängigen Studien, sie beeinflussen sich wechselseitig, die Einteilung dient lediglich zur übersichtlichen Gliederung.

### **Inhalt im Abschnitt A) Theoretischer Hintergrund**

Der erste Abschnitt A) zum theoretischen Hintergrund umfasst die Kapitel 3 bis 6. In Kapitel 3 und 5 wird das Fachwissen zu Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall sowie zur Radioaktivität geklärt. Dabei wurde zunächst erörtert, was Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unter Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall verstehen. Es wird die axiomatische Definition der Wahrscheinlichkeitstheorie zusammengefasst und der Zusammenhang zur Statistik und Datenverarbeitung erläutert. In Kapitel 4 wird die Bedeutung von Zufall in der Gesellschaft und in der Physik besprochen. Es werden verschiedene Sichtweisen diskutiert. Der fachliche Hintergrund zur Radioaktivität wird im Kapitel 5 zusammengefasst. Dabei wird der Zusammenhang zur Wahrscheinlichkeitstheorie erläutert. Nachdem der fachliche Hintergrund geklärt ist, wird in Kapitel 6 die Schülerperspektive näher betrachtet. Es wird untersucht, ob es bereits Forschung zu Schülervorstellungen im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitsrechnung im Kontext der Physik gibt. Es werden Forschungsprojekte der Mathematikdidaktik zu Schülervorstellungen im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall, sowie Projekte der Physikdidaktik zu Wahrscheinlichkeit und Zufall besprochen. Es wird eine Zusammenfassung der aus der Literatur bekannten Schülervorstellungen verfasst.

### **Inhalt im Abschnitt B) Evaluation von wahrscheinlichkeitstheoretischen Themen in der Physik**

Bei der Klärung des theoretischen Hintergrunds wurde festgestellt, dass bisher nicht geklärt ist, welche physikalischen Themen Physikerinnen und Physiker im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie relevant finden. Daher wird in diesem Abschnitt eine Befragung von Physikerinnen und Physikern durchgeführt mit dem Ziel, eine Liste relevanter Themen zu finden (Kapitel 7). Dazu wird die Methode der Delphi-Studie verwendet. Die allgemeinen Merkmale einer solchen Studie werden im Paragraphen 7.2 zusammengefasst. Das spezifische Studiendesign, das Testinstrument und die Ergebnisse werden im Paragraphen 7.3 diskutiert.

Basierend auf den Ergebnissen der Delphi-Studie wurden Recherchen zu Schülervorstellungen zu einigen Themen durchgeführt (vgl. Paragraphen 6.2.1, 6.2.2 und 6.2.3). Diese Recherchen führten zum Abschnitt C) der Schülervorstellungsstudie.

### **Inhalt im Abschnitt C) Schülervorstellungsstudie 1**

Im Abschnitt C) der Schülervorstellungsstudie wird geklärt, welche Vorstellung Jugendlichen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung im naturwissenschaftlichen Kontext haben. Dieser Abschnitt umfasst die Kapitel 8 bis 10. In Kapitel 8 wird zunächst eine Interviewstudie mit semistrukturierten Leitfaden vorgestellt. Es wird geklärt, welche Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall im Kontext der Physik beobachtet werden können und ob sich die Schülervorstellungen mit dem Kontext ändern. Es wird außerdem deren Einfluss auf das Verständnis teilchenphysikalischer Themen untersucht. Dazu werden zunächst die Interviews transkribiert. Zur Analyse der Transkripte wird die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse angewendet (vgl. Paragraph 2.1.2). Der Interviewleitfaden wurde so konzipiert, dass die Jugendlichen zunächst Fragen allgemein zu Zufall, dann Fragen zu Zufall in den Naturwissenschaften und am Schluss speziell zu Zufall in der Radioaktivität beantworten sollten. Um die Kontextabhängigkeit zu prüfen, wurde die Entwicklung der kodierten Textstellen in den einzelnen Abschnitten betrachtet (vgl. Paragraph 8.3.2). Um herauszufinden woher die erhobenen Schülervorstellungen stammen könnten, werden Lehrpläne der gymnasialen Sekundarstufe 1 aller deutschen Bundesländer analysiert (Kapitel 9).

Im letzten Kapitel dieses Abschnitts wird ein Zwischenfazit gegeben. Denn die Ergebnisse der vorangegangenen Studien bilden die Basis der ersten Version der Lehr-Lern-Einheit.

### **Inhalt im Abschnitt D) Konzeption der Lehr-Lern-Einheit**

Der Abschnitt D) beschäftigt sich mit der Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit. Die Lehr-Lern-Einheit wurde mit dem Ansatz der fachdidaktischen Entwicklungsforschung oder auch Design-Based Research genannt, entwickelt (vgl. Paragraph 11.1.1). Es wird eine Lehr-Lern-Einheit zum Thema Wahrscheinlichkeitstheorie im Kontext Radioaktivität entwickelt. Es wird herausgefunden, welche Schritte eine Intervention beinhalten sollte, damit Jugendliche Schlüsselideen der Wahrscheinlichkeitstheorie sowie der Radioaktivität akzeptieren und anwenden können. Dazu wird die Lehr-Lern-Einheit mittels der Methode der Akzeptanzbefragung (vgl. Paragraph 11.2.2) getestet. Zur Auswertung der Daten wird die qualitative Inhaltsanalyse angewendet. Aufgrund der Ergebnisse dieser Analyse wird entschieden, ob eine weitere Überarbeitung der Lehr-Lern-Einheit notwendig ist. Die Entwicklung beschreibt einen Prozess, der erst zu Ende ist, wenn die Jugendlichen die Lehr-Lern-Einheit vollständig akzeptieren.

## **Kapitel 1|Einleitung**

### **Inhalt im Abschnitt E) Schülervorstellungsstudien 2 & 3**

Der Abschnitt E) umfasst die Kapitel 12 und 13. Es werden zwei weitere Befragungen vorgestellt. Zu diesen Befragungen führten die Ergebnisse der Schülervorstellungsstudie in Abschnitt C). Es zeigt sich, dass Jugendliche manche Beispiele zufälliger Ereignisse eher als zufällig empfinden als andere. In Kapitel 12 wird eine schriftlichen Befragung vorgestellt, in der geklärt wird, welche Beispiele von Jugendlichen als zufälliger bewertet werden und welche Rolle dabei die Zufallsvariable spielt. Die Ergebnisse dieser Befragungen werden im Paragraphen 12.2 dargelegt.

In Kapitel 13 wird eine Studie vorgestellt in der Schülervorstellungen zur Radioaktivität erhoben werden. In dieser Studie werden die Jugendlichen gebeten den radioaktiven Zerfall und die Halbwertszeit zu erklären. Die Ergebnisse der Studie werden im Paragraphen 13.2 vorgestellt.

### **Inhalt im Abschnitt F) Schlussbetrachtung**

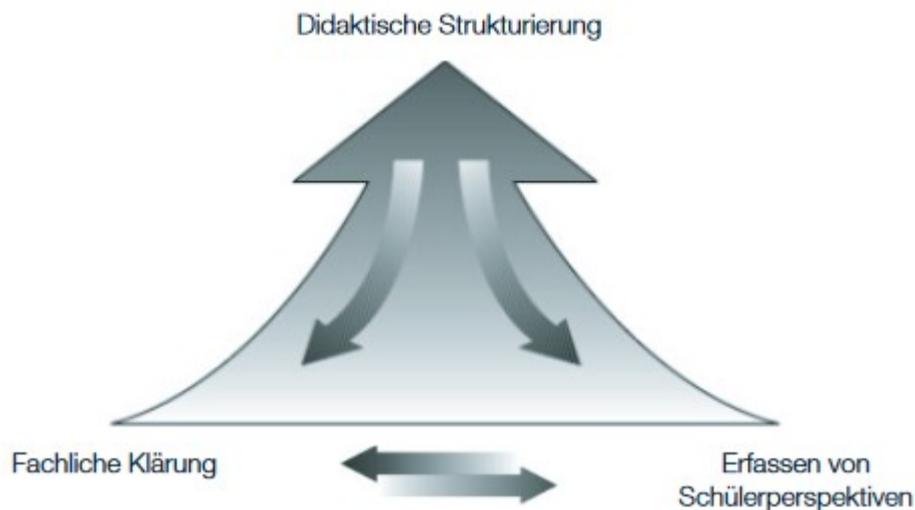
Im letzte Abschnitt dieser Arbeit, der Schlussbetrachtung, wird das gesamte Projekt im Rückblick betrachtet. Dieser Rückblick beinhaltet einerseits einer Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse, andererseits eine kritische Reflexion des Projekts. Die Arbeit wird mit einer Diskussion zu möglichen Erweiterungen der Lehr-Lern-Einheit, sowie einem Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten beendet.

## 2 Didaktische Grundlagen und methodisches Vorgehen

### 2.1 Das Projekt im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion

#### 2.1.1 Das Modell der Didaktische Rekonstruktion

Die Lehr-Lernforschung beschäftigt sich unter anderem mit der Vermittlung von themenspezifischen Wissen. Dies ist alles andere als einfach, beim Vermitteln von fachlichem Wissen müssen viele Aspekte des Lehrens und Lernens berücksichtigt werden. Eine wissenschaftliche Fundierung für eine Forschungsarbeit zur Vermittlung von Fachwissen ist daher unabdingbar. Die *Didaktische Rekonstruktion* bietet einen theoretisch fundiertes Paradigma zur Unterrichtsentwicklung, sowie zur fachdidaktischen Forschung (Kattmann et al. 1997, Gropengießer 2005). In der didaktischen Rekonstruktion wird die Schülerperspektive mit der Perspektive der Wissenschaft (in der Wissenschaft anerkannten Vorstellungen einer Thematik) in Beziehung gesetzt, um Unterricht zu planen. Dabei beschreibt das Modell der Didaktischen Rekonstruktion keine lineare Abfolge von Schritten, sondern vielmehr einen Prozess der mehrere Iterationen durchläuft und vorläufige Ergebnisse von unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Es umfasst ein Wechselspiel zwischen Fachlicher Klärung, Erfassung von Schülerperspektive und Didaktischer Strukturierung. Dieses Wechselspiel wird Schemenhaft in Abbildung 2-1 dargestellt.



**Abbildung 2-1:** Schemenhafte Darstellung des Wechselspiels im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997)

In der *fachlichen Klärung* werden die Theorien, die in der Fachwissenschaft anerkannt sind, erarbeitet. Diese fachlichen Inhalte werden in der didaktischen Rekonstruktion nicht nur vereinfacht dargestellt, sondern es wird auch auf die Lebenswelt der Lernenden Bezug genommen. Daher ist die *Erhebung der Schülerperspektive* zur didaktischen Strukturierung eines

Themas unerlässlich. Schülerperspektiven umfassen ein breites Spektrum an unterschiedlichen Lernbedingungen. Eine in der Fachdidaktik bekannte Problematik im Erlernen von Themen sind von den Jugendlichen mitgebrachte Vorstellungen. Dabei handelt es sich nicht nur um die im Unterricht vermittelten Vorstellungen, sondern auch lebensweltliche Vorstellungen, die zum Beispiel aus Alltagserfahrungen gewonnen werden. Generelle Aspekte zu Schülerperspektiven werden im Kapitel 6 zusammengefasst. Die Klärung solcher Vorstellungen ist unumgänglich, wenn man neues Wissen vermitteln möchte (Gropengießer 2005). Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion werden Schülervorstellungen und in der Wissenschaft anerkannte Vorstellungen als gleichwertig betrachtet (Reinfried et al. 2009). Die Schülerperspektive wird daher nicht als Lernhindernis, sondern als Basis für das Lernen gesehen. In der *Didaktischen Strukturierung* wird erforscht, wie ein Thema vermittelt werden soll. Dabei wird der Schwierigkeitsgrad, die Art der Erklärungen, die Reihenfolge usw. an die Voraussetzungen der Jugendlichen angepasst. Es wird entschieden welche Bezüge gemacht werden und wie ein Thema eingebettet wird, um möglichst gut an die Lebenswelt der Jugendlichen anzuknüpfen.

Wie Gropengießer (2005) erläutert, handelt es sich bei der Fachlichen Klärung so wie auch bei der Klärung von Schülerperspektiven um Inhaltsanalytische Aufgaben. Es bietet sich daher die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse als Instrument zur Datenauswertung an.

### 2.1.2 Qualitative Inhaltsanalyse

Die Qualitative Inhaltsanalyse ist eine Methode zur Auswertung von Materialien die im Rahmen eines Forschungsprojekts anfallen. Ziel ist es, den Inhalt erhobener Daten zu kategorisieren und daraus neue Erkenntnisse zu gewinnen. Bei dem zu analysierenden Material muss es sich dabei nicht unbedingt um Texte handeln, es können mit dieser Methode auch Audioaufnahmen oder Bildmaterialien ausgewertet werden (Kuckartz et al. 2009). Ein wichtiges Merkmal des Verfahrens ist, dass es sich um eine kategorienbasierte Analyse handelt. Darunter versteht man, dass einzelne Aussagen bestimmter Bilder, Text- oder Audiopassagen zu thematisch geordneten Kategorien zugeordnet werden. Dabei bietet es sich an, zur Analyse ein Kategoriensystem zu erstellen, also eine Auflistung aller Kategorien. Dies kann bei der Analyse auch als Kodieranleitung dienen. Ein kompliziertes Kategoriensystem kann hierarchisch geordnet werden, so können Kategorien mehrere Unterkategorien beinhalten. Ein solches System kann vorab erstellt und definiert werden, man spricht von einem deduktiven Vorgehen. Solche deduktiven Kategorien können also gebildet werden, wenn das abgefragte Thema schon gut erforscht ist und schon einige Informationen vorliegen. Dann können die Kategorien aus theoriegeleiteten Überlegungen oder Hypothesen abgeleitet. Manchmal lassen sich solche Kategorien auch aus der Fragestellung selbst ableiten. Wenn, zum Beispiel, nach

der liebsten Eissorte gefragt wird, kann man direkt Kategorien ableiten nämlich „Vanille“, „Schokolade“ und „Erdbeere“. Auch wenn nur ein ausgewählter Aspekt der Antworten von Interesse ist, können deduktive Kategorien gebildet werden.

Ist das Thema noch wenig erforscht, bietet sich ein anderes Vorgehen bei der Kategorienbildung an, nämlich die induktive Kategorienbildung (Mayring 2014). Das heißt, dass man das Kategoriensystem aus den vorliegenden Daten selbst erstellt. Es bietet sich vor allem dann an, wenn man keine Vorab-Kategorisierung machen will oder kann. Beispielsweise, weil nicht vorhersagbar ist wie breit das Antwortspektrum der Befragten sein wird oder weil die Fragestellung eher einen erkundenden Charakter hat (Kuckartz et al. 2009).

Dabei handelt es sich um einen Prozess, der in mehreren Schritten abläuft. Induktive Kategorien werden iterativ gebildet. Das Kategoriensystem wird mehrmals überarbeitet so, dass solche Kategorien, die zunächst sehr weit oder sehr eng definiert wurden, im Verlauf angepasst werden können.

Es ist auch möglich eine Mischform der beiden Vorgehensweisen zu verwenden. Generell folgt die Qualitative Inhaltsanalyse gewissen Schritten die je nach zu analysierendem Material und Fragestellungen adaptiert werden können. Ein allgemeines Modell zur Orientierung wurde von Mayring (2014) präsentiert. Die darin enthaltenen Schritte werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

### *2.1.2.1 Richtlinien zur Vorgehensweise beim Analysieren nach qualitativer Inhaltsanalyse*

In diesem Abschnitt wird zusammengefasst, wie Mayring (2014) ein allgemeines Vorgehen bei der qualitativen Inhaltsanalyse beschreibt. Die einzelnen Schritte beruhen auf dem Step-by-Step Modell, das Mayring (2014) in seine Arbeit „Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution“ auf Seite 54 (Fig.9) einführt.

#### 1. Definition des zu analysierenden Materials

Es ist notwendig schon vor Beginn der Analyse zu entscheiden welches Material analysiert werden soll. Diese Entscheidung sollte nach Beginn der Analyse nicht mehr geändert werden. Möchte man zum Beispiel wissen, ob in den Lehrplänen deutscher Bundesländer Radioaktivität vorkommt, muss zunächst entschieden werden, welche Lehrpläne betrachtet werden. Handelt es sich um alle Lehrpläne für alle Schultypen oder möchte man nur die Lehrpläne für Gymnasien betrachten. Im Falle von Interviewmaterial muss zum Beispiel die Grundgesamtheit und das Auswahlverfahren der Stichprobe definiert werden.

#### 2. Analyse der Anfangssituation

## Kapitel 2 | Didaktische Grundlagen und methodisches Vorgehen

Als nächsten Schritt muss beschrieben werden, woher das Material kommt und wer es erhoben hat. Zum Beispiel, wenn Interviewmaterial analysiert wird, muss erfasst werden, wer die Interviews durchgeführt hat, wie die Befragten ausgesucht wurden (zum Beispiel Freiwillige) und unter welchen Umständen die Interviews durchgeführt wurden. Zur weiteren Analyse ist es zum Beispiel interessant, ob die Befragten in den eigenen vier Wänden, auf der Straße oder in einem Büroraum befragt wurden.

### 3. Formale Charakteristiken des Materials

Neben der Art wie das Material zustande kommt, ist auch interessant, in welcher Form es schlussendlich analysiert wird. Ist zum Beispiel die Audioaufnahme eines Interviews analysiert worden oder wurde das Interview für die Analyse transkribiert. Im Falle einer Transkription sollte erfasst werden, welches Verfahren verwendet wurde, handelt es sich beispielsweise um eine wörtliche Transkription oder wurden nur interessante Stellen transkribiert.

### 4. Richtung der Analyse

Die Richtung der Analyse hängt sehr mit der Fragestellung zusammen. Möchte man zum Beispiel Vorstellung von Jugendlichen zu einem bestimmten Thema erheben, so wird man den Text anders analysieren als wenn man einen Lehrplan analysiert. Im Falle von Vorstellungen möchte man herausarbeiten, wie Jugendliche zu einem gewissen Thema stehen, wie sie aufgrund ihres Wissens eine Problematik erklären oder lösen würden.

### 5. Theoretische Auseinandersetzung mit dem Problem

In der theoretischen Auseinandersetzung soll herausgefunden werden, welche Erfahrungen anderen Forscherinnen und Forscher im gleichen Feld gemacht haben. Der Fokus der Analyse muss vor Beginn der Analyse unter Berücksichtigung des momentanen Forschungsstands klar definiert werden.

### 6. Herausarbeitung der Analysetechnik und des anzuwendenden Modells

Wenn der Fokus der Analyse klar definiert ist, kann entschieden werden, welche Analysetechnik am Besten geeignet ist. Mayring (2014) unterscheidet zwischen vier verschiedenen Analysetechniken:

#### (1) Reduktion

Bei der Reduktion wird das Material auf Hauptaussagen reduziert. Dabei wird zwischen zwei Techniken unterschieden

##### i. Zusammenfassung

Bei der Zusammenfassung wird das gesamte Material in kleine Abschnitte eingeteilt, diese werden zusammengefasst und generalisiert. Abschnitte die keine neuen Erkenntnisse erbringen werden gestrichen.

### ii. Induktive Kategorienbildung

Bei der Durchsicht des Materials werden Kategorien definiert. Nach diesen Kategorien wird das Material analysiert. Im Gegensatz zur Zusammenfassung wird bei dieser Methode nicht das gesamte Material berücksichtigt.

## (2) Explikation

Während die Reduktion das Ziel verfolgt das Material zu verringern, ist bei der Explikation das Ziel, zu interpretierende Textstellen mit Zusatzmaterial zu bereichern, um sie durchsichtiger zu machen. Diese Analyse wird immer dann angewandt, wenn sich der Text allein aus bestimmten Gründen nicht interpretieren lässt. Wenn zum Beispiel die Befragten Wörter anders verwenden als es allgemeinen Sprachgebrauch üblich ist oder sich unklar bzw. unvollständig ausdrücken. In diesem Fall muss der Kontext, in dem das Material erhoben wurde, mit einbezogen werden. Es wird zwischen einem engen und einem weiten Kontext unterschieden. Enge Kontextanalyse wäre, wenn das Zusatzmaterial aus dem zu interpretierenden Material entnommen wird. Bei der breiten Kontextanalyse wird zusätzlich zum zu interpretierenden Material auch Zusatzmaterial außerhalb des Materials entnommen.

## (3) Strukturierung

Bei der Strukturierung wird im Vorhinein ein Kategoriensystem erstellt. Dieses Kategoriensystem führt zu einem Kodiermanual. Nach diesem Manual wird das gesamte Material kodiert. Es wird zwischen zwei Arten von Kategorien unterschieden.

### i. Nominale deduktive Kategorienzuordnung

Nominale Kategorien sind unabhängige Kategorien, die die Art der Strukturierung bezeichnen. Ein Beispiel für nominale Kategorien wäre eine Liste von verschiedenen Geschmacksrichtungen von Eiscreme.

### ii. Ordinale deduktive Kategorienzuordnung

Ordinale Kategorien sind auch unabhängige Kategorien, sie beschreiben aber den Grad der Strukturierung. Ein Beispiel für ordinale Kategorien wäre der Grad wie gut eine Aufgabe gelöst wurde.

## (4) Mischformen

### i. Inhaltliche Strukturierung/Themenanalyse

Möchte man gewisse inhaltliche Dimensionen oder Themen aus Materialien herausfiltern, so kann man solche Kategorien ähnlich wie bei der induktiven

Kategorienbildung direkt aus den Materialien entnehmen. Sind jedoch Themen schon im Vorneherein fixiert und das Material soll nur noch pro Thema reduziert werden, kann man eine Mischform von induktiven und deduktiven Verfahren verwenden. Das heißt zunächst werden deduktive Kategorien gebildet, wonach das Material kodiert wird. Als nächsten Schritt wird das kodierte Material extrahiert und zusammengefasst, dabei werden induktive Kategorien gebildet.

### ii. Typanalyse

Bei der Typanalyse handelt es sich um eine Methode zur Beschreibung und Klassifizierung der heterogenen Natur des zu analysierten Materials.

### iii. Parallele Formen

Es können natürlich auch alle induktiven und deduktiven Verfahren parallel angewendet werden.

Es gibt also eine Vielzahl an Analysetechniken für die qualitative Inhaltsanalyse. Mayring (2014) stellt klar, dass es sich hier nicht um einen vollständigen Katalog von Techniken handelt. Diese Auflistung ist jedoch ausreichend, da in der Arbeit nur einige dieser Techniken verwendet wurden.

## 7. Definition der Analyseeinheit

Nach der Entscheidung, welche Analysetechnik verwendet wird, muss entschieden werden, was im Material kodiert werden soll. Dabei kann es sich um einzelne Wörter, Sätze oder ganze Abschnitte handeln.

## 8. Analyse nach Kategoriensystem

Ist entschieden, was, wie und wieviel davon analysiert werden soll, kann das Material nach diesen Richtlinien analysiert werden.

## 9. Überprüfung des Analysesystems und Anwendung auf die Theorie

Ist das Material analysiert, wird überprüft, ob das System funktioniert und auf die Theorie anwendbar ist. Wird in diesem Schritt festgestellt, dass das Analysesystem überarbeitet werden muss, dann geht die Forscherin oder der Forscher zurück zu Schritt 5 (Theoretische Auseinandersetzung mit dem Problem) und setzt sich erneut mit dem Problem auseinander. Ist keine Überarbeitung des Analysesystems notwendig, kann die Forscherin oder der Forscher zur Interpretation der Ergebnisse übergehen.

## 10. Interpretation der Ergebnisse im Zusammenhang mit der Problemstellung

Die Ergebnisse werden in einen Zusammenhang mit der Problemstellung gebracht. Dabei ist es möglicherweise notwendig, wieder zurück zu Schritt 5 zu gehen, um sich erneut mit dem Problem auseinanderzusetzen. Sind die Ergebnisse interpretiert, müssen diese auf Qualität überprüft werden.

### 11. Anwendung der Qualitätskriterien

Um sicherzustellen, dass die erhobenen Daten reliabel und valide sind, ist es wichtig, dass man eine Reihe an Qualitätskriterien anwendet.

Zunächst wird die Qualitative Inhaltsanalyse im Hinblick auf **Validität** geprüft. Es wird unterschieden zwischen datenorientierter Validität, produktorientierte Validität und prozessorientierte Validität unterschieden. Die datenorientierte Validität betrachtet, wie akkurat die Kriterien zur Auswahl der Stichprobe gewählt wurde und ob die Definition, Ankerbeispiel und Kodierregel der Kategorien angemessen sind. Bei der produktorientierten Validität wird getestet, ob durch die erhobenen Daten aussagekräftige Vorhersagen und Korrelationen mit externen Faktoren gemacht werden können. Prozessorientierte Validität beschreibt, wie plausibel die Bedeutung und Anwendbarkeit der erhobenen Daten auf andere ähnliche Situationen, Theorien oder Modelle sind. Zusätzlich gibt es noch die Form der kommunikativen Validierung, dabei arbeiten Forscherinnen oder Forscher und „Beforschte“ (zum Beispiel die Interviewten) zusammen und versuchen sich zu einigen, wie die Daten zu analysieren sind.

Beim Testen nach **Reliabilität** wird nach Stabilität, Reproduzierbarkeit und Exaktheit der Daten geprüft. Stabilität wird erreicht in dem die Kodiererin oder der Kodierer nach dem Kodierprozess zumindest einen Teil des Materials noch einmal kodiert und die Ergebnisse vergleicht. Reproduzierbarkeit wird mithilfe des Intercoder Agreements getestet. Das heißt, ein oder mehrere Personen kodieren das Material oder einen Teil des Materials noch einmal. Mit dem Intercoder Koeffizient kann dann eine Angabe gemacht werden, wie einig sich die Kodierer waren.

In diese Arbeit wird die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse mehrmals verwendet. Dabei werden unterschiedliche Analysetechniken verwendet. Dieses Modell für die allgemeine Vorgehensweise dient jedoch immer als Richtlinie zur Beantwortung der in Paragraphen 1.1 erläuterten Problemstellungen.



## A. THEORETISCHER HINTERGRUND



## 3 Fachlichen Grundlagen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung

### 3.1 Einleitung

In der Wahrscheinlichkeitstheorie werden zufällige Phänomene mithilfe von mathematischen Modellen modelliert. Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall sind Themen, die in der Philosophie, damals wie heute, zu Diskussionen führen (vgl. Kapitel 4).

Wann die Menschheit begann, sich mit Wahrscheinlichkeitsrechnung auseinander zu setzen, ist unklar. Denn Glücksspiel ist schon lange ein Teil der Gesellschaft. So ist auch die erste und wohl auch die am häufigsten genannte Interpretation von Wahrscheinlichkeitsrechnung eine solche, die sich vor allem an Beispielen aus dem Glücksspiel, wie zum Beispiel beim Würfelspiel, richtet. Eine solche klassische Definition von Wahrscheinlichkeit wurde bereits im Jahre 1718 von Abraham de Moivre in *Doctrine of Chance* veröffentlicht. Im Jahre 1814 wurde diese Definition von Laplace in seinem *Philosophical Essay on Probability* noch ausgefeilter dargelegt. Laut Definition ist die Wahrscheinlichkeit einfach die Anzahl aller gewünschten Ausgänge durch die Anzahl aller möglichen Ausgänge. Obwohl diese Definition seit ihrer Veröffentlichung häufig kritisiert wurde, da sie nur unter der Annahme gilt, dass alle Ausgänge gleich verteilt sind, ist sie wohl die Definition, die in Schulbüchern am häufigsten zu finden ist.

Die Anwendung von wahrscheinlichkeitstheoretischen Rechentechniken in den Naturwissenschaften sowie auch in der Wirtschaftswissenschaftlichen oder auch den Sozialwissenschaften ist, trotz der starken philosophischen Debatte am Fundament der Wahrscheinlichkeitsrechnung, schnell gewachsen. Die in der Wissenschaft wohl am meisten anerkannte Definition von Wahrscheinlichkeit ist die axiomatische. Diese Definition folgte aus der Theorie über Mengen und Maße (Borel). Die axiomatische Definition von Kolmogorov (1950) wird im nächsten Kapitel erläutert.

Die folgende fachliche Klärung der Wahrscheinlichkeitstheorie orientiert sich sowohl inhaltlich als auch strukturell an Hell (2012).

## 3.2 Maß und Wahrscheinlichkeitsräume

Zur Modellierung von zufälligen Ereignissen und zum Erstellen der Gesetzmäßigkeiten, die diesen Ereignissen zu geschrieben werden, benötigt man eine geeignete mathematische Beschreibung. Die Grundlage dieser Beschreibung ist der von Kolmogorov (1950) eingeführte Wahrscheinlichkeitsraum. Der Wahrscheinlichkeitsraum besteht aus drei Komponenten, der Ereignismenge  $\Omega$ , dem Mengensystem  $\mathcal{F}$  und dem Wahrscheinlichkeitsmaß  $P$ . Dieser Raum ist somit ein Tripel  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ .

(1) Die Ereignismenge  $\Omega$ :

Mathematisch betrachtet ist  $\Omega$  eine Menge. In der Wahrscheinlichkeitstheorie wird ihr die Bedeutung der Ereignismenge zugesprochen, das heißt die Menge aller Elementarereignisse. Ein Element  $\omega \in \Omega$  dieser Menge wird als Elementarereignis bezeichnet.

(2) Das Mengensystem  $\mathcal{F}$

Das Mengensystem  $\mathcal{F}$  welches eine Teilmenge von  $2^\Omega$  ist, ist eine  $\sigma$ -Algebra. In der Wahrscheinlichkeitstheorie wird sie als Ereignisraum bezeichnet. Ein Element  $A \in \mathcal{F}$  dieser  $\sigma$ -Algebra wird als Ereignis bezeichnet und ist eine Teilmenge von  $\Omega$ .

(3) Das Wahrscheinlichkeitsmaß  $P$

Mathematisch gesehen ist das Wahrscheinlichkeitsmaß eine Mengenfunktion die jedem Ereignis aus  $\mathcal{F}$  seine Wahrscheinlichkeit zuordnet.

Nähere Einblicke auf die maßtheoretischen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie bieten die nachfolgenden Kapitel.

### 3.2.1 Sigma - Algebra, Maße und Wahrscheinlichkeitsräume

Um Wahrscheinlichkeitsmaße näher zu erläutern, ist eine genauere Betrachtung von  $\sigma$ -Algebren unabdingbar. Wie schon erwähnt handelt es sich bei der  $\sigma$ -Algebra  $\mathcal{F}$  um ein System aller möglichen Ereignisse. Es ist ein Mengensystem von zufälligen Ereignissen, auf denen Wahrscheinlichkeitsmaße definiert werden können. Dabei ist  $\mathcal{F}$  eine Teilmenge der Potenzmenge der Ereignismenge  $\Omega$ . Im Gegensatz zu beliebigen Mengensystemen in denen es nicht gesagt ist, dass die Vereinigung zweier Ereignisse des Mengensystems wieder im Mengensystem ist, ist eine solche Bedingung für zufällige Ereignisse jedoch sinnvoll. Daher werden Bedingungen eingeführt unter denen man ein Mengensystem  $\mathcal{F}$  eine  $\sigma$ -Algebra nennt.

#### Definition ( $\sigma$ -Algebra):

Es sei  $\Omega$  eine nichtleere beliebige Menge. Man nennt  $\mathcal{F} \subset 2^\Omega$  eine  **$\sigma$ -Algebra** auf  $\Omega$ , wenn gilt:

(1)  $\Omega \in \mathcal{F}$

(2) Komplementstabilität: Für alle  $A \in \mathcal{F}$  gilt auch  $A^c := \Omega \setminus A \in \mathcal{F}$

(3)  $\sigma$ - Vereinigungsstabilität: Es gilt für jede Folge  $(A_n)_{n \in \mathbb{N}} \subset \mathcal{F}$  auch  $\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n \in \mathcal{F}$

Es sei zu erwähnen, dass auf Grund der Komplementstabilität nicht nur gilt  $\Omega \in \mathcal{F}$  sondern auch  $\emptyset \in \mathcal{F}$ . Dabei wird  $\Omega$  als sicheres Ereignis und  $\emptyset$  als unmögliches Ereignis bezeichnet.

Wie man eine  $\sigma$ -Algebra festlegt scheint zunächst recht schwierig. Im Prinzip sucht man ein besonders einfaches System  $\mathcal{G}$  als Mengen von Ereignissen deren Wahrscheinlichkeiten leicht einzuschätzen sind. Konstruiert wird ein solches System  $\mathcal{G}$  wie folgt:

Zu einem System  $\mathcal{G} \subset 2^\Omega$  wobei  $\Omega \neq \emptyset$  gibt es genau eine kleinste  $\sigma$ -Algebra  $\mathcal{F} = \sigma(\mathcal{G})$  in  $\Omega$  mit  $\mathcal{F} \supset \mathcal{G}$ . In diesem Fall nennt man  $\mathcal{G}$  einen **Erzeuger** von  $\mathcal{F}$ .

#### Beispiel: Borel- $\sigma$ -Algebra

Ist die Ereignismenge  $\Omega = \mathbb{R}^n$  und  $\mathcal{G} = \{\prod_{i=1}^n [a_i, b_i] : a_i < b_i, a_i, b_i \in \mathbb{Q}\}$ , dann heißt  $\mathcal{B}^n := \sigma(\mathcal{G})$  die **Borel- $\sigma$ -Algebra**.

Nach Erläuterung der Sigma-Algebra kann nun dazu übergegangen werden den letzten Teil des Tripels  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  zu besprechen.  $P$  bezeichnet, wie schon erwähnt, das Wahrscheinlichkeitsmaß das jedem Ereignis eine Wahrscheinlichkeit zuordnet. Also eine Funktion  $P: \mathcal{F} \rightarrow [0,1]$ . So wäre zum Beispiel  $P(\Omega) = 1$ , denn dieses Ereignis tritt sicher ein und  $P(\emptyset) = 0$ , denn dieses Ereignis tritt nie ein.

#### Definition (Maß und Wahrscheinlichkeitsmaß):

Es sei  $\mathcal{F}$  eine  $\sigma$ -Algebra. Die Mengenfunktion  $\mu: \mathcal{F} \rightarrow [0, \infty]$  heißt Maß wenn gilt:

- (1)  $\mu(\emptyset) = 0$
- (2)  $\mu(\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n) = \sum_{n=1}^{\infty} \mu(A_n)$  für alle  $\{A_n\}_{n=1}^{\infty} \subset \mathcal{F}$  paarweise disjunkter messbarer Mengen

Das Tripel  $(\Omega, \mathcal{F}, \mu)$  nennt man **Maßraum**. Wenn  $P$  ein Maß auf  $(\Omega, \mathcal{F})$  ist und es gilt

- (3)  $P(\Omega) = 1$ ,

dann heißt  $P$  Wahrscheinlichkeitsmaß auf  $(\Omega, \mathcal{F})$  und das Tripel  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  **Wahrscheinlichkeitsraum**.

Ist die Ereignismenge  $\Omega$  endlich oder höchstens unendlich abzählbar nennt man den Wahrscheinlichkeitsraum  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  einen **diskreten Wahrscheinlichkeitsraum**. Im Gegensatz dazu nennt man den Wahrscheinlichkeitsraum  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  mit einer überabzählbaren Ereignismenge  $\Omega$  einen **kontinuierlichen Wahrscheinlichkeitsraum**.

## Kapitel 3 | Fachlichen Grundlagen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung

Diese drei oben genannten Eigenschaften werden häufig auch Kolmogorow-Axiome bezeichnet. Damit ist der Wahrscheinlichkeitsraum, und somit auch der Begriff der Wahrscheinlichkeit, vollständig definiert.

### Beispiel: Der Laplace – Raum

Ist  $\Omega$  eine endliche nicht leere Menge, dann ist  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  ein endlicher Wahrscheinlichkeitsraum. Es sei zu erwähnen, dass jeder endlicher Wahrscheinlichkeitsraum auch ein diskreter ist.

Das Maß

$$P_\Omega: \mathcal{F} = 2^\Omega \rightarrow [0,1] \text{ mit } A \mapsto \frac{|A|}{|\Omega|}$$

bezeichnet man als **Gleichverteilung** auf  $\Omega$ . Dabei bezeichnet  $|A|$  die Anzahl der Elementarereignisse im Ereignis  $A$  und  $|\Omega|$  die Anzahl der Elementarereignisse in der Ereignismenge  $\Omega$ . Den Wahrscheinlichkeitsraum  $(\Omega, 2^\Omega, P_\Omega)$  wird **Laplace-Raum** oder auch symmetrischer Wahrscheinlichkeitsraum genannt.

Auf den Laplace-Raum geht die schon eingangs erwähnte klassische Definition zurück. Sie besagt, dass die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, die Anzahl der gewünschten Ereignisse durch die Anzahl aller Ereignisse ist.

Das Maß, das ein Ereignis auf die Anzahl seiner Elementarereignisse abbildet, wird auch **Zählmaß** genannt.

## 3.3 Messbare Abbildungen und Zufallsvariablen

Bei der Betrachtung von zufälligen Phänomenen wird häufig nicht der gesamte Ereignisraum  $(\Omega, \mathcal{F})$  herangezogen. Der betrachtete Ereignisraum wird durch die gewählte Beobachtungstiefe bestimmt, häufig ist eine Betrachtung des gesamten Ereignisraums nicht notwendig. Der Übergang von  $(\Omega, \mathcal{F})$  zu  $(\Omega', \mathcal{F}')$  wird dabei durch Abbildungen beschrieben. Daher spielen bei der Beschreibung von zufälligen Phänomenen Abbildungen  $X: \Omega \rightarrow \Omega'$  eine große Rolle.

### 3.3.1 Zufallsvariablen, Verteilungen und Verteilungsfunktionen

Eine wichtige Bedingung für solche Funktionen ist wie oben schon erwähnt die Beobachtbarkeit. In der Mathematik nennt man dies auch die Messbarkeit von Abbildungen. Eine Abbildung  $X$  ist  $(\mathcal{F}, \mathcal{F}')$ -messbar wenn

$$\forall A' \in \mathcal{F}': X^{-1}(A') \in \mathcal{F}.$$

Mit anderen Worten, ist eine Menge ein Ereignis der Bildmenge, ist auch dessen Urbild ein Ereignis in der Bildmenge.

#### Definition (Zufallsvariable)

Es sei  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  ein Wahrscheinlichkeitsraum und  $(\Omega, \mathcal{F}), (\Omega', \mathcal{F}')$  Ereignisräume. Dann heißt die  $(\mathcal{F}, \mathcal{F}')$ -messbar Abbildung  $X: \Omega \rightarrow \Omega'$  heißt **Zufallsvariable**. Insbesondere heißt die  $(\mathcal{F}, \mathcal{B})$ -messbare Abbildung  $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  reelle Zufallsvariable.

Betrachtet man diskrete Wahrscheinlichkeitsräume mit  $\mathcal{F} = 2^\Omega$ , ist jede Abbildung  $X: \Omega \rightarrow \Omega'$  eine Zufallsvariable.

#### Definition (Verteilung und Verteilungsfunktion)

Ist  $X$  eine reelle Zufallsvariable vom Wahrscheinlichkeitsraum  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  in einen Ereignisraum  $(\Omega', \mathcal{F}')$ , so ist das Bildmaß von  $P$  unter  $X$  beschrieben durch

$$P'(A') := P(X^{-1}(A')) \text{ für } A' \in \mathcal{F}'$$

ein Wahrscheinlichkeitsmaß  $P'$  auf  $(\Omega', \mathcal{F}')$  und heißt **Verteilung** von  $X$ . Die Funktion

$$F_X: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]: x \mapsto P(X \leq x) = P'((-\infty, x))$$

wird als **Verteilungsfunktion** von  $X$  bzw.  $P'$  bezeichnet. Zur Vereinfachung wird im Folgenden anstatt  $P'$  für die Verteilung auf  $X$  die Abkürzung  $P_X$  verwendet.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass jede Riemann-integrierbare Funktion  $f: \mathbb{R} \rightarrow [0, \infty)$  mit  $\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt = 1$  durch eine Verteilungsfunktion gegeben ist, nämlich durch ihre Stammfunktion

$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$  mit  $x \in \mathbb{R}$ . In diesem Fall bezeichnet man  $f$  eine Wahrscheinlichkeitsdichte. Ist also  $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  eine Zufallsvariable mit  $F_X(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt, x \in \mathbb{R}$  dann ist  $f$  die Dichte von  $X$ . Es ist jedoch klar, dass nicht alle Zufallsvariablen eine Dichte besitzen.

### 3.3.2 Einige Beispiele für Verteilungen

Bevor nun einige Beispiele für Verteilungen vorgestellt werden, werden zur Vereinfachung der Schreibweise das **Dirac-Maß** und die **charakteristische  $\chi$ -Funktion** eingeführt.

Das **Dirac-Maß** wird für eine beliebige  $\sigma$ -Algebra  $\mathcal{F}$  auf  $\Omega$  durch

$$\delta_\omega(A) = \begin{cases} 1, & \omega \in A \\ 0, & \omega \notin A \end{cases}, \text{ mit } \omega \in \Omega$$

definiert.

Analog dazu ist die charakteristische  $\chi$ -Funktion definiert. Sei  $T \subset \Omega$  eine Teilmenge von  $\Omega$  dann ist die charakteristische  $\chi$ -Funktion definiert als

$$\chi_T(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega \in T \\ 0, & \omega \notin T \end{cases}, \text{ mit } \omega \in \Omega$$

#### Die Gleichverteilung:

Eine Zufallsvariable  $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  mit  $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{R}$  und  $n \in \mathbb{N}$  heißt gleichverteilt auf

$I = \{x_1, \dots, x_n\}$  wenn gilt:

$$P_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{x_i}$$

Die dazugehörige Verteilungsfunktion wäre dann:

$$F_X(t) = P_X(X \leq t) = \frac{\lfloor t \rfloor}{n} \chi_{[1,n]}(t)$$

Wobei  $\lfloor t \rfloor$  bedeutet, dass man auf die nächste natürliche Zahl abrundet.

#### Die Normalverteilung:

In der Natur vorkommende zufällige Phänomene werden häufig normalverteilt angenommen.

Das heißt für einen Wahrscheinlichkeitsraum  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  und Zufallsvariable  $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  existiert ein  $\mu \in \mathbb{R}$  und  $\sigma > 0$  mit

$$\mathcal{N}_{\mu, \sigma^2}((a, b]) = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt.$$

Dabei ist das Wahrscheinlichkeitsmaß  $\mathcal{N}_{\mu, \sigma^2}$  auf  $(\mathbb{R}, \mathcal{B}(\mathbb{R}))$  eindeutig bestimmt und heißt Normal- oder Gaußverteilung. Insbesondere ist

$$f(\cdot; \mathcal{N}_{\mu, \sigma^2}): \mathbb{R} \rightarrow (0, \infty): t \mapsto \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

eine Dichte von  $\mathcal{N}_{\mu,\sigma^2}$ , die sogenannte Gauß-Dichte. Damit ist die Verteilungsfunktion gegeben durch

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f(t; \mathcal{N}_{\mu,\sigma^2}) dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt.$$

Bei der Modellierung von naturwissenschaftlichen Phänomenen ist die Normalverteilung von großer Bedeutung. Speziell in der Berechnung des Messfehlers spielt die Normalverteilung eine große Rolle.

### Die Exponentialverteilung:

Eine Zufallsvariable  $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  mit  $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{R}$  und  $n \in \mathbb{N}$  heißt exponentialverteilt wenn  $X$  stetig ist und die Dichte von  $X$  gegeben ist durch:

$$f(y; \mu_\lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda y} & y > 0 \\ 0 & y < 0 \end{cases} \text{ mit Parameter } \lambda > 0$$

Die dazugehörige Verteilungsfunktion wäre dann:

$$F_X(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t} & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

Die Exponentialverteilung dient zur Modellierung zufälliger Wartezeiten oder auch Lebensdauern von Teilchen oder Atomkernen.

## 3.4 Erwartungswert und Varianz

Man kann also ein zufälliges Phänomen mit Hilfe von Zufallsvariable und Verteilungsfunktion modellieren. Dabei ist häufig auch interessant welchen Wert die Zufallsvariable „durchschnittlich“ annimmt. Diesen Wert nennt man auch Erwartungswert.

Es sei  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  ein Wahrscheinlichkeitsraum und  $X: \mathbb{R} \rightarrow \Omega$  eine messbare mindestens einmal auf  $P$  integrierbare Funktion dann ist Erwartungswert durch

$$E(X) = \int_{\Omega} X dP$$

Gegeben. Man nennt  $Var(X) = E(X - E(X))^2$  Varianz von  $X$ .

## 3.5 Gesetz der großen Zahlen

Das Gesetz der großen Zahlen besagt, dass für eine Folge unabhängiger identischer Zufallsvariablen  $\{X_n\}_{n=0}^{\infty}$  im Wahrscheinlichkeitsraum  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  gilt

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \xrightarrow{\text{fast sicher}} EX_1 \text{ für } n \rightarrow \infty$$

Das Gesetz der großen Zahlen besagt mit anderen Worten, dass die relative Häufigkeit der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses entspricht. Daher bildet dieses Gesetz den Übergang der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Statistik. In der Statistik werden häufig relative Häufigkeiten gemessen, aufgrund derer man dann eine empirische Verteilung angeben kann. Nach dem Gesetz der großen Zahlen konvergiert diese Verteilung gegen die in der Wahrscheinlichkeitstheorie modellierte Verteilung.

## 4 Bedeutung von Zufall

Im vorigen Kapitel wurde die Theorie der Wahrscheinlichkeitsrechnung erörtert. Sie ist eine Theorie die es uns erlaubt zufällige Ereignisse zu modellieren und damit trotz ihrer Zufälligkeit Voraussagen zu treffen. Eine Frage, die in der Philosophie fortlaufend diskutiert wird, ist, ob es Zufall wirklich gibt. Diese Diskussion ist bis heute ungeklärt. In diesem Kapitel werden einige der verschiedenen Sichtweisen zusammengefasst und im physikalischen Kontext diskutiert.

### 4.1 Zufall im Sprachgebrauch

„Zufall“ ist ein Wort, das im deutschsprachigen Raum durchaus gebräuchlich ist. Es wird verwendet um überraschende und unvorhersehbare Ereignisse zu beschreiben. Dies kann man vielleicht verstehen, wenn man sich mit Wortherkunft beschäftigt. Das Wort „Zufall“ stammt vom Verb „zufallen“ ab, das wiederum vom mittelhochdeutschen Wort „zuoval“ abstammt („Zufall“ auf Duden online). Vom Wortstamm abgeleitet, bedeutet Zufall also, das, was jemanden zu-fällt. *„Bei den Mystikern des 14. Jahrhundert wurde es im Anschluss an das lateinische *accedens, accidentia* (Akzidens, Akzidenz) für „äußerlich Hinzukommendes“ gebraucht“* („Zufall“ auf Duden online). Dabei scheint Zufall synonym für eine glückliche Fügung verwendet zu werden. Sucht man im Duden nach Synonyme für Zufall findet man:

*„Gelegenheit, Glücksfall, Glückssache, Glücksumstand, Gunst/günstige Fügung des Schicksals, günstige Umstände, Zufälligkeit; (gehoben) glücklicher/guter Stern, glückliches/günstiges Geschick; (bildungssprachlich, Fachsprache) Serendipität; (römische Mythologie) Fortuna“* („Zufall“ auf Duden online)

Es ist auffällig, dass es sich bei all diesen Synonymen um positive Ausdrücke handelt. Zufall im Sprachgebrauch scheint also etwas Positives, ein glücklicher Umstand zu sein. Eine mögliche Ausnahme bildet das aus der römischen Mythologie stammende Wort „Fortuna“, was

übersetzt so viel wie Schicksal, Zufall, Glück aber auch Unglück bedeutet. In der römischen Mythologie ist Fortuna, die Göttin des Schicksals oder des Glücks. Aus theologischer Sicht ist Zufall also etwas Schicksalhaftes, von einer höheren Macht vorherbestimmtes. Dies geht mit der Sichtweise einher, dass alles was einem geschieht ein Teil eines größeren Ganzen ist und stellt die Existenz von einem freien Willen in Frage.

### 4.2 Zufall aus epistemologischer Sicht

Aus epistemologischen Sicht ist Zufall eine Grenze des Wissens, Zufall ist also ein Produkt des unvollständigen Wissens der Menschheit (Heuer 2013). Es handelt sich dabei zum Beispiel um den Wurf einer Münze oder um das überraschende Treffen einer Freundin auf der Straße. Das Zufällige ist etwas das man nicht vorhersehen kann, dazu zählt auch das Überraschende. Es handelt sich jedoch nur um einen scheinbaren Zufall und könnte, wenn wir alle Voraussetzungen kennen würden vorhersagbar sein. Man kann dabei unterscheiden zwischen prognostizierbare Ereignisse und nicht prognostizierbare Ereignisse. Beim Beispiel mit dem Münzwurf handelt es sich um ein prognostizierbares Ereignis. Das Ergebnis beim Münzwurf überrascht uns nicht, es ist entweder „Kopf“ oder „Zahl“. Heuer (2013) bezeichnet diese Ereignisse als möglich. Es gibt zwei mögliche Ergebnisse von denen eines eintreffen wird. Ereignisse, wie das Treffen einer Freundin bezeichnet Heuer als zufällig, es handelt sich um ein nicht prognostizierbares Ereignis - es wäre überraschend. Es gibt keine klaren Alternativen von denen eine nun eintreten wird.

Beide Beispiele haben eines gemeinsam, es handelt sich bei ihnen zwar Erkenntnistheoretisch um einen Zufall jedoch nicht um einen wirklichen Zufall. Denn könnten wir, wenn wir genau wissen würde, aus welcher Lage, mit welcher Geschwindigkeit etc. die Münze geworfen wurde, auch voraussagen auf welcher Seite sie landet. Mit anderen Worten: Ist die Anfangsbedingung eines Problems bekannt, kann man den Ausgang vorhersagen.

### 4.3 Zufall und Physik

Der Diskussion des vorigen Paragraphen zufolge, scheint tatsächlich so zu sein, dass Zufall ein Produkt der unvollständigen Kenntnis des Problems ist. Aus heutiger Sicht der Wissenschaft sind jedoch Ereignisse bekannt die trotz vollständiger Kenntnis der Anfangsbedingungen zufällig sind. Solche Ereignisse sind zum Beispiel die Umwandlung eines instabilen Atomkerns oder der Ort an dem ein Elektron gemessen wird. Dies hat ihren Ursprung in dem Modell der Quantenmechanik. Wie Müller und Schecker (2018) beschreiben, wurde lange vermutet, dass sich die Zufälligkeit bei quantenmechanischen Phänomenen auf die Unkenntnis der Voraussetzungen zurückzuführen lässt. Im Sinne der epistemologischen Sicht von Zufall wurden auch in der Quantenmechanik nach „verborgenen Parametern“ gesucht. Die Klarheit, dass es

sich tatsächlich um einen absoluten Zufall handelt wurde erst relativ spät mit dem Bell'schen Theorem geschaffen. Im Bell'schen Theorem wird festgehalten, dass sich verborgene Parameter nicht nur lokal (im direkter räumlicher Umgebung) sondern auch in der „Fernwirkung“ zeigen müssen. Da eine solche „Fernwirkung“ bei quantenmechanischen Phänomenen nicht gefunden werden kann, kann es also keine „verborgenen Parameter“ geben. Es handelt sich also um echten Zufall. Diese Standardinterpretation der Quantenmechanik geht historisch auf die „Kopenhagener Deutung“ von Niels Bohr und Werner Heisenberg zurück. Es gibt auch alternative Deutungen der Quantenmechanik wie zum Beispiel, die Bohm'sche Mechanik. Diesen Formulierungen stehen jedoch die viele Physikerinnen und Physiker skeptisch gegenüber (Müller und Schecker 2018).

Die Standardinterpretation der Quantenphysik, ist selbst ein Modell basierend auf Wahrscheinlichkeitstheorie. Für viele Themen der Physik ist Wahrscheinlichkeitstheorie von Bedeutung. Dabei gibt es solche, wie die Quantenphysik, die selbst ein Modell der Wahrscheinlichkeitstheorie sind, andere Themen bedienen sich der Werkzeuge aus der Wahrscheinlichkeitstheorie, wie zum Beispiel bei empirischen Messungen. Es ist noch nicht geklärt, welche für Themen der Physik die Wahrscheinlichkeitstheorie relevant ist. Diese Frage wird, mit der Methode der Delphi-Studie, im Kapitel 7 geklärt. Die Berücksichtigung quantenphysikalischer Aspekte sind bei Betrachtung eines Problems auf subatomaren unabdingbar. In diesem Sinne werden als nächstes die fachlichen Grundlagen zur Radioaktivität zusammengefasst.

## 5 Fachliche Grundlagen zur Radioaktivität

Die folgenden Paragraphen zu den fachlichen Grundlagen zur Radioaktivität orientiert sich inhaltlich und strukturell an Slama (2018), Bethge et al. (2008) und Kuhn (2001).

### 5.1 Stabile und instabile Atomkerne

Ein Atom ist zusammengesetzt aus Protonen, Neutronen und Elektronen. Die Protonen und Neutronen werden auch Nukleonen genannt und bilden den Atomkern. Protonen und Neutronen sind keine Elementarteilchen, sondern Teilchensysteme. Ein Proton ist aus zwei up-Quarks und einem down-Quark zusammengesetzt, während das Neutron aus einem up-Quark und zwei down-Quarks zusammengesetzt ist. Diese Quarks, die das Neutron oder das Proton bilden, werden über die starke Wechselwirkung zusammengehalten. Durch den ähnlichen Aufbau der Neutronen und Protonen können sie mittels schwacher Wechselwirkung ineinander umwandelt werden. Diese Umwandlung nennt man Beta-Umwandlung und wird im Paragraphen 5.2 beschrieben.

Die starke Wechselwirkung ist auch verantwortlich dafür, dass der Atomkern zusammengehalten wird. Ihr entgegen wirkt die Abstoßung der Protonen durch die Coulomb-Kraft. Herrscht in einem Kern ein Energieüberschuss, ist er instabil. Dabei bestimmt das Verhältnis der Protonen und Neutronen in einem Atomkern, ob ein Kern stabil oder instabil ist. Alle Kerne die im Vergleich zur Protonenzahl zu viele oder zu wenige Neutronen besitzen, sind instabil (Slama 2018). Instabile Atomkerne wandeln sich durch Abgabe von ionisierender Strahlung um. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um eine Umwandlung eines Teilchens (Beta-Umwandlung) oder es wird die Bindungsenergie vermindert (Gamma-Umwandlung). Aber in allen Fällen handelt es sich um eine Umwandlung des Atomkerns in einen energetisch günstigeren Zustand. Alle diese Vorgänge werden mit dem Begriff „radioaktiver Zerfall“ zusammengefasst und instabile Atomkerne werden häufig auch als radioaktiv bezeichnet. Man unterscheidet zwischen verschiedenen Arten von Umwandlungen, die Beta-, Alpha- und Gamma-Umwandlung werden in den folgenden Paragraphen erörtert.

### 5.2 Die Beta-Umwandlung

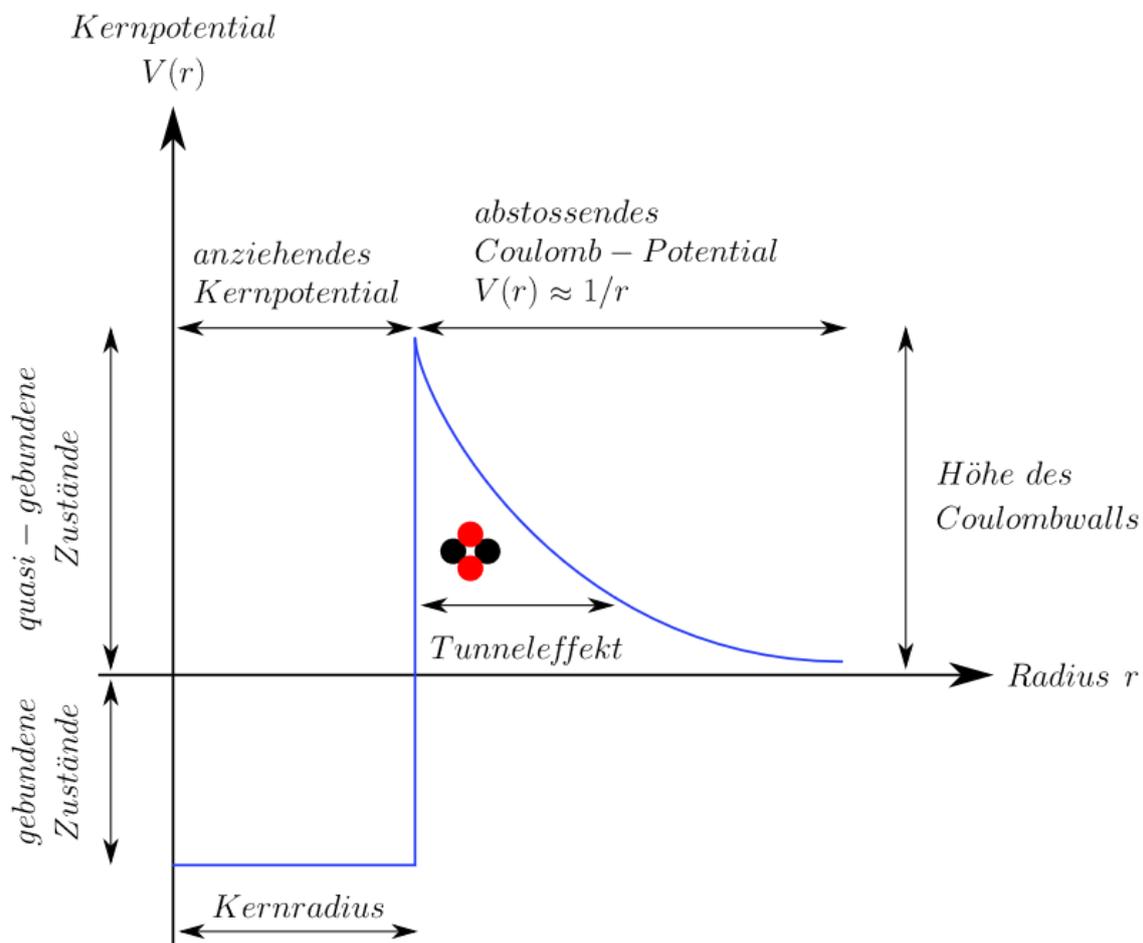
Bei der Beta-Umwandlung unterscheidet man zwischen zwei Umwandlungsarten. Einerseits der Umwandlung eines Neutrons in ein Proton, andererseits die Umwandlung eines Protons in ein Neutron. Im Folgenden wird die Umwandlung eines Neutrons in ein Proton betrachtet, die Umwandlung von einem Proton in ein Neutron ist analog.

Wie bereits erwähnt sind Protonen und Neutronen keine Elementarteilchen, sie sind Teilchensysteme die aus drei Quarks zusammengesetzt sind. Das Neutron ist zusammengesetzt aus zwei down-Quarks und einem up-Quark (udd) und das Proton ist zusammengesetzt aus einem down-Quark und zwei up-Quark (duu). Wenn sich also ein Neutron in ein Proton umwandelt, muss sich ein down-Quark in ein up-Quark umwandeln. Die Umwandlung dieser Quarks findet mittels schwacher Wechselwirkung statt, dabei wird ein Elektron und ein Antineutrino emittiert. Da Elektronen und Neutrinos, wie alle Leptonen, nicht der starken Wechselwirkung unterliegen, sind sie nicht im Atomkern gebunden. Das emittierte Elektron wird häufig als Beta-Strahlung bezeichnet.

### 5.3 Die Alpha-Umwandlung

Die Umwandlung, in der instabile Atomkerne ein Alphateilchen emittiert, nennt man Alpha-Zerfall. Ein Alphateilchen ist ein Teilchensystem, das aus zwei Neutronen und zwei Protonen zusammengesetzt ist (Heliumkern). Durch die Aussendung des Alphateilchens reduziert sich der Mutterkern um zwei Neutronen und zwei Protonen. In diesem Fall wandeln sich keine Teilchen im Atomkern um. Bei dieser Art von Umwandlung verlassen Alphateilchen den gebundenen Zustand des Atomkerns. Daher könnte man die Alpha-Umwandlung tatsächlich als

Zerfall beschreiben. Um den gebundenen Zustand zu verlassen muss das Alphateilchen den sogenannte Coulomb-Wall überwinden (siehe Abbildung 5-1).



**Abbildung 5-1:** Darstellung des Coulombwalls (Von Johannes Schneider - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61182444>)

Mit dem Coulombwall beschreibt man die Potentialverhältnisse im Atomkern. Den Vorgang bei dem das Alphateilchen den gebundenen Zustand verlässt, kann man nur quantenmechanisch beschreiben und wird als Tunneleffekt bezeichnet. Beim Tunneleffekt berechnet man sich die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Alphateilchens und kann so eine Tunnelwahrscheinlichkeit berechnen. Diese Tunnelwahrscheinlichkeit ist proportional zur Zerfallswahrscheinlichkeit und abhängig von der Breite der Barriere, der Bindungsenergie und der Masse des tunnelnden Teilchens. Die Tunnelwahrscheinlichkeit für eine veränderliche Barrierebreite, wie beim Coulombwall, beschreiben Bethge et al. (2008) auf Seite 232 in Gleichung (7.32) wie folgt:

$$T \cong e^{-\frac{2}{\hbar} \int_a^b \sqrt{2m(V(x)-E)} dx}$$

Die getunnelten Alphateilchen werden auch als Alpha-Strahlung bezeichnet.

## 5.4 Die Gamma-Umwandlung

Bei den meisten Umwandlungen bei denen Teilchen emittiert werden, wie Alphateilchen oder Elektronen, erreicht der Tochterkern nicht seinen Grundzustand, sondern einen energetisch angeregten Zustand. Diese überschüssige Energie kann durch Emission eines Photons abgegeben werden. Die so emittierten Photonen werden Gamma-Strahlung genannt.

Alle Arten von Umwandlung sind spontan und es ist nicht vorhersagbar, wann ein Atomkern in einen energetisch günstigeren Zustand übergehen. Die Umwandlung instabiler Atomkerne ist ein statistischer Vorgang, das heißt über den Zerfallszeitpunkt eines einzelnen Atomkerns lassen sich lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen treffen (Kuhn, 2001). Der Zerfall eines Ensembles instabiler Atomkerne gehorcht einer Gesetzmäßigkeit, diese kommt durch das Gesetz der großen Zahlen zustande. Dieses Gesetz wird Zerfallsgesetz genannt und wird im nächsten Paragraphen erläutert.

## 5.5 Der radioaktive Zerfall eines instabilen Atomkerns

In der Wissenschaft wird das Zerfallsgesetz häufig mit der Proportionalität zwischen der Zerfallsrate und der Anzahl instabiler Atomkerne im Ensemble zu diesem Zeitpunkt hergeleitet. Die Zerfallsrate  $\frac{dN}{dt}$  ist die zeitliche Änderung der Anzahl der instabilen Atomkerne eines Ensembles, sie gibt also an wie viele instabile Atomkerne sich in einer bestimmten Zeitspanne umwandeln. Die Proportionalitätskonstante wird dabei mit  $\lambda$  bezeichnet und häufig auch Zerfallskonstante genannt. Es ergibt sich also der Zusammenhang:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Formt man diese Gleichung um und integriert sie erhält man:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$\int_{N(0)}^{N(t)} \frac{dN}{N} = - \int_0^t \lambda dt$$

$$\ln(N(t)) - \ln(N(0)) = -\lambda t$$

Wendet man darauf die Logarithmus- und Exponentialregeln an, erhält man:

$$\ln\left(\frac{N(t)}{N(0)}\right) = -\lambda t$$

$$\frac{N(t)}{N(0)} = e^{-\lambda t}$$

Und schließlich das Zerfallsgesetz:

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t}$$

Das Zerfallsgesetz gibt also den zeitlichen Verlauf für die Anzahl der instabilen Atomkerne eines Elements in einem Ensemble an. Dabei beinhaltet dieses Gesetz den statistischen Charakter dieser Umwandlung. Das heißt es kann mit diesem Gesetz nicht vorhergesagt werden welcher Kern sich als nächstes umwandelt, sondern nur wie viele Kerne sich in einer Zeitspanne umwandeln werden.

### 5.6 Die Halbwertszeit

Bei der Halbwertszeit handelt es sich um die Zeit, in der sich die Hälfte aller instabilen Atome in einem Ensemble umgewandelt haben. Das heißt, die Halbwertszeit kann wie folgt berechnet werden:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

In dieser Darstellung ist  $T$  die Halbwertszeit. Es ergibt sich also

$$\frac{-\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\lambda} = T$$

Und mit  $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$  und  $\ln(1) = 0$  ergibt sich

$$T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

Die Halbwertszeit ist nicht zu verwechseln mit der mittleren Lebensdauer  $\tau$ , welche durch  $\tau = \frac{1}{\lambda}$  gegeben ist. Aus wahrscheinlichkeitstheoretischer Sicht handelt es sich bei dem Zerfallsgesetz um eine Exponentialverteilung auf  $(\mathbb{R}, \mathcal{B}(\mathbb{R}))$  (vgl. Paragraph 3.3.2). Das Zerfallsgesetz sowie auch die Halbwertszeit ist daher nur sinnvoll für eine große Anzahl von Atomkernen.

### 5.7 Modellierung des radioaktiven Zerfalls instabiler Atomkerne

Die im vorigen Abschnitt abgebildete Herleitung des Zerfallsgesetzes gibt keinerlei Angaben zum Schicksal eines einzelnen instabilen Atomkerns. Dass die Zerfallskonstante  $\lambda$  eine Angabe zur Wahrscheinlichkeit für den Zerfall eines instabilen Atomkerns ist, wird zwar in manchen Büchern erwähnt, die Zusammenhänge zwischen der Wahrscheinlichkeit für eine Umwandlung eines instabilen Atomkerns und dem Zerfallsgesetz wird in dieser Herleitung jedoch nicht klar.

Ein Experiment, das zur Veranschaulichung des Zerfallsgesetzes und der Zufälligkeit des radioaktiven Zerfalls verwendet wird, ist das Folgende:

Man wirft eine große Anzahl an Würfeln und sortiert diejenigen aus, die auf einer bestimmten Zahl liegen. Die Anzahl der liegengebliebenen Würfeln notiert man sich. Dieses Experiment wiederholt man mit den liegengebliebenen Würfeln solange bis alle Würfeln aussortiert wurden.

In diesem Experiment repräsentieren die Würfeln, instabile Atomkerne und das Werfen der Würfeln, die vergehende Zeit. Murray und Hart (2012) zeigen, dass die Halbwertszeit, die mit einem solchen diskreten Experiment ermittelt, nicht ganz der Halbwertszeit entspricht die man bei einem radioaktiven Zerfall erhalten würde. Die Unterschiede kann man sich leicht aus der Wahrscheinlichkeitstheorie herleiten.

Es sei  $p$  die Wahrscheinlichkeit, dass der Würfel auf einer Zahl landet, die nicht die Aussortierte ist. Somit ist  $(1 - p)$  die Wahrscheinlichkeit, dass der Würfel auf der Zahl die aussortiert wird landet. Am Anfang werden  $n$  Würfeln geworfen. Nach  $x$  Würfeln sind noch  $n(1 - p)^x$  Würfeln da. Es wird nun angenommen die Würfeln können unendlich oft geworfen werden. Dann gilt für  $x \rightarrow \infty$  wenn  $xp$  konstant ist, das heißt wenn  $p$  kleiner wird, während  $x$  größer wird:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} n \left( 1 + \frac{(-xp)}{x} \right)^x = ne^{-xp}$$

Um  $xp$  konstant zu halten müssten  $p$  kleiner werden während  $x$  größer wird. Dies ist für das Werfen von Würfeln jedoch nicht möglich, denn die Wahrscheinlichkeit  $p$  ist pro Wurf ein Sechstel und wird nicht kleiner je öfter geworfen wird.

Diese Problematik entsteht, weil das Würfelbeispiel in einem diskreten Wahrscheinlichkeitsraum modelliert wird. Die Intervalle die durch die Erzeugende der Borel- $\sigma$ -Algebra gegeben werden können nicht kleiner als ein Wurf gewählt werden. Das heißt, die Wahrscheinlichkeit pro Wurf hat somit einen fixen Wert. Was damit gemeint ist, wird am Beispiel der Umwandlung instabiler Atomkerne klarer.

Die Umwandlung instabiler Atomkerne lässt sich in einem kontinuierlichen Wahrscheinlichkeitsraum modellieren. Die  $\sigma$  Algebra ist durch eine Borel- $\sigma$ -Algebra gegeben, die Zeitintervalle können dabei beliebig klein gewählt werden. Daher kann auch die Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall, je nachdem wie klein man das Zeitintervall wählt, kleiner werden.

Es wird hier eine abgeänderte Form der Herleitung für instabile Atomkerne präsentiert.

Es sei  $\frac{p}{t}$  die Wahrscheinlichkeit das sich ein instabiler Atomkern in einem gewählten Zeitintervall  $t$  umwandelt. Es gilt für eine große Anzahl identischer instabiler Atomkerne, dass die Um-

## Kapitel 5 | Fachliche Grundlagen zur Radioaktivität

wandlungswahrscheinlichkeit pro Zeitintervall  $\frac{p}{\tilde{t}}$  dem Prozentsatz an umgewandelten Atomkerne nach dem ersten Zeitintervall in dem Ensemble entspricht. Mit anderen Worten: Die Gegenwahrscheinlichkeit  $\left(1 - \frac{p}{\tilde{t}}\right)$  entspricht dem Anteil des Ensembles, der noch nicht umgewandelt ist. Es gilt also für die Anzahl der instabilen Atomkerne nach dem ersten Zeitintervall  $\left(1 - \frac{p}{\tilde{t}}\right) N(0) = N(1)$ , für die Anzahl der instabilen Atomkerne nach dem zweiten Zeitintervall gilt  $\left(1 - \frac{p}{\tilde{t}}\right)^2 N(0) = N(2)$  und allgemein gilt:

$$\left(1 - \frac{p}{\tilde{t}}\right)^t N(0) = N(t)$$

Daraus ergibt sich

$$\left(1 - \frac{tp}{t\tilde{t}}\right)^t = \frac{N(t)}{N(0)}$$

Anders als beim Würfelbeispiel kann nun das Zeitintervall  $t$  so angepasst werden, dass für  $t \rightarrow \infty$ ,  $\frac{tp}{t\tilde{t}}$  konstant bleibt. Das heißt das Intervall  $\tilde{t}$  wird kleiner wenn  $t$  groß wird. Die so entstandene Umwandlungswahrscheinlichkeit wird als  $\lambda$  bezeichnet. Es ergibt sich mit  $\lim_{t \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{(-tp)}{t\tilde{t}}\right)^t = e^{-t\frac{p}{\tilde{t}}}$  und  $\frac{p}{\tilde{t}} = \lambda$

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t}$$

Die Umwandlungskonstante  $\lambda$  gibt also eine Umwandlungswahrscheinlichkeit pro Zeitintervall an. Diese Wahrscheinlichkeit ist pro Zeitintervall für jeden instabilen Atomkern desselben Elements gleich. Für jeden instabilen Atomkern unabhängig von einem Element gilt, dass die Umwandlungswahrscheinlichkeit pro Halbwertszeit  $\frac{1}{2}$  beträgt. Es handelt sich dabei um eine Exponentialverteilung (vgl. Paragraph 3.3.2)

## 6 Generelle Aspekte zu Schülervorstellungen

Im folgenden Kapitel werden generelle Aspekte zu Schülervorstellungen erörtert und Schülervorstellungen zu speziellen Themen besprochen. Dieses Kapitel orientiert sich hauptsächlich an dem Buch von Schecker et al. (2018).

### 6.1 Schülervorstellungen in der Physik

Wie im Paragraphen 2.1.1 besprochen, spielt beim Entwickeln einer Lehr-Lern-Einheit die Schülerperspektive eine wichtige Rolle. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn diese Schülerperspektiven lernhinderlich sind. Dabei kann man zwischen sachbedingten, lehrbedingten und innenbedingten Lernhindernissen unterscheiden. Schülervorstellungen können, wenn sie nicht den im Fachkreis üblichen Denkweisen eines Themas entsprechen, lernhinderlich sein. Sie zählen zu den innenbedingten Lernhindernissen. Denn solche aus Sicht der Wissenschaft unangemessene Denkweisen können dazu führen, dass Jugendliche den Inhalt des Unterrichts anders verarbeiten als beabsichtigt (Schecker und Duit 2018).

In den Anfängen der Schülervorstellungsforschung wurde zunächst der Begriff „Fehlvorstellung“ etabliert. Mit diesem Begriff geht zusätzlich eine Wertung der Vorstellung einher. Man geht dabei davon aus, dass die Vorstellung der Jugendlichen nicht mit den gängigen Vorstellungen der Wissenschaft übereinstimmt, und impliziert, dass es sich bei den Vorstellungen um falsche Vorstellungen, also um fehlerhafte Vorstellungen handelt. Von dieser Sichtweise wich man jedoch bald ab, denn, wenn man Jugendliche befragt, was ein Begriff für sie selbst bedeutet, erscheint es unangebracht, eine Vorstellung als falsch zu betiteln. Es kann also eine Vorstellung an sich nicht falsch sein, lediglich die Anwendung der Vorstellung auf gewisse Sachverhalte.

Ein neutralerer Begriff, der sich in der Literatur etabliert hat, ist der Begriff der „Alltagsvorstellung“. Beim Begriff der Alltagsvorstellung geht man davon aus, dass diese Vorstellung aus dem alltäglichen Leben stammt. Die Vorstellung hat sich möglicherweise im Alltag der Jugendlichen bewährt, auch wenn sie vielleicht nicht den wissenschaftlichen Vorstellungen entspricht. Quellen für solche Alltagsvorstellungen können Medien oder auch Sprache sein. Der Begriff „Zufall“ zum Beispiel bedeutet im allgemeinen Sprachgebrauch etwas Anderes als im wissenschaftlichen Gebrauch. Jedoch stammen nicht alle Vorstellungen aus dem Alltag, manche von ihnen stammen aus dem Unterricht.

Ein weiterer Begriff, der in der Literatur zu finden ist, ist der Begriff „Präkonzept“. Als „Präkonzepte“ bezeichnet man kognitive Voraussetzungen um gewisse Sachverhalte zu erlernen. Ler-

nende benötigen ein gewisses Vorverständnis, auf das beim nächsten Lernschritt zurückgegriffen werden kann. Dieses Vorverständnis kann zunächst auch aus dem Alltag stammen, muss sich aber nach dem Unterricht nicht unbedingt ändern (Schecker und Duit 2018).

Schecker und Duit (2018) bezeichnen Schülervorstellung als „Als-ob-Vorstellungen“. Denn fragt man einen Lernenden, was er oder sie von einem bestimmten Sachverhalt hält, wird die Antwort selten einer Schülervorstellung entsprechen. In den meisten Fällen ist es so, dass Forscherinnen und Forscher in der Schülervorstellungsforschung ein Kategoriensystem zur Analyse von Schüleraussagen erstellen. Dieses Kategoriensystem entspricht dann einem System von Schülervorstellungen. Die Aussagen der Lernenden werden dann Kategorien oder eben Schülervorstellungen zugeordnet. Man kann also sagen, dass die Lernenden so geantwortet haben, als ob sie die ihnen zugewiesene Vorstellung hätten. Für diese Arbeit wurde entschieden, den im deutschsprachigen Raum üblichen Begriff „Schülervorstellungen“ im Sinne der „Als-ob-Vorstellungen“ als Oberbegriff zu verwenden.

Auch, wenn sich die Begriffe in der Konnotation unterscheiden, stimmen sie in einem Aspekt überein. Sie beschreiben, dass Jugendliche nicht als unbeschriebenes Blatt in den Unterricht kommen, sondern schon eigene Vorstellungen mitbringen. Lernen ist ein aktiver Prozess, bei dem Jugendliche das Informationsangebot auf Grundlagen dessen, was sie schon wissen, erarbeiten. Daher gilt es bei der Entwicklung einer Lehr-Lern-Einheit zunächst herauszufinden, welche Vorstellungen Jugendliche zu dem erarbeiteten Sachverhalt mitbringen. Im Folgenden Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit sowie zur Atom-, Kern- und (Elementar-)Teilchenphysik zusammengefasst.

### 6.2 Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit

In verschiedenen fachdidaktischen Forschungsbereichen der Naturwissenschaften, vor allem in der Mathematik und Psychologie, bekam die Lehr-Lernforschung zu Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall in den letzten 50 Jahren einen Aufwind. Batanero et al. (2016) fassen die bisherige Forschung zum Lehren und Lernen von Wahrscheinlichkeitsrechnung umfassend in ihrem Buch „Research on Teaching and Learning Probability“ zusammen. In diesem Abschnitt werden für diese Arbeit relevante Aspekte zusammengefasst.

In unsere Gesellschaft werden Entscheidungen häufig aufgrund von Statistiken und Daten getroffen. Risikoabschätzungen spielen nicht nur in der Wirtschaft, sondern auch in unserem täglichen Leben eine Rolle. So ist vielleicht der Umzug in eine andere Stadt davon abhängig, wie hoch die Kriminalitätsrate in der neuen Stadt ist, wie das durchschnittliche Einkommen von Arbeitnehmenden in dieser Stadt ist oder auch wie die Schule in der Nähe des neuen Wohnsitzes bewertet wird. Forschende im Bereich der Mathematikdidaktik sind sich einig,

dass für eine reife Person, die fähig ist, Entscheidungen aufgrund von Statistik zu treffen, ein grundsätzliches Verständnis von zufälligen Phänomenen unablässig ist (Batanero et al. 2016). Es sind daher Verständnisprobleme zu Zufall und Wahrscheinlichkeit zu überwinden, um die Entscheidungsfähigkeit aufgrund von Wahrscheinlichkeiten zu entwickeln.

Im Gegensatz zu anderen Bereichen der Mathematik sind im Bereich der Wahrscheinlichkeitstheorie kontraintuitive und paradoxe Ergebnisse sehr häufig (Borovcnick 2011, Batanero 2013). Dieser kontraintuitive und paradoxe Aspekt der Wahrscheinlichkeitstheorie impliziert eine Reihe von Lernschwierigkeiten beim Erlernen von Wahrscheinlichkeitsrechnung (Borovcnik und Kapadia 2014). Ein Beispiel für ein solches kontraintuitives Ereignis findet man beim Roulette spielen. Es ist nicht intuitiv, dass nach einer Reihe von schwarzen Zahlen die Wahrscheinlichkeit, eine weitere schwarze Zahl zu drehen, unverändert ist. In der Tat würden sogar erfahrene Statistiker gegen ihr Fachwissen, dass die Ereignisse voneinander unabhängig sind, intuitiv auf eine rote Zahl nach einer Reihe schwarzer Zahlen setzen (Pollatsek et al. 1984, Büchter et al. 2005). Diese Vorstellungen, wie sie zum Beispiel beim Roulette spielen zu finden ist, nennt man auch Gambler's Fallacy.

Batanero et al. (2014) beschreiben probabilistisches Denken als „Denken in Szenarien, die die Untersuchung und Bewertung verschiedener möglicher Ergebnisse in Situationen der Ungewissheit ermöglichen.“ Um Wahrscheinlichkeitstheorie-Konstrukte auf Probleme der realen Welt anzuwenden, ist Modellierung unerlässlich (Chaput et al. 2011). Wahrscheinlichkeitsverteilungen wie Gleich- und Normalverteilungen sind wichtige Werkzeuge zur Lösung wahrscheinlichkeitstheoretischer Probleme (Batanero et al. 2016). In zahlreichen Studien, einschließlich Lecoutre und Durand (1988), wurde festgestellt, dass Jugendliche unabhängig vom zugrundeliegenden Problem eine Tendenz zur Gleichverteilung aufweisen. Dies wird auch Gleichverteilungsbias genannt (Lecoutre et al. 1990, Büchter et al. 2005). Eine solche Tendenz könnte daher stammen, dass typischerweise gleichverteilte Zufallsexperimente, wie zum Beispiel der Würfel oder die Münze, zur Einführung von Wahrscheinlichkeitsrechnung verwendet werden.

Ein weiterer Aspekt, der problematisch für das Verständnis von Wahrscheinlichkeit und Zufall sein könnte, ist, dass das Wort „zufällig“ im alltäglichen Leben häufig eine andere Bedeutung hat, als die im Fachkreis übliche. Über den sprachlichen Gebrauchs des Wortes „Zufall“ wurde bereits im Paragraphen 4.1 diskutiert. Schülerinnen und Schüler haben daher eine Vorstellung davon, was das Wort „Zufall“ bedeutet. Sie definieren es häufig als das Regellose oder das Unbeabsichtigte (Stavrou et al. 2003, Döhrmann 2005, Kaplan et al. 2010).

Eine solche Definition ist jedoch problematisch, wenn man Statistiken erstellen möchte. Ist nämlich Zufall regellos bzw. willkürlich, so können zufällige Ereignisse auch keiner Regelmä-

## Kapitel 6|Generelle Aspekte zu Schülervorstellungen

ßigkeit folgen. Beim Aufstellen von Statistiken nutzt man jedoch die Tatsache aus, dass zufällige Ereignisse, wenn sie häufig wiederholt werden, eine Verteilung aufweisen, die immer gleich ist. Dieses Gesetz wird das Gesetz der großen Zahlen genannt und ist das Fundament einer Wahrscheinlichkeitsverteilung (vgl. Paragraph 3.5).

Die Vorstellung, dass Zufall keiner Gesetzmäßigkeit folgt, kann dazu führen, dass Jugendliche nicht daran glauben, dass es Zufall in der Naturwissenschaft gibt. Jugendliche lernen, dass es Naturgesetze gibt, nach denen sich die Natur richtet, und dass basierend auf ihnen Vorhersagen getroffen werden können. Somit folgt Naturwissenschaft den Naturgesetzen und es wird davon ausgegangen, dass es in der „realen“ Welt keine Zufälligkeit gibt (Bühler B. und Erb R. 2010). Tatsächlich glauben viele Jugendliche, dass zufällige Ereignisse nur zufällig sind, weil wir nicht über das Wissen verfügen, um den Prozess vollständig zu verstehen (Stavrou et al. 2003, Döhrmann 2005, Stavrou und Duit 2014). Es scheint, dass nicht nur Jugendliche, sondern auch viele Erwachsene glauben, dass zufällige Ereignisse nicht wirklich existieren. Diese Idee ist auch mit einer noch immer aktuellen Diskussion in der Philosophie verbunden (Heuer 2013, Schurz 2015). Diese Diskussion wurde bereits im Kapitel 4 besprochen.

Es sei hier jedoch darauf hingewiesen, dass es das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler über Zufälligkeit und Wahrscheinlichkeit im wissenschaftlichen Kontext aufzuzeigen und die Herausforderungen zu diskutieren, die sich aus diesen Ideen ergeben. Die Vorstellung, dass es Zufall nicht gibt, könnte beim Erlernen von teilchenphysikalischen Prozessen hinderlich sein.

Hinweise, dass eine solche Ansicht über Zufall im physikalischen Kontext lernhinderlich sein könnte, zeigen Studien zu Schülervorstellungen in der Quantenmechanik. In diesen Studien wird gezeigt, dass Jugendliche Probleme haben zu verstehen, dass über den Ort des Elektrons nur Wahrscheinlichkeiten angegeben werden können. Typische Schüleraussagen wären zum Beispiel die folgenden:

*„In Wirklichkeit hat das Elektron einen bestimmten Ort, man kennt ihn nur nicht“ (Müller und Schecker 2018: S.213)*

oder

*„Und es ist jetzt halt schwer anzugeben, wo sich jetzt das Elektron befindet, und der Ausweg ist eben der, dass man dann auch Wahrscheinlichkeiten angeben kann: also das Elektron befindet sich mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eben an einem gewissen Ort“ (Müller und Schecker 2018: S.214)*

Solche Aussagen weisen darauf hin, dass Jugendliche die Vorstellung, dass Zufall nicht existiert, auch im naturwissenschaftlichen Kontext äußern. In der Forschung zu Vorstellungen in der Quantenmechanik findet sich auch ein Hinweis dafür, dass Jugendliche möglicherweise die Existenz von Zufall in einem rein mathematischen Kontext akzeptieren, aber in einem naturwissenschaftlichen Kontext nicht. Dies zeigt die folgende Aussage:

*„Also man kann eigentlich nicht unbedingt sagen, dass man ... es überhaupt nicht vorhersehen kann, es ist nicht total zufällig, was das Elektron macht. Aber es ist auch nicht direkt vorhersagbar. So zwischen, also in der klassischen Mechanik kann man ja genau sagen, was eine Masse, also Massepunkt im nächsten Moment macht. Und in der Statistik kann man es überhaupt nicht mehr sagen, nur mir Wahrscheinlichkeit und dazwischen liegt irgendwo die Quantenmechanik.“ (Müller und Schecker 2018: S.214-215)*

Ob Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit abhängig vom Kontext sind, ist noch nicht geklärt und wird in der vorliegenden Arbeit im Paragraphen 8.3.2 untersucht.

Zusammenfassend lassen sich aus der Literatur vier relevante Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit finden.

1. Prozesse erscheinen nur deshalb zufällig, weil Menschen zu wenig Wissen oder zu wenig physische Fähigkeiten besitzen, den Prozess vollständig zu verstehen oder zu kontrollieren (Stavrou et al. 2003, Döhrmann 2005).
2. Zufall und Gesetzmäßigkeit lassen sich nicht miteinander vereinbaren (Stavrou et al. 2003, Büchter et al. 2005).
3. Für Schülerinnen und Schüler ist Zufall auf natürliche Weise gleichverteilt (Lecoutre 1992, Büchter et al. 2005).
4. Für Schülerinnen und Schüler sind zufällige Ereignisse, die kürzlich eingetreten sind, unwahrscheinlicher und jene, die länger nicht eingetreten, wahrscheinlicher (Gambler's Fallacy) (Büchter et al. 2005).

Obwohl Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall in der Physik gerade in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen haben, gibt es kaum Literatur, in der dokumentierte Vorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung im Zusammenhang mit dem Verständnis der Physik behandelt werden. Es gibt ein paar Studien zur nicht-linearen Dynamik und der Quantenphysik, die sich mit so einen Zusammenhang beschäftigen (zum Beispiel: (Müller und Wiesner

1998, Stavrou und Duit 2014). Auch in anderen Bereich der Naturwissenschaften wurden kürzlich Studien veröffentlicht, zum Beispiel zur Evolutionstheorie (Fiedler et al. 2019).

In den folgenden Paragraphen werden Schülervorstellungen zu einigen Themen der Physik zusammengefasst. Es handelt sich um Themen die aus fachlicher Sicht mit Wahrscheinlichkeitstheorie verwandt sind.

Ein, im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeit, verwandtes Thema der Physik ist der Messprozess. Denn Messung in der Physik und die Routinen zur Analyse dieser Messungen basieren auf statistischen Methoden, welche wiederum auf Wahrscheinlichkeitstheorie basieren (vgl. Paragraph 6.2.1). In diesem Sinne können die Schülervorstellungen zu Messungen als Teil der Schülervorstellungen zur Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie verstanden werden. Weniger offensichtlich ist es, dass auch in der Atom-, Kern- und (Elementar-) Teilchenphysik Zufall und Wahrscheinlichkeit eine große Rolle spielen (vgl. Paragraph 6.2.2). In den nächsten Paragraphen werden zunächst einige Schülervorstellungen zum Messprozess und danach Schülervorstellungen zur Atom-, Kern- und (Elementar-) Teilchenphysik zusammengefasst und im Hinblick ihres Zusammenhangs mit den Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit diskutiert.

### 6.2.1 Schülervorstellungen zum Messprozess

Die fachdidaktische Forschung zu Schülervorstellungen zum Messprozess hat in den letzten Jahrzehnten zugenommen. Insbesondere die Gruppe an der Universität von Kapstadt widmete ihre Arbeit dem Bereich der Vorstellungen zur Fehlerrechnung und der Natur von Daten (Allie et al. 1998, Buffler et al. 2001, Volkwyn et al. 2008).

Messungen spielen in der Physik aufgrund ihrer empirischen Natur eine wichtige Rolle. Lehrende gehen häufig davon aus, dass die Lernenden die Grundzüge des Messprozesses und der Datenanalyse während der Laborarbeit automatisch verstehen. Die physikdidaktische Forschung zeigt jedoch, dass dies größtenteils nicht der Fall ist. Studierende und Jugendliche haben trotz Laborerfahrung unzählige Schwierigkeiten, den Messprozess zu verstehen und Daten zu analysieren. Jugendliche mit Vorkenntnissen scheinen die Berechnungsroutinen angemessen anwenden zu können, die Konzepte sind ihnen jedoch unklar (Séré et al. 1993, Coelho und Séré 1998, Buffler et al. 2001).

Viele Studien, die sich mit Schülervorstellungen zum Messprozess beschäftigen, zeigen, dass für Jugendliche keine mehrfachen Messungen erforderlich sind (Séré et al. 1993, Allie et al. 1998, Heinicke 2012). Für Jugendliche ist eine mehrfache Messung nur dann notwendig, wenn sie vom Lehrenden dazu aufgefordert werden, oder wenn die erste Messung offensichtlich fehlerhaft ist. Scheint die erste Messung in Ordnung zu sein, sehen die Lernenden keine Notwendigkeit eine weitere Messung durchzuführen, da sie davon überzeugt sind, dass die

Ergebnisse identisch sein werden (Cauzinille-Marmeche 1985, Coelho und Séré 1998). Es ist dokumentiert, dass Lernende im Allgemeinen Messungen durchführen, ohne sich der mit der Messung verbundenen Unsicherheit bewusst zu sein (Lubben und Millar 1996, Deardorff 2001).

Wenn Jugendliche erkennen, dass die Messergebnisse von Messung zu Messung unterschiedlich sind, schreiben sie dies einem „Fehler“ zu. Wenn die Lernenden dann gebeten werden, solche potenziellen Fehlerquellen zu identifizieren, denken sie in der Regel über Fehler nach, die sie möglicherweise selbst gemacht haben (Goedhart und Verdonk 1991). Daher wird angenommen, dass Abweichungen in den Daten auf solche persönlichen Fehler zurückzuführen sind (Rollnick et al. 2001, Pillay et al. 2008, Heinicke 2012). In diesem Zusammenhang denken Lernende zudem, dass mit ausreichend präzisen Werkzeugen eine Messung ohne Unsicherheit erhalten werden kann (Deardorff 2001, Heinicke 2012). Coelho und Séré (1998) fanden, dass Jugendliche der Ansicht sind, es würde sich um eine genauere Messung handeln, wenn der gemessene Abstand mit der Markierung auf dem Lineal übereinstimmt. Andererseits wurde darin ebenfalls von anderen Jugendlichen beschrieben, dass der wahre Wert bei einer Messung erhalten werden kann, wenn diese ausreichend genau ist.

Lernende mit einer solchen Sichtweise wiederholen möglicherweise Messungen, geben jedoch nur ein Ergebnis an oder verwenden nur einen Datenpunkt, um eine Schlussfolgerung zu ziehen (Millar 1994, Millar et al. 1994). Untersuchungen haben gezeigt, dass die Schüler selbst dann, wenn sie einen Datensatz vorlegen und nach dem Wert fragen, der als Endergebnis gemeldet werden soll, mit einem einzigen Wert antworten (im Gegensatz zur Angabe eines Bereichs) (Buffler et al. 2001, Volkwyn et al. 2008).

Sie geben zum Beispiel nur das letzte Ergebnis an, da diese Messung nach am meisten „Übung“ erfolgte. Oder sie geben das Ergebnis an, bei dem es sich um einen wiederholten Wert handelt, da dies höchstwahrscheinlich der „wahre Wert“ ist (Séré et al. 1993, Allie et al. 1998, Pillay et al. 2008)

Andere Lernende wählten trotz mehrfachen Messungen die erste Messung aus, aus dem Grund, dass bei der ersten Messung die Experimentiervorrichtung noch nicht benutzt und somit „sauber“ war (Lubben und Millar 1996). Wenn die Lernenden dann gefragt werden, warum sie sich überhaupt die Mühe gemacht haben, mehrere Messungen zu machen, ist ihre wahrscheinlichste Antwort, dass sie wissen, dass mehrere Messungen zu einem besseren Ergebnis führen, aber sie sich nicht sicher sind, was genau besser ist (Séré et al. 1993, Lubben und Millar 1996).

Ein Grund für eine mehrfache Messung ist, dass man daraus das arithmetische Mittel berechnen kann. Dies ist vorteilhaft, da der Mittelwert im Allgemeinen für das zu messende Objekt

## Kapitel 6 | Generelle Aspekte zu Schülervorstellungen

am repräsentativsten ist. Fachdidaktische Forschung hat gezeigt, dass es Lernende gibt, die verstehen, dass es wichtig ist, ein arithmetisches Mittel zu berechnen, die aber nicht verstehen, warum. Einige Lernende sagen zum Beispiel, dass ein Experiment mit verschiedenen Parametern wiederholt werden sollte, bevor ein Mittelwert gebildet wird. Lubben und Millar (1996) schreiben, dass dies wohl darauf zurückzuführen ist, dass die Jugendlichen die gelehrte Routine, die Messung zu wiederholen, mit der Vorstellung, dass die Wiederholung der selben Messung dasselbe Ergebnis bringen wird, vereinbaren wollen.

Präsentiert man Lernenden Daten und bittet sie, den Mittelwert zu bilden, wählen einige den Wert, der mehrmals im Datensatz erscheint. Andere Lernende berechnen den Mittelwert, wählen aber dann den Datenpunkt als Ergebnis, der dem Mittelwert am nächsten kommt (Buffler et al. 2001). Die Lernenden scheinen stark an der Vorstellung festzuhalten, dass der „wahre“ Wert ein einzelner Wert der verschiedenen Messergebnisse ist (Ibrahim et al. 2009).

Für einige Jugendliche ist es abhängig vom Kontext, ob sie mehrere Messungen durchführen und den Mittelwert bilden oder nicht. Beim Messen von Entfernungen würden Lernende möglicherweise nicht daran denken, eine Messung zu wiederholen, jedoch würden sie dies möglicherweise für eine Zeitmessung tun (Allie et al. 1998, Heinicke 2012). Sie würden beispielsweise argumentieren, dass es bei der Zeit mit einer Stoppuhr schwieriger ist, genau zu messen, und mehr Messungen würden diesen durch Menschen verursachten Fehler im Durchschnitt beseitigen (Allie et al. 1998). Die Entscheidung dieser Jugendlichen spiegelt wieder, dass ihrer Meinung nach Messungen nur dort zu wiederholen seien, wo „menschliches Versagen“ wahrscheinlich ist. In ihren Augen sollte prinzipiell eine einzelne Messung (unter der Annahme, dass alles gut geht) den „wahren“ Wert ergeben.

Dies hat zur Folge, dass, wenn Lernende, die nach einem Konfidenzintervall gefragt werden, nur die Genauigkeit des Messgeräts angeben. Einige Lernende werden daher dasselbe „Konfidenzintervall“ für jeden Versuch angeben (Séré et al. 1993). Wenn zwei Datensätze mit identischen Mitteln, aber unterschiedlicher Streuung angegeben werden und gefragt wird, welcher Datensatz besser ist, antworten viele Lernende, dass sie gleich gut seien, weil die Mittelwerte gleich sind. Einige Studierende finden auch, dass eine große Streuung auf eine bessere Messung hindeutet. Dies stimmt mit der oben diskutierten Idee überein, dass verschiedene Parameter verwendet werden sollten, bevor der Mittelwert gebildet wird. Auch die Vorstellung, dass beide Datensätze gleichermaßen nicht vertrauenswürdig seien, weil immer ein anderes Ergebnis erhalten wird, wurde ebenfalls dokumentiert (Lubben und Millar 1996).

Bei der Darstellung der beiden Datensätze berichten viele Schülerinnen und Schüler korrekt, dass der Datensatz mit der kleineren Streuung besser sei, obwohl sie kein konzeptionelles Verständnis zu haben scheinen. Denn viele dieser Lernenden antworten nicht auf diese

Weise, wenn der Mittelwert der beiden Datensätze unterschiedlich ist. Stattdessen ignorieren die Lernenden in diesem Fall die Streuung der Daten und drücken die Abhängigkeit von einem „wahren Wert“ oder der Unsicherheit einzelner Messungen aus (Lubben und Millar 1996). Auf die Frage, ob zwei Datensätze mit unterschiedlichen Mittelwerten, aber überlappender Streuung miteinander übereinstimmen oder nicht, ignorieren viele dieser Lernenden die Datenstreuung und verwenden lediglich die Mittelwerte (Cauzinille-Marmeche 1985, Séré et al. 1993, Lubben und Millar 1996, Allie et al. 1998) oder einzelne Datenpunkte (Buffler et al. 2001, Volkwyn et al. 2008, Heinicke 2012). Dies deutet darauf hin, dass die richtige Antwort auf die ursprüngliche Frage mit identischen Mitteln aus einem anderen Grund als einem tiefen konzeptuellen Verständnis der Verbreitung zustande gekommen sein könnte. Lernende, die Datenstreuung in Betracht ziehen, um zu entscheiden, ob zwei Datensätze miteinander übereinstimmen oder nicht, werden häufig sagen, dass die Daten übereinstimmen, wenn die Größe der Streuung gleich ist, unabhängig davon, ob es Überlappungen gibt oder nicht (Coelho und Séré 1998). Obwohl wir nicht genau vorhersagen können, welchen Wert eine Messung liefern wird, können wir aufgrund der Streuung der erhaltenen Werte sicher sein, dass die nächste Messung irgendwo innerhalb dieser Streuung liegen wird. In diesem Sinne können wir das Ausmaß der der Messung inhärenten Zufälligkeit vorhersagen. Es erscheint plausibel, dass Schülerinnen und Schüler (auch diejenigen, die in bestimmten Situationen die richtige Entscheidung bezüglich der Ausbreitung treffen) mit diesem Konzept zu kämpfen haben.

Ein Thema in der höheren Statistik ist der Umgang mit Ausreißern. Wenn Studenten nicht explizit nach Ausreißern gefragt werden, scheinen sie viele in Datensätzen überhaupt nicht zu bemerken (Séré et al. 1993, Lubben und Millar 1996). Auf die Frage, was mit einem anomalen Datenpunkt geschehen soll, antworten Lernende häufig, dass alle Messwerte verwendet werden müssen. Nach Meinung der Lernenden bilden anomale Datenpunkte einen Teil der Datenverteilung und müssen daher mit einbezogen werden. Datenpunkte können lediglich dann ausgeschlossen werden, wenn der Person, die das Experiment gemacht hat, wahrscheinlich ein Fehler unterlaufen ist (Allie et al. 1998).

### *6.2.1.1 Diskussion und Limitation*

In letzten Abschnitt wurde ein großer Teil der Literatur diskutiert, die sich mit Schülervorstellungen zum Messen und Auswerten beschäftigt.

Bei Betrachtung der Vorstellungen der Lernenden ist auffällig, dass viele Lernende beim Messprozess Zufall kategorisch ausschließen. Insbesondere die Vorstellung, dass eine mehrfache Messung nur dann notwendig ist, wenn die durchführende Person einen Fehler gemacht hat, scheint eng mit der Vorstellung verbunden zu sein, dass Zufall nur ein Produkt von Un-

wissenheit oder Limitation der menschlichen Fähigkeiten ist. Auch die Tatsache, dass Lernende das Konfidenzintervall nur aufgrund der Genauigkeit des Messgerätes wählen, scheint damit zusammenzuhängen, dass Zufall von den Lernenden nicht akzeptiert wird. Es wird davon ausgegangen, dass, wenn die Messung mit perfekten Geräten gemacht wird, die erste Messung den „wahren“ Wert ergibt.

Es werden nicht alle Vorstellungen aufgezählt, sondern nur hinreichend viele, um einen allgemeinen Überblick des Forschungsstands zu geben. Daher wurden nur diejenigen Vorstellungen zusammengefasst, welche in Zusammenhang mit den Vorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit als relevant angesehen werden. Dies hat zur Folge, dass Vorstellungen zur höheren Statistik, wie zum Beispiel der linearen Regression oder zur Identifizierung abhängiger und unabhängiger Zufallsvariablen, in dieser Zusammenfassung nicht berücksichtigt wurden.

### 6.2.2 Schülervorstellungen zur Atom-, Kern- und (Elementar-) Teilchenphysik

Im vorigen Paragraphen wurden Vorstellungen zum Messprozess zusammengefasst. Es ist nicht verwunderlich, dass die Vorstellungen zum Messprozess im Zusammenhang mit jenen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit stehen. Die Vorstellungen scheinen insbesondere mit der Vorstellung zusammenzuhängen, dass es keinen Zufall gibt. Es erscheint nun interessant, ob man auch bei Schülervorstellungen zu anderen Themen der Physik einen solchen Zusammenhang mit Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit vermuten kann.

Stavrou, Komorek und Duit (2003, 2005) untersuchten Schülervorstellungen zu nichtlinearen Systemen und haben die Diskrepanz zwischen Zufälligkeit und Regelmäßigkeit gezeigt. Sie haben erkannt, dass die Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit ein Grund für das mangelnde Verständnis in der nichtlinearen Dynamik sind. Die Studien von Stavrou, Komorek und Duit (2003, 2005, 2014) bestärken die Annahme, dass ein solcher Zusammenhang auch in anderen Bereich der Physik bestehen könnte. Einen weiteren Hinweis für einen solchen Zusammenhängen zeigen Studien zu Schülervorstellungen in der Quantenmechanik. Solche Studien haben gezeigt, dass grundlegende Verständnisprobleme in der Quantenmechanik aus der wahrscheinlichkeitstheoretischen Natur dieser Themen resultieren (Wiesner 1996, Müller und Wiesner 1998).

In diesem Paragraphen werden Schülervorstellungen zur Atom-, Kern- und (Elementar-) Teilchenphysik diskutiert.

Das Thema Teilchenphysik spielt in dieser Arbeit eine große Rolle. Denn die große Rolle der Wahrscheinlichkeitsrechnung in diesem Themenbereich ist die Motivation dieser Arbeit. Im Paragraphen 4.3 wird aus fachlicher Sicht besprochen, dass gerade in der Teilchenphysik Wahrscheinlichkeitstheorie einen großen Stellenwert besitzt. Trotz dieser wichtigen Rolle, die

Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Teilchenphysik einnimmt, gibt es bisher keine Literatur darüber, welche Auswirkungen die Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall auf das Verständnis von teilchenphysikalischen Problemen haben. Jedoch gibt es Forschung zu Schülervorstellungen in der Teilchenphysik, welche im Folgenden zusammengefasst werden.

In der Teilchenphysik ist es grundsätzlich schwer, sich etwas vorzustellen. Beim Versuch, Elementarteilchen darzustellen, stößt man schon bald an Grenzen (Wiener et al. 2015). In vielen Fällen werden sie als punktförmige farbige Gebilde oder auch als Fantasietiere mit Augen und Mund dargestellt (z.B. Particle Zoo<sup>1</sup>). Eine solche Darstellung verstärkt wahrscheinlich die bekannte Vorstellung, dass Teilchen alltägliche Eigenschaften besitzen, wie zum Beispiel Form und Farbe (Duit 1995). Irreführende Unterrichtsmethoden verstärken solche Vorstellungen, wonach Teilchen makroskopische Eigenschaften besitzen (Wiener et al. 2017, Fischler und Schecker 2018). Fischler und Schecker (2018) fassen weiter zusammen, dass einige Jugendliche beispielsweise auch glauben, subatomare Teilchen würden Eigenschaften von sichtbaren Objekten besitzen, sowie die in diesem Zusammenhang stehende Vorstellung aufzeigen, dass sich Elementarteilchen bei Temperaturanstieg ausdehnen und sich dadurch das makroskopische Objekt ausdehnt. Ein Grund für diese Vorstellung könnte der übliche Weg zur Einführung der Natur von Materie sein, wonach in das makroskopische Objekt immer weiter hineingezoomt und somit das Objekt in immer feinere Fragmente unterteilt wird (Fischler und Schecker 2018).

Neben der Zuweisung makroskopischer Eigenschaften verwenden Jugendliche zur Beschreibung alltäglicher Phänomene häufig ein kontinuierliches Modell der Materie und nicht das Teilchenmodell (Wiener et al. 2017). Wird das Teilchenmodell jedoch als Erklärung angeboten, akzeptieren und verwenden die meisten Jugendlichen es auch. Wiener et al. (2017) fanden auch heraus, dass einige Lernende nach Einführung des Teilchenmodells dazu neigen, es zu ihrem vorherigen kontinuierlichen Modell hinzuzufügen. Demnach finden es Jugendliche schwer zu glauben, dass zwischen den Teilchen nichts zu finden ist. Der Begriff des leeren Raums wird von ihnen nicht akzeptiert. Lernende glauben eher, dass "Luft" zwischen den Partikeln jedes festen oder gasförmigen Materials liegt, sogar zwischen den Luftmolekülen selbst oder "Wasser" zwischen den H<sub>2</sub>O-Molekülen (Duit 1995). Irreführende Formulierungen verstärken auch diese Vorstellungen (z. B. „Moleküle sind im Wasser“ oder „Quarks sind im Proton“)(Fischler und Schecker 2018). Stattdessen sollte der Wortlaut „besteht aus“ verwendet werden, wenn über die Zusammensetzung der Materie gesprochen (Fischler und Schecker 2018).

---

<sup>1</sup> <https://www.particlezoo.net/>

## Kapitel 6|Generelle Aspekte zu Schülervorstellungen

Darüber hinaus ist die Bewegung vom alltäglichen Konzept der Ruhe zum Konzept der konstanten Bewegung von Partikeln für die Lernenden eine Herausforderung (Duit 1995). Sie glauben eher, dass sich die Teilchen nach einer Weile wie makroskopische Objekte nicht mehr bewegen (Fischler und Schecker 2018).

Die Lernenden möchten wissen, wie sich Materie in der Realität zusammensetzt, und geben sich mit dem Modellaspekt der Teilchenphysik nicht zufrieden (Fischler und Schecker 2018). Diese Haltung stellt ein Lernhindernis dar, da nur durch Modelle der Realität über Teilchen- und Quantenphysik gesprochen werden kann (Müller und Schecker 2018).

Müller und Schecker (2018) fassen unter anderem die folgenden Vorstellungen zu Atom- und Quantenphysik zusammen:

Das Planetenmodell ist die häufigste Vorstellung über die Struktur von Atomen. In diesem Modell sind Elektronen immer lokalisierbar und bewegen sich entlang kreisförmiger Bahnen um den Kern herum zwischen denen sie durch Emittieren oder Absorbieren von Energie in Form eines Photons „springen“ können. Die Lernenden vernachlässigen, dass Elektronen auf kreisförmigen Wegen beschleunigt werden und ständig Energie abgeben. Neben dem Planetenmodell gibt es andere übliche Vorstellungen zur Struktur im Atom. Gemäß dem Wolkenmodell besteht das Atom aus einem Kern und einer statischen Elektronenwolke, d. h. das Elektron wird als "verschmiertes Objekt" betrachtet. Einige Schüler glauben, dass das Atom aus dicken durchgehenden oder dünnen Außenhüllen besteht, in denen man nicht sagen kann, wo sich das Elektron befindet. Das Orbitalmodell beschreibt, wo die Elektronen ungefähr lokalisierbar sind. Oft verwenden Lernende gleichzeitig verschiedene Modelle.

Ein Thema, das in den meisten deutschen gymnasialen Lehrplänen der Sekundarstufe 1 eingebunden ist, ist die Radioaktivität (vgl. Kapitel 9). Jedoch insbesondere zu diesem teilchenphysikalischen Prozess, dem radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns, gibt es nur sehr wenig Forschung zu Schülervorstellungen. Im nächsten Abschnitt werden die Schülervorstellungen zur Radioaktivität zusammengefasst.

### 6.2.3 Schülervorstellungen zur Radioaktivität

Im Kapitel 5 wurde Radioaktivität aus fachlicher Sicht besprochen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verstehen als Radioaktivität den Umwandlungsprozess eines instabilen Atomkerns, dabei wird Energie in Form von Strahlung frei.

Von Jugendlichen wird dieser Umwandlungsprozess, bei der Strahlung emittiert wird, häufig mit der Strahlung selbst verwechselt (Millar et al. 1990, Millar et al. 1994, Henriksen und Jorde 2001). Diese Verwechslung erzeugt eine Reihe von Vorstellungen.

In diesem Kapitel werden Schülervorstellungen zum Zerfall eines instabilen Atomkerns sowie auch zur dabei freigesetzten Strahlung zusammengefasst.

### 6.2.3.1 Schülervorstellungen zu ionisierender Strahlung

In der Lebensmittelindustrie wird die Bestrahlung von Lebensmitteln dazu verwendet, um dieses zu reinigen und länger haltbar zu machen. Der Einsatz von ionisierender Strahlung in der Lebensmittelindustrie ist nur wenigen Jugendlichen bewusst (Boyes und Stanisstreet 1994). In einer Studie von Eijkelhof (1986) wurden Jugendliche zur Bestrahlung von Lebensmitteln befragt und es wurde herausgefunden, dass viele Jugendliche denken, dass Lebensmittel, die bestrahlt werden, selbst radioaktiv werden. Diese Vorstellung ist nicht auf Lebensmittel reduziert. Es scheint eine weitverbreitete Vorstellung zu sein, dass Objekte, die bestrahlt werden, irgendwann selbst Strahlung emittieren (Riesch und Westphal 1975, Kaczmarek et al. 1987, Eijkelhof et al. 1990). Millar et al. (1990) führen diese Vorstellung darauf zurück, dass Jugendliche dem radioaktiven Material oder der radioaktiven Strahlung eine Art Erhaltungsgesetz auferlegen. Das heißt, das bestrahlte Objekt verhält sich wie ein Schwamm, der Strahlung in sich aufnimmt und sie irgendwann wieder freilässt (Millar et al. 1990). Jugendliche scheinen also nicht nur Probleme aufzuweisen, Strahlung und Radioaktivität auseinanderzuhalten, sondern sie verwechseln auch Bestrahlung und Kontamination (Millar und Gill 1996). Sie vermischen Begriffe wie „radioaktives Material enthalten“, „radioaktive Strahlung enthalten“ und „radioaktiv sein“ (Millar 1994).

Ein Grund für diese Verwechslung könnte sein, dass Jugendliche Strahlung als eine Art Transport von radioaktivem Material verstehen (Neumann und Hopf 2012). Dafür könnte die weit verbreitete Kurzform „radioaktive Strahlung“ verantwortlich sein, die man häufig verwendet um die emittierte Strahlung bei einer Umwandlung eines instabilen Atomkerns zu beschreiben. Dies ist irreführend, da die Strahlung selbst nicht radioaktiv ist. Viele Jugendliche denken, dass Strahlung aus radioaktiven Teilchen oder radioaktivem Material besteht (Prather und Harrington 2001, Neumann und Hopf 2012). Jugendliche mit dieser Vorstellung würden dann, wie schon diskutiert, argumentieren, dass bei der Bestrahlung eines Objekts die radioaktiven Teilchen oder der radioaktive Stoff am Objekt kleben bleiben und irgendwann wieder abgegeben werden.

Wie dieser Transport stattfindet, wird von Jugendlichen unterschiedlich beschrieben. Eijkelhof et al. (1990) fanden heraus, dass Jugendliche sich die Ausbreitung von Strahlung wie eine Wolke oder wie einen Strom bzw. Fluss aus Objekten vorstellen. Nach Vorstellung der Jugendlichen bleibt noch Strahlung zurück auch ohne Quelle. Darüber hinaus kann, nach Auffassung der Jugendlichen, diese Strahlung mit „Gegen-“ Strahlung gestoppt werden. Außerdem denken Jugendliche, dass Strahlung Luft also ein Medium benötigt, damit die Strahlung

von A nach B transportiert werden kann. Demnach kann aus Sicht der Jugendlichen Strahlung mittels Vakuum gestoppt werden.

Darüber hinaus fanden Neumann und Hopf (2013), dass Jugendliche Gamma-Strahlung als Wellen und andere Strahlung als gerade Linien beschreiben.

Colclough (2007) untersuchte Vorstellungen von zukünftigen Lehrpersonen und fand einige Vorstellungen zur Wechselwirkung von ionisierender Strahlung. Lehrpersonen scheinen ionisierender Strahlung Eigenschaften von sichtbarem Licht zu geben. Dabei beschreiben die Lehrpersonen, dass ionisierende Strahlung reflektiert und gebrochen wird.

Jugendliche und Lehrpersonen haben nicht nur zur ionisierenden Strahlung viele Vorstellungen, sondern auch zum Umwandlungsprozess eines instabilen Atomkerns. Diese Vorstellungen werden im nächsten Paragraphen zusammengefasst.

### *6.2.3.2 Schülervorstellungen zum Zerfall eines instabilen Atomkerns*

Wie bereits zuvor diskutiert, machen viele Jugendliche keinen Unterschied zwischen Strahlung und Radioaktivität.

In vielen Studien haben Jugendliche geäußert, dass der Atomkern während dem radioaktiven Zerfall in seine Einzelteile zerfällt. In einer Studie von Prather (2005) beschreiben Jugendliche, dass beim radioaktiven Zerfall ein Atom Teile von sich verliert oder dieser kleiner wird bis er sich auflöst. Jugendliche glauben auch, dass der Zerfall eines instabilen Atomkerns ein kontinuierlicher Prozess ist. Demnach gibt ein instabiler Atomkern Strahlung ab, bis nichts mehr von ihm da ist (Klaassen et al. 1990). Die Studie von Colclough (2007) mit angehenden Lehrpersonen deckt eine ähnliche Vorstellung auf. Diese Lehrpersonen sagen, dass beim Beta-Zerfall das Atom in zwei Teile geteilt wird.

Passend zu dieser Vorstellung wird auch die Halbwertszeit beschrieben. Prather (2001) fand folgende Vorstellungen zur Halbwertszeit:

Jugendliche beschreiben die Halbwertszeit als ...

- ... die Zeit, in der die Hälfte der Masse oder des Volumens der radioaktiven Substanz verloren gegangen ist.
- ... den Zeitpunkt, wenn ein Kern die Hälfte seiner Strahlung verloren hat.
- ... die Zeit, in der die Hälfte der radioaktiven Atome verschwinden.
- ... die Zeit, in der die Anzahl der Atome auf die Hälfte sinkt.

Die ersten zwei Vorstellungen zur Halbwertszeit scheinen im Zusammenhang mit der Vorstellung zu stehen, dass Strahlung als Substanz an Objekten klebt. Die letzten zwei Vorstellungen hingegen scheinen im Zusammenhang mit der Vorstellung zu stehen, dass ein Atomkern hierbei in seine Einzelteile zerfällt.

### 6.2.3.3 Diskussion

Spricht man mit Jugendlichen über Radioaktivität äußern sie häufig, dass es sich dabei um etwas Gefährliches handelt (Prather 2001).

Für Jugendliche ist Radioaktivität etwas Künstliches, dass vom Menschen gemacht ist. Kosmische Strahlung und natürliche Quellen werden von Jugendlichen vernachlässigt. Sie denken, dass ionisierende Strahlung immer gefährlich ist. Lediglich wenn es nützlich ist, wie in der Medizin (z.B. Röntgenstrahlung), wird Strahlung als weniger gefährlich angesehen.

Viele weitere Studien beschäftigen sich mit der Haltung der Befragten gegenüber Radioaktivität und Strahlung. Die normative Ansicht ist, dass es als zufällig zu behandeln ist, ob ein hochenergetisches Teilchen mit DNA wechselwirkt oder nicht. Und es wird ferner als zufällig angesehen, ob dieses einzelne „Ionisationsereignis“ zu Krebs führt oder nicht. Wenn jedoch viele dieser isolierten Ereignisse eintreten, können wir das Ergebnis vorhersagen. Bekommt der Körper zu viel ionisierende Strahlung ab, führt dies zum Tod. Ein solches Bild mit zwei Ebenen, in dem Zufälligkeit auf mikroskopischer Ebene vorherrscht, ist für die Jugendlichen höchstwahrscheinlich schwierig zu verarbeiten. Es ist einfacher, die ionisierende Strahlung und damit auch das radioaktive Material, als „schlecht“ oder „gefährlich“ zu kennzeichnen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Jugendliche mit einem Verständnis der mikroskopischen Prozesse bei der Umwandlung eines Atomkerns oder der Wechselwirkung der ionisierenden Strahlung weniger lernhinderliche Vorstellungen entwickeln würden. Um diese mikroskopischen Prozesse zu verstehen, muss zunächst Zufall und Wahrscheinlichkeit verstanden werden.



## B. STUDIE ZU WAHRSCHEINLICH- KEITSTHEORIE IN DER PHYSIK



## 7 Erhebung wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen in der Physik

### 7.1 Motivation

Wie im Paragraphen 4.3 erläutert, ist die Frage, welche Themengebiete der Physik mit Wahrscheinlichkeitstheorie zusammenhängen, noch nicht geklärt. Um diese Frage zu klären, wurde eine Delphi-Studie durchgeführt. In dieser Studie konnten Physikerinnen und Physiker entscheiden welche Themen in einer Literaturübersicht zu physikalischen Themen mit Zusammenhang zur Wahrscheinlichkeitsrechnung inkludiert werden sollen.

### 7.2 Allgemeines über Delphi-Studien

Seit den 1950-Jahren wurden Delphi-Befragungen in unterschiedlicher Weise definiert und angewendet. Eine zusammenfassende Aussage zu treffen was eine Delphi Befragung ist, gestaltet sich daher als äußerst schwierig. Häder (2009) fasst zwei grundsätzliche Richtungen der in der Literatur auftauchenden Definitionen zusammen. Einerseits die Delphi-Studie als Verfahren zur Steuerung von Gruppenkommunikation, andererseits als Verfahren zur Erforschung eines bestimmten Sachverhalts. Er erörtert, dass sich die Methode der Delphi Befragung über die Jahre entwickelt hat. Während in frühen Jahren der gruppendynamische Prozess im Mittelpunkt stand, wird in späteren Jahren der Problemlösecharakter der Delphi-Befragung betont (Häder 2009).

In den meisten Fällen gehen die Autoren der Studien von einem klassischen Design der Delphi-Studie aus und modifizieren dieses Design für ihre Zwecke (Häder 2009). Ein solch klassisches Design umfasst laut Häder (2009) die folgenden Schritte:

”

1. *Operationalisierung der allgemeinen Frage- beziehungsweise Problemstellung mit dem Ziel, konkrete Kriterien abzuleiten, die den Experten im Rahmen einer quantifizierenden Befragung für eine Beurteilung vorgelegt werden können. Dieser erste Schritt kann sowohl von dem die Delphi-Befragung veranstaltenden Forscherteam (dieses wird oft auch als Monitoring-Team bezeichnet) selbst, als auch mithilfe einer offenen, qualitativen Befragung von (externen) Experten bewältigt werden.*

....

2. *Ausarbeitung eines standardisierten Frageprogramms. Dieses dient dazu, Experten anonym nach ihren Meinungen zu den interessierenden Sachverhalten zu befragen.*

....

3. *Aufbereitung der Befragungsergebnisse durch das die Befragung veranstaltende Forscherteam und anonymisierte Rückmeldung der Ergebnisse an die beteiligten Befragten.*

.....

4. *Wiederholung der Befragung auf der Grundlage der von den Experten über diese Rückinformation gewonnenen (neuen) Erkenntnisse bis zum Erreichen eines vorher festgelegten Abbruchkriteriums.“ (Häder, 2009, Seite 24 und 25)*

Eine solche klassische Delphi-Studie besitzt somit folgende Merkmale (Häder 2009):

- 1) Es werden Experten befragt.
- 2) Die Einzelantworten sind anonym.
- 3) Es wird der eine statistische Gruppenantwort ermittelt.
- 4) Über diese statistische Gruppenantwort werden alle Teilnehmenden informiert.
- 5) Die Befragung wird (mehrfach) nach diesem Vorgehen wiederholt.

Diese Vorgehensweise bildet die Basis einer Vielzahl von Varianten der Delphi-Studie. Eine weitere Einteilung der unterschiedlichen Herangehensweisen an die Delphi-Studie gelang Häder (2009). Er analysierte das Vorgehen in zahlreichen Delphi-Studien und konnte vier grundsätzliche Typen identifizieren:

- 1) Delphi-Befragungen zur Ideenaggregation
- 2) Delphi-Befragungen für eine möglichst exakte Vorhersage eines unsicheren Sachverhalts bzw. für dessen genaue(re) Bestimmung
- 3) Delphi-Befragungen zur Ermittlung und Qualifikation der Ansichten einer Experten-Gruppe über einen diffusen Sachverhalt
- 4) Delphi-Befragungen zur Konsensbildung unter den Teilnehmenden

In dieser Studie soll geklärt werden, welche physikalischen Themen im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitsrechnung relevant sind. Ziel ist es also aus einem vordefinierten Pool von Themengebieten diejenigen Themen auszuwählen, die von einem möglichst großen Anteil der Experten im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie als relevant erachtet werden. Die vorliegende Studie lässt sich demnach als Typ 4, also zur Konsensbildung, klassifizieren. Das detaillierte Design dieser Studie wird im Paragrafen 7.3 dargelegt. Zunächst wird das Forschungsinteresse und somit auch die Forschungsfrage, die mit dieser Studie beantwortet werden soll, diskutiert.

Delphi-Befragungen unterscheiden sich grundsätzlich von anderen Befragungsmethoden für Gruppen, wie zum Beispiel Gruppendiskussionen in einer Diskussionsrunde, einen einmaligen Fragebogen, oder Experteninterviews. In einer Delphi-Befragung können die Teilnehmenden über einen bestimmten Sachverhalt diskutieren und sind dennoch anonym. Dies gewährleistet eine mehrmalige Wiederholung der Befragungsrunde und somit die Feedbackrunden der Befragung. Außerdem werden die eher introvertierten Expertinnen und Experten animiert ihrer Meinung kundzutun, und somit die Diskussion nicht von extrovertierten Expertinnen und Experten dominiert. Zusätzlich ist durch die Anonymisierung eine mögliche Hierarchie unter den Expertinnen und Experten, nicht von Bedeutung - zum Beispiel, wenn die Managerin eines Projekts und ihre Praktikantin gleichzeitig befragt werden.

## 7.3 Evaluation der Delphi-Studie

### 7.3.1 Forschungsfrage und Studiendesign

Die Studie wurde mittels Online-Befragung und in englischer Sprache durchgeführt. Es wurde eine Webseite erstellt, bei der die Befragten verschiedene Themen nach ihrer Relevanz im Hinblick auf Wahrscheinlichkeitstheorie bewerten sollten. Der Themenkatalog wurde mithilfe des International Baccalaureate Curriculums (IB Curriculum) zusammengestellt. Der „Physics guide“ des IB Curriculum für das Diploma Programme umfasst 16 Hauptthemen mit jeweils zwei bis fünf Unterthemen. Alle Hauptthemen und Unterthemen werden in Tabelle 7-1 aufgelistet.

Hauptthemen	Unterthemen
Measurements and uncertainties	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Measurements in physics</li> <li>○ Uncertainties and errors</li> <li>○ Vectors and scalars</li> </ul>
Mechanics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Motion</li> <li>○ Forces</li> <li>○ Work, energy and power</li> <li>○ Momentum and impulse</li> </ul>
Thermal physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Thermal concepts</li> <li>○ Modelling a gas</li> </ul>
Waves	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Oscillations</li> <li>○ Travelling waves</li> <li>○ Wave characteristics</li> <li>○ Wave behaviour</li> <li>○ Standing waves</li> </ul>

**Kapitel 7** | Erhebung wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen in der Physik

Hauptthemen	Unterthemen
Electricity and magnetism	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Electric fields</li> <li>○ Heating effect of electric currents</li> <li>○ Electric cells</li> <li>○ Magnetic effects of electric current</li> </ul>
Circular motion and gravitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Circular motion</li> <li>○ Newton's law of gravitation</li> </ul>
Atomic, nuclear and particle physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Discrete energy and radioactivity</li> <li>○ Nuclear reactions</li> <li>○ The structure of matter</li> </ul>
Energy production	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Energy source</li> <li>○ Thermal energy transfer</li> </ul>
Wave phenomena	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simple harmonic motion</li> <li>○ Single-slit diffraction</li> <li>○ Interference</li> <li>○ Resolution</li> <li>○ Doppler effect</li> </ul>
Fields	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Describing fields</li> <li>○ Fields at work</li> </ul>
Electromagnetic induction	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Electromagnetic induction</li> <li>○ Power generation and transmission</li> <li>○ Capacitance</li> </ul>
Quantum and nuclear physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ The interaction of matter with radiation</li> <li>○ Nuclear physics</li> </ul>
Relativity	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ The beginnings of relativity</li> <li>○ Lorentz transformations</li> <li>○ Spacetime diagrams</li> <li>○ Relativistic mechanics</li> <li>○ General relativity</li> </ul>
Engineering physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rigid bodies and rotational dynamics</li> <li>○ Thermodynamics</li> <li>○ Fluids and fluid dynamics</li> <li>○ Forced vibrations and resonance</li> </ul>

Hauptthemen	Unterthemen
Imaging	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Introduction to imaging</li> <li>○ Imaging instrumentation</li> <li>○ Fibre optics</li> <li>○ Medical imaging</li> </ul>
Astrophysics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Stellar quantities</li> <li>○ Stellar characteristics and stellar evolution</li> <li>○ Cosmology</li> <li>○ Stellar processes</li> </ul>

**Tabelle 7-1:** Hauptthemen und deren Unterthemen aus dem „Physics guide“ des IB Curriculum für das Diploma Programme

Diese Themen wurden zunächst von der Autorin wie folgt reduziert. Dabei wurde die Liste der Unterthemen betrachtet. Die Unterthemen wurden nicht in den Themenkatalog aufgenommen, wenn sie in eine der, in Tabelle 7-2 definierten, Kategorien gehören.

Kategorie	Definition	Unterthemen
Mathematik	Es handelt sich beim gelisteten Thema um ein rein mathematisches Werkzeug	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vectors and scalars</li> <li>○ Describing fields</li> </ul>
Anwendung	Es handelt sich beim gelisteten Themen um eine Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Heating effect of electric currents</li> <li>○ Electric cells</li> <li>○ Energy production</li> <li>○ Energy source</li> <li>○ Power generation and transmission</li> <li>○ Capacitance</li> <li>○ Introduction to imaging</li> <li>○ Imaging instrumentation</li> <li>○ Fibre optics</li> <li>○ Medical imaging</li> </ul>
Geschichte	Es handelt sich beim angesprochenen Thema um kein Thema der Physik	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ The beginnings of relativity</li> </ul>

**Tabelle 7-2:** Kategorien zur Reduzierung der Unterthemen

Da das IB Curriculum in unterschiedliche Jahrgänge aufgeteilt ist, erscheinen manche dieser Themen in mehreren Jahrgängen allerdings jeweils in einem unterschiedlichen Vertiefungsgrad. Daher wurden manche der Unterthemen zusätzlich neu sortiert. Diese neue Zuordnung der Unterthemen in Hauptthemen wird in Tabelle 7-3 aufgezählt.

Hauptthemen	Unterthemen	Neue Zuordnung
Circular motion and gravitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Circular motion</li> <li>○ Newton's law of gravitation</li> </ul>	Zum Hauptthema „Mechanics“ hinzugefügt
Atomic, nuclear and particle physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Discrete energy and radioactivity</li> <li>○ The structure of matter</li> </ul>	In zwei separate Unterthemen unterteilt Zu neuem Hauptthema „Elementary particle physics“ hinzugefügt
Electromagnetic induction	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Electromagnetic induction</li> </ul>	Zum Hauptthema „Magnetism and electricity“ hinzugefügt
Quantum and nuclear physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ The interaction of matter with radiation</li> <li>○ Nuclear physics</li> </ul>	Zum Hauptthema „Atomic, nuclear and particle physics“ hinzugefügt
Engineering physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Thermodynamics</li> </ul>	Zum Hauptthema „Thermal physics“ hinzugefügt

**Tabelle 7-3:** Neue Zuordnung ausgewählter Unterthemen

Dadurch ergaben folgende neun Hauptthemen:

- 1) Mechanik (Mechanics)
- 2) Messungen und Fehlerrechnung (Measurements and uncertainties)
- 3) Thermische Physik (Thermal physics)
- 4) Atom, Kern und Teilchenphysik (Atomic, nuclear and particle physics)
- 5) Wellenphänomene (Wave phenomena)
- 6) Elektrizität und Magnetismus (Electricity and magnetism)
- 7) Relativität (Relativity)
- 8) Astrophysik (Astrophysics)
- 9) Technische Physik (Engineering physics)

Zu diesen Themen wurden noch zwei Hauptthemen hinzugefügt, nämlich:

- 10) Nichtlineare Systeme (non-linear systems)
- 11) Elementarteilchenphysik (elementary particle physics)

Die Relevanz von Wahrscheinlichkeitstheorie für diese Themen wurde bereits in Paragraph 6.2 Themen diskutiert. Elementare Teilchenphysik wird im IB Curriculum schon im Hauptthema „Atomic, nuclear and particle physics“ behandelt. Es werden jedoch im IB Curriculum Unterthemen wie Fundamentale Wechselwirkungen, der Higgs-Mechanismus oder das Standard Model nicht explizit benannt. Nichtlineare Systeme, wie Chaos oder Nichtlineare Dynamik werden im IB Curriculum gar nicht genannt. Die Meinung der Physikerinnen und Physiker zu diesen Themen der Elementarteilchenphysik und zu Nichtlinearen Systemen und deren

Zusammenhang mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung scheinen jedoch laut Literaturrecherche durchaus interessant zu sein und sollten daher in dem Themenkatalog nicht fehlen (vgl. Paragraph 6.2). Diese Einteilung wurde einerseits mit Physikdidaktikerinnen und Physikdidaktikern diskutiert, sowie in einer Pilotstudie getestet (vgl. Paragraph 7.3.2).

Die elf Hauptthemen wurden in zwei bis sechs Unterthemen unterteilt (siehe Tabelle 7-4).

Hauptthemen	Unterthemen
Mechanics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Motion</li> <li>○ Forces</li> <li>○ Work, energy and power</li> <li>○ Momentum and impulse</li> <li>○ Circular motion</li> <li>○ Newton's law of gravitation</li> </ul>
Measurements and uncertainties	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Measurements in physics</li> <li>○ Uncertainties and errors</li> </ul>
Non-linear systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Non-linear dynamics</li> <li>○ chaos</li> </ul>
Thermal physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Modelling a gas</li> <li>○ Thermodynamics</li> <li>○ Thermal energy transfer</li> </ul>
Atomic, nuclear and particle physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ The interaction of matter with radiation</li> <li>○ Nuclear physics (including nuclear reactions)</li> <li>○ Quantum physics</li> <li>○ Discrete energy</li> <li>○ Radioactivity</li> </ul>
Wave phenomena	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simple harmonic motion</li> <li>○ Single-slit diffraction</li> <li>○ Interference</li> <li>○ Resolution</li> <li>○ Doppler effect</li> </ul>
Electricity and magnetism	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Electric fields</li> <li>○ Magnetic fields</li> <li>○ Magnetic effects of electric current</li> <li>○ Electromagnetic induction</li> </ul>

Hauptthemen	Unterthemen
Relativity	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lorentz transformations</li> <li>○ Spacetime diagrams</li> <li>○ Relativistic mechanics</li> <li>○ General relativity</li> </ul>
Astrophysics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Stellar quantities</li> <li>○ Stellar characteristics and stellar evolution</li> <li>○ Cosmology</li> <li>○ Stellar processes</li> </ul>
Engineering physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rigid bodies and rotational dynamics</li> <li>○ Fluids and fluid dynamics</li> <li>○ Forced vibrations and resonance</li> </ul>
Elementary particle physics	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fundamental interactions and forces</li> <li>○ Structure of matter</li> <li>○ Particle decay</li> <li>○ Higgs mechanism and higgs boson</li> <li>○ Standard model</li> </ul>

**Tabelle 7-4:** Finale Liste der Hauptthemen und deren Unterthemen für die Delphi-Studie

Diese Unterthemen sollten dann von den Befragten nach ihrer Relevanz bewertet werden. Die Befragten konnten dabei entscheiden, ob ein Thema in einer Literaturübersicht zu physikalischen Themen bei denen Wahrscheinlichkeitsrechnung eine Rolle spielt inkludiert werden soll oder nicht. Dabei wurden Aussagen mit Hilfe einer sechs-stufigen Bewertungsskalar von „Ich stimme voll zu“ bis „Ich stimme absolut nicht zu“ bewertet. Die Struktur der Fragen war dabei immer dieselbe. Die Abbildung 7-1 zeigt ein Beispiel dafür.

## Delphi Study on probability-related physics topics



Page 5 of 12

# Thermal physics

The next topic we are looking at is thermal physics. Please rate the following statement:

**"The following subtopic of thermal physics should be included in a literature review about probability-related topics in physics." \***

	I strongly agree	I agree	I slightly agree	I slightly disagree	I disagree	I strongly disagree
Modelling a gas *	<input type="radio"/>					
Thermodynamics *	<input type="radio"/>					
Thermal energy transfer *	<input type="radio"/>					

< Previous Page   Next Page >

Abbildung 7-1: Beispiel Item für die Delphi-Studie

Eine Auflistung aller im IB Curriculum gelisteten Themen sowie der Themen die hinzugefügt wurden ist im Anhang (18.1. Themen zur Delphi-Studie) zu finden. Dieser enthält außerdem die Begründungen warum welches Thema, in welchen Hauptthemen gelistet wurde oder nicht.

Als nächster Schritt wurden geeignete Expertinnen und Experten ausgewählt. Wie eine solche Auswahl von Expertinnen und Experten auszusehen hat, hängt sehr stark von der Problemstellung und damit auch vom Typ der Delphi-Befragung ab. Wie im Paragraphen 7.2 beschrieben, handelt es sich bei dieser Studie um eine Delphi-Befragung zur Konsensbildung. Die Auswahl der Probanden wird im nächsten Abschnitt erläutert.

7.3.2 Stichprobe und Pilotstudie

Bei einer Delphi-Befragung mit dem Ziel der Konsensfindung kann die Auswahl der Teilnehmenden aufgrund von Kriterien bestimmt werden (Häder 2009). Diese Kriterien ergeben sich in der Regel aus der Problemstellung. Um die Frage „*Welche physikalischen Themen sind in Hinblick auf Wahrscheinlichkeitsrechnung relevant?*“ beantworten zu können, müssen die Expertinnen und Experten ein breites Physikwissen besitzen. Es werden also in der Studie Physikerinnen und Physiker also Expertinnen und Experten befragt. Eine große Auswahl an unterschiedlichen Physikerinnen und Physikern findet man am CERN. Obwohl man wohl zunächst denken mag, dass am CERN hauptsächlich Teilchenphysikerinnen und Physiker arbeiten, findet man auch viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit anderen Spezialisierungen: Theoretische Physik, Beschleunigerphysik, Angewandte Physik, Kernphysik und Technische Physik. Zunächst wurde eine Pilotstudie mit drei Physikern sowie drei Physikdidaktikerinnen und Didaktikern durchgeführt. Die Stichprobe der Pilotstudie wird in Tabelle 7-5 detailliert beschrieben.

<i>Expertin/ Experte</i>	<i>Nationalität</i>	<i>Spezialisierung</i>	<i>Geschlecht</i>	<i>Teilnahme an</i>
1	AUS	Physik	M	Pilot
2	AUT	Physik	M	Pilot
3	USA	Physik	M	Pilot
4	DEU	Physikdidaktik	M	Pilot
5	AUT	Physikdidaktik	F	Pilot
6	SVN	Physikdidaktik	M	Pilot

**Tabelle 7-5:** Detaillierte Beschreibung der Stichprobe in der Pilotstudie der Delphi-Studie

Mit dieser Pilotstudie sollen folgende Punkte vor Beginn der Feldstudie geklärt werden:

- 1) Wie viel Zeit wird für das Ausfüllen des Online Formulars benötigt?
- 2) Sind alle Themen gelistet? Sollten noch Themen hinzugefügt werden oder umstrukturiert werden?
- 3) Wird der Ablauf der Studie ausführlich genug erklärt?

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer benötigten ungefähr zehn Minuten zum Ausfüllen des Formulars. Alle Befragten fanden die Themenauswahl vollständig und gut strukturiert. Ein Physiker merkte an, dass es sich bei den Themen teilweise um Modelle der Wahrscheinlichkeitsrechnung handelt und teilweise um solche die nur die Werkzeuge der Wahrscheinlichkeitstheorie benutzen. Daher fiel es ihm schwer, zu entscheiden ob ein Thema relevant ist

oder nicht. Er schlug vor das Ziel der Befragung noch weiter zu spezifizieren. Bei der Überarbeitung des Formulars wurde entschieden, dass zunächst weiterhin eine offene Fragestellung verfolgt wurde.

Nach der erfolgreichen Pilotstudie wurden für die Feldstudie zwölf CERN Physikerinnen und Physiker angeschrieben, wovon zehn das Formular ausfüllten und einsendeten. Tabelle 7-6 zeigt eine detaillierte Beschreibung der Stichprobe.

<i>Expertin/ Experte</i>	<i>Nationalität</i>	<i>Teilnahme</i>		<i>Befragungsrunde</i>	<i>Teilnahme</i>
		♂	♀		
1	ITA		X	X	X
2	NLD	X		X	X
3	JPN	X		X	X
4	GER		X	X	X
5	ITA		X	X	X
6	GER		X	X	X
7	GBR		X	X	
8	USA	X		X	X
9	POL	X		X	X
10	GER	X		X	X
11	POL	X			X
<i>Gesamt</i>		6	5	10	10

**Tabelle 7-6:** Detaillierte Beschreibung der Stichprobe für die Hauptstudie der Delphi-Studie

Im nächsten Abschnitt werden die Auswertemethodik und das Abbruchkriterium erläutert.

### 7.3.3 Auswertemethodik und Abbruchkriterium

Zu Beginn der Feldstudie wurde ein sogenanntes Abbruchkriterium definiert. Dieses Kriterium bestimmt ab wann zu einem Thema Konsens erreicht wurde. Im Falle dieser Studie wurde bestimmt, dass wenn acht oder mehr der Expertinnen und Experten für bzw. gegen eine Relevanz des Themas stimmen, haben die Expertinnen und Experten Konsens erreicht (also Übereinstimmung  $\geq 80\%$ ). Wird dieses Level an Übereinstimmung erreicht, wird über dieses Thema nicht weiter abgestimmt. Dies entspricht einem in der Literatur üblichem Wert für das

## Kapitel 7 | Erhebung wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen in der Physik

Abbruchkriterium (Diamond et al. 2014). Die Expertinnen und Experten werden in der darauffolgenden Feedbackrunde informiert, dass für dieses Thema Konsens erreicht wurde. Näheres zum Testinstrument der Feedbackrunde wird in Paragraph 7.3.5 abgebildet.

Um herauszufinden, ob ein Thema bereits in der ersten Befragungsrunde Konsens erreicht, wurde zunächst die sechs-stufige Skala in eine zwei-stufige konvertiert. Haben die Expertinnen und Experten auf die Aussage, dass ein Unterthema in der Literaturanalyse inkludiert werden soll mit „I strongly agree“, „I agree“ oder „I slightly agree“ geantwortet, wurden die Antwort als „vote to include“ also „abgestimmt für Inkludierung“ gerechnet. Haben die Expertinnen und Experten auf diese Aussage mit „I strongly disagree“, „I disagree“ oder „I slightly disagree“ geantwortet, wurde die Antwort als „vote to NOT include“ also „abgestimmt gegen Inkludierung“ gerechnet. Es wurde gezählt wie viele Expertinnen und Experten pro Unterthema für oder gegen eine Inkludierung gestimmt haben. Die Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt besprochen und wurden in der Feedbackrunde in den Fragebogen eingebaut (vgl. Paragraph 7.3.5).

### 7.3.4 Ergebnisse der ersten Befragungsrunde

Schon in der ersten Befragungsrunde wurde für viele Subthemen Konsens erreicht. Die Ergebnisse der ersten Runden zeigt Tabelle 7-7 .

	I strongly agree	I agree	I slightly agree	I slightly disagree	I disagree	I strongly disagree
<b>Mechanics</b>						
Motion	1	1	2	3	2	1
Forces	1	1	1	3	3	1
Work, energy and power	1	1	0	4	3	1
Momentum and impulse	2	1	0	4	2	1
Circular motion	0	0	1	4	4	1
Newton's law of gravitation	0	1	0	4	4	1
<b>Measurements and uncertainties</b>						
Measurements in physics	6	4	0	0	0	0
Uncertainties and errors	8	2	0	0	0	0
<b>Non-linear systems</b>						

	I strongly agree	I agree	I slightly agree	I slightly disagree	I disagree	I strongly disagree
Non-linear dynamics	2	4	2	2	0	0
Chaos	4	4	1	1	0	0
<b>Thermal physics</b>						
Modelling a gas	3	5	2	0	0	0
Thermodynamics	6	3	1	0	0	0
Thermal energy transfer	1	6	1	1	1	0
<b>Atomic, nuclear and particle physics</b>						
The interaction of matter with radiation	5	4	1	0	0	0
Nuclear physics (including nuclear reactions)	4	5	0	1	0	0
Quantum physics	7	3	0	0	0	0
Discrete energy	2	4	2	2	0	0
Radioactivity	5	3	1	1	0	0
<b>Wave phenomena</b>						
Simple harmonic motion	1	1	3	2	2	1
Single-slit diffraction	4	1	3	0	1	1
Interference	3	2	3	0	1	1
Resolution	1	2	3	2	1	1
Doppler effect	0	0	1	6	1	2
<b>Electricity and magnetism</b>						
Electric fields	1	0	1	3	3	2
Magnetic fields	1	0	1	3	3	2
Magnetic effects of electric current	1	0	1	3	4	1
Electromagnetic induction	1	1	0	3	4	1
<b>Relativity</b>						
Lorentz transformations	0	2	0	3	3	2
Spacetime diagrams	1	1	0	3	3	2
Relativistic mechanics	0	1	2	2	3	2
General relativity	0	1	3	3	1	2
<b>Astrophysics</b>						
Stellar quantities	1	0	2	5	2	0

	I strongly agree	I agree	I slightly agree	I slightly disagree	I disagree	I strongly disagree
Stellar characteristics and stellar evolution	0	3	0	5	2	0
Cosmology	2	1	3	3	1	0
Stellar processes	0	3	0	5	2	0
<b>Engineering physics</b>						
Rigid bodies and rotational dynamics	0	0	2	3	4	1
Fluids and fluid dynamics	1	1	1	3	3	1
Forced vibrations and resonance	0	1	1	5	2	1
<b>Elementary particle physics</b>						
Fundamental interactions and forces	2	4	0	3	1	0
Structure of matter	0	3	4	2	1	0
Particle decay	5	4	1	0	0	0
Higgs mechanism and higgs boson	3	1	3	2	1	0
Standard model	1	4	2	2	1	0

**Tabelle 7-7:** Ergebnisse der ersten Befragungsrunde der Delphi-Studie

Dies führte dazu, dass fünf der elf Hauptthemen in der Feedbackrunde aus dem Testinstrument genommen werden konnten. Die Expertinnen und Experten entschieden sich nach der ersten Runde dafür, dass

- Messungen und Fehlerrechnung (Measurements and uncertainties),
- Thermische Physik (Thermal physics),
- Atom, Kern und Teilchenphysik (Atomic, nuclear and particle physics), und
- Nichtlineare Systeme (non-lineare systems)

im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie relevant sind, während sie sich entschieden haben, dass

- Elektrizität und Magnetismus (Electricity and magnetism)

in diesem Zusammenhang nicht relevant ist.

Für andere Themen waren sich die Expertinnen und Experten nur bei manchen Unterthemen einig. Daher wurden insgesamt 27 der 43 Subthemen in der zweiten Runde nicht mehr behandelt. Den Expertinnen und Experten wird ihre Entscheidung über diese Subthemen im

Fragebogen mitgeteilt. Sind sie mit dieser Entscheidung nicht einverstanden, haben sie in einem Kommentarfeld die Möglichkeit ihre Bedenken kundzutun. Das Testinstrument der ersten Feedbackrunde wird im nächsten Abschnitt vorgestellt.

### 7.3.5 Testinstrument der ersten Feedbackrunde

Für die erste Feedbackrunde wurde wieder eine Webseite erstellt. Der Aufbau dieser Seite gestaltete sich ähnlich wie in der ersten Befragungsrunde. Jedes Hauptthema bekam eine eigene Seite, auch jene bei denen die Expertinnen und Experten sich schon in der ersten Runde einig waren. Am Beginn jeder Seite wurde eine Tabelle mit den Ergebnissen abgebildet. Die Expertinnen und Experten konnten nun jene Unterthemen bei denen es in der ersten Befragungsrunde zu keinem Konsens gekommen war ein weiteres Mal bewerten. In dieser Runde wurde entschieden in der Bewertungsskala keine feine Abstufung mehr zu machen. Die Befragten entschieden lediglich ob sie ein Thema in einer Literaturanalyse zu relevanten Themen im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie berücksichtigen würden oder nicht. Auch Themen die nach der ersten Fragerunde nicht mehr bewertet werden mussten, da 80% schon für oder gegen das Thema gevotet haben, konnten in einem Kommentarfeld noch einmal diskutiert werden. Zusätzlich wurden sie gebeten zu begründen, warum sie ein Thema anders als die anderen Expertinnen und Experten in der ersten Befragungsrunde bewertet haben. Abbildung 7-2 zeigt exemplarisch, wie eine solche Seite aussieht.

# Study on probability-related physics topics - Round two



Page 2 of 12

## Mechanics

In the previous round of this study, all participants were asked whether on a six level scale whether they agree or disagree that these subtopics of mechanics should be included in a literature review on probability - related topics. These are the first results.

	#votes to include	#votes to NOT include
Motion	4	6
Forces	3	7
Work, energy and power	2	8
Momentum and impulse	3	7
Circular motion	1	9
Newton's law of gravitation	1	9

These results from the previous round show that most experts already agree that "Work, energy and power", "Circular motion" and "Newton's law of gravitation" should NOT be included in a literature review on probability-related topics. Nevertheless, there are some topics where we could not reach agreement.

**Taking the previous results and your own opinion into account. Please finish the following statement: "I think the following subtopics of mechanics should ..." \***

	Be included	Not be included
Motion *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Forces *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Momentum and impulse *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**If you disagree with the collective opinion, it would be amazing, if you could comment here why you think differently or under which circumstances you would agree with the collective opinion.**

Please comment here

[< Previous Page](#) [Next Page >](#)

Abbildung 7-2: Beispielimitem der Feedbackrunde der Delphi-Studie

### 7.3.6 Ergebnisse der Delphi-Studie

Insgesamt wurden zwei Runden der Delphi-Studie durchgeführt. Nach der ersten Feedbackrunde konnten sich die Expertinnen und Experten für die meisten Hauptthemen auf Inkludieren oder nicht Inkludieren einigen. Das heißt alle Subthemen eines Hauptthemas wurden gleich bewertet. Tabelle 7-8 zeigt die Ergebnisse der Feedbackrunde.

	#votes to include 1	#votes to NOT include 1	#votes included	#votes NOT included
<b>Mechanics</b>				
Motion	4	6	1	9
Forces	3	7	2	8
Momentum and impulse	3	7	1	9
<b>Wave phenomena</b>				
Simple harmonic motion	5	5	2	8
Resolution	6	4	7	3
<b>Relativity</b>				
Relativistic mechanics	3	7	1	9
General relativity	4	6	1	9
<b>Astrophysics</b>				
Stellar quantities	3	7	3	7
Stellar characteristics and stellar evolution	3	7	4	6
Cosmology	6	4	10	0
Stellar processes	3	7	4	6
<b>Engineering physics</b>				
Fluids and fluid dynamics	3	7	2	8
<b>Elementary particle physics</b>				
Fundamental interactions and forces	6	4	9	1
Structure of matter	7	3	8	2
Higgs mechanism and higgs boson	7	3	9	1
Standard model	7	3	9	1

Tabelle 7-8: Ergebnisse der ersten Feedbackrunde der Delphi-Studie

## Kapitel 7 | Erhebung wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen in der Physik

Die folgenden Themen wurden insgesamt als **relevant** in Hinblick auf Wahrscheinlichkeitsrechnung bewertet:

- Messungen und Fehlerrechnung (Measurements and uncertainties)
- Thermische Physik (Thermal physics)
- Atom-, Kern- und Teilchenphysik (Atomic, nuclear and particle physics)
- Nicht lineare Systeme (non-linear systems)
- Elementarteilchenphysik (elementary particle physics)

Hingegen wurden diese Themen als **nicht relevant** erachtet:

- Elektrizität und Magnetismus (Electricity and magnetism)
- Mechanik (Mechanics)
- Relativität (Relativity)
- Technische Physik (Engineering physics)

Für folgende Themen wurden nicht alle Subthemen gleich bewertet - das heißt, dass manche der Subthemen als relevant erachtet wurden, während andere Subthemen des Hauptthemas als nicht relevant erachtet wurden:

- Wellenphänomene (Wave phenomena)
- Astrophysik (Astro physics)

Daher werden im Weiteren die Subthemen dieser Themen näher betrachtet. Das Hauptthema „Wellenphänomene“ bestand aus den Subthemen

- 1) Beugung am Einfachspalt (Single-slit diffraction)
- 2) Interferenz (Interference)
- 3) Resolution
- 4) Einfache harmonische Bewegungen (Simple harmonic motion)
- 5) Doppler Effekt (Doppler effect).

Von den Expertinnen und Experten wurde entschieden, dass 1) - 3) relevant sind während 4) und 5) als nicht relevant bewertet wurden. Aus den Kommentaren der Expertinnen und Experten wurde deutlich, dass der Grund dafür der Zusammenhang der ersten drei Themen mit der Quantenphysik ist. Aus diesem Grund wurden diese Themen als relevant in Hinblick auf Wahrscheinlichkeitstheorie erachtet. Ein Beispiel für einen solchen Kommentar:

*„Concerning resolution, I'm a bit more divided. Via the Heisenberg uncertainty principle, the resolution of a certain measurement becomes a bit more probabilistic, though uncertainty is of course not the same as probability.*

*Care should be taken to explain it correctly imho, to avoid misunderstandings.“*

Ein Experte der sich gegen die Inkludierung von Beugung am Einzelspalt und Interferenz ausgesprochen hat, kommentiert wie folgend:

*„I don't really see how you can use this as an example for probabilistic behaviour, as this is described by wave-mechanics. Bringing in probabilistic statements like (sometimes the photon takes this, sometime that path) give the wrong idea about the particle-wave duality.“*

Diese Kommentare lassen erahnen wie die Denkweise der Expertinnen und Experten zur Inkludierung der Themen geführt haben kann. Die Expertinnen und Experten scheinen in diesem Hauptthema einen Zusammenhang zur Quantentheorie zu sehen. Auch bei Themen, die als nicht relevant bewertet wurden, sind Kommentare mit Bezug zur Quantenmechanik genannt worden:

*„Simple Harmonic Motion: I think this subtopic should be excluded because it is a simple classical physics problem and I do not see how it would be useful for a discussion of probability. While it is connected to the quantum-mechanical study of an oscillator with a quadratic potential, I do not think it adds much to a discussion of probability.“*

Auch beim Hauptthema Astrophysik waren sich die Expertinnen und Experten uneins. Es bestand aus den Unterthemen:

- 1) Sternhaufen (Stellar quantities)
- 2) Sterncharakteristiken und Sternevolution (Stellar characteristics and stellar evolution)
- 3) Kosmologie (Cosmology)
- 4) Sternprozesse (Stellar processes)

Die Expertinnen und Experten haben sich bei 1), 2) und 4) gegen die Inkludierung ausgesprochen. Kosmologie soll wiederum in die Literaturanalyse aufgenommen werden. Der Gründe warum Kosmologie für die Expertinnen und Experten im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie relevant ist, wird im folgenden Kommentar einer Expertin erläutert:

## Kapitel 7 | Erhebung wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen in der Physik

*„I voted yes on cosmology, because 1) the big bang and especially the CMB are good examples of homogeneity and isotropy, and how "small"-scale differences smooth out on the big scale (small scale randomness is averaged out), and 2) black holes and Hawking radiation aka quantum fluctuations.“*

Es wird nicht nur die Evolution des Universums, sondern auch die Messungen als ein probabilistisches Problem erkannt. Dieser Zusammenhang mit der Messunsicherheit wird noch deutlicher aus diesem Kommentar eines Experten:

*„...all measurements seem to involve many objects / measurements. So all derived quantities have a statistical character. If the theory of cosmological evolution is based on probability I actually don't know.“*

Es lässt sich demnach schlussfolgern, dass bei den zwei Themen „Wellenphänome“ und „Astrophysik“ die Uneinigkeit daher stammt, dass diese Themen zu sehr mit quantenmechanischen aber auch klassischen Bereichen der Physik verknüpft sind.

### 7.3.6.1 Diskussion der Ergebnisse der Delphi-Studie

In der Studie wurde geklärt welche Themen der Physik in Hinblick auf Wahrscheinlichkeitstheorie relevant sind. Die Ergebnisse der Delphi-Studie zeigen, dass für Physikerinnen und Physiker Wahrscheinlichkeitstheorie in vielen physikalischen Themen eine Rolle spielt. Insgesamt haben sich die Physikerinnen und Physiker auf diese Liste an relevanten Themen geeinigt:

- Messungen und Fehlerrechnung (Measurements and uncertainties),
- Thermische Physik (Thermal physics),
- Atom-, Kern- und Teilchenphysik (Atomic, nuclear and particle physics),
- Nicht lineare Systeme (non-linear systems)
- Elementarteilchenphysik (elementary particle physics)

Aus der Literatur zu Schülervorstellungen wissen wir, dass es in den Themenbereichen „Messprozesse“ und „Quantenphysik“ Schülervorstellungen gibt, die auf die wahrscheinlichkeitstheoretische Natur dieser Themen zurückzuführen sind (Wiesner 1996, Müller und Wiesner 1998, Heinicke 2012). Auch in der nicht-linearen Dynamik konnten Verständnisprobleme aufgedeckt werden, die aufgrund des Wechselspiel von Determinismus und Zufall entstehen (Stavrou et al. 2003, Stavrou et al. 2005, Stavrou und Duit 2014). Die Frage, ob es einen solchen Zusammenhang zwischen Schülervorstellungen zu teilchenphysikalischen Phänomenen und Schülervorstellungen zu Zufall und zur Wahrscheinlichkeitstheorie ist noch nicht geklärt. Diese Frage wird im nächsten Abschnitt dieser Arbeit geklärt.





## C. SCHÜLERVORSTELLUNGSSTUDIE 1



## 8 Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

### 8.1 Einleitung

Im Paragraphen 6.2 wurde gezeigt, dass das Interesse an der Forschung zu Schülervorstellungen zum Thema Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Mathematik in den letzten Jahren stieg. Trotz dieses Anstiegs ist der Einfluss dieser Schülervorstellungen auf das Verständnis von physikalischen Themen noch wenig erforscht.

Die Bedeutung von Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung in naturwissenschaftlichen Themen ist wohl unumstritten. Zum Beispiel verwendet man zur Modellierung vieler teilchenphysikalischer Probleme die Werkzeuge der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Als am CERN endlich die Entdeckung des Higgs-Teilchens bekannt gegeben wurde hieß das, dass genügend viele Daten für ein glaubhaftes Signal bei einer bestimmten Energie gesammelt wurden. Diese Entdeckung basiert auf statistischen Analysen und nicht auf der Messung eines einzelnen Teilchens. Obwohl Schülerinnen und Schüler ein größeres Interesse an Ereignissen mit hoher Medienpräsenz wie zum Beispiel der Entdeckung des Higgs-Teilchens haben, sind solche Themen nur Teil weniger Lehrpläne. Es gibt jedoch andere Themen in Physiklehrplänen, wo zufällige Phänomene eine ähnlich große Rolle spielen, zum Beispiel bei dem radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns.

In der folgenden Studie zu Schülervorstellungen soll herausgefunden werden, ob und wenn ja welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit einen Einfluss auf das Verständnis teilchenphysikalischer Themen, wie zum Beispiel dem radioaktiven Zerfall, haben.

### 8.2 Evaluation der Schülervorstellungsstudie

#### 8.2.1 Forschungsfragen

Bisher wurde herausgefunden, dass Zufall und Wahrscheinlichkeit nicht nur in der Mathematik, sondern auch in der Physik eine große Rolle spielen. Physikerinnen und Physiker des CERNs glauben, dass gerade bei teilchenphysikalischen Problemen, wie zum Beispiel bei der Radioaktivität, lediglich wahrscheinlichkeitstheoretische Aussagen getroffen werden können (vgl. Paragraph 7.3.6). Die bisherige Forschung zu Schülervorstellungen in der Mathematik und Physik zeigen, dass Jugendliche Probleme haben, wahrscheinlichkeitstheoretische Themen sowie teilchenphysikalische Themen zu verstehen. Es wurde jedoch noch nicht erforscht, ob Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall auch im naturwissenschaftlichen Kontext, wie zum Beispiel der Radioaktivität, auftreten. In der vorliegenden Studie werden folgende Fragen geklärt:

## **Kapitel 8** Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

- 1) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu beobachten?
- 2) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung haben einen Einfluss auf das Verständnis teilchenphysikalischer Themen, wie zum Beispiel dem radioaktiven Zerfall?
- 3) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind kontextunabhängig und welche ändern sich, wenn der Kontext geändert wird?

Die Beantwortung dieser Forschungsfragen erfolgt in mehreren Schritten. Aufbauend auf den in der Literatur bekannten SV werden zunächst Vermutungen aufgestellt, wie sich diese Schülervorstellungen auf teilchenphysikalische Themen auswirken könnten. Es wurden zunächst von der Autorin basierend auf der Literatur Annahmen getroffen. Der auf diesen Annahmen konzipierte Leitfaden wurde mittels semi-strukturierter Interviews mit Schülerinnen und Schülern zwischen 16 und 19 Jahren evaluiert und adaptiert. Die auf Annahmen basierenden Leitfragen wurden angepasst. Mit dem finalen Leitfaden werden dann ca. 20 Jugendliche interviewt, um diese Forschungsfragen beantworten zu können.

### 8.2.2 Studiendesign

Zur Erhebung von Schülervorstellungen gibt es mehrere Methoden. Prinzipiell kann man zwischen schriftlichen und mündlichen Verfahren unterscheiden. Aufgrund der wenig vorhandenen Literatur zur Schülervorstellungsforschung zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung im Kontext der Naturwissenschaften wurde entschieden, ein mündliches Verfahren zu wählen. Dieses bietet einen idealen Einstieg in noch wenig erforschte Themengebiete (Schecker et al. 2018). Denn bei solchen Befragungen haben Befragende die Möglichkeit, bei sehr kurz, nicht sehr detailliert oder missverständlichen Antworten nachzufragen. Es gibt eine große Vielfalt an qualitativen Interviews, sie können beispielsweise nach dem Maß an Kontrolle unterschieden werden (Bernard 2017). Das Spektrum reicht dann von unstrukturierten Interviewformen über semi-strukturierte Interviews bis hin zum strukturierten Interview (Bernard 2017). In dieser Studie wurden die Daten mit semi-strukturierten Einzelinterviews erhoben. Sie bieten genügend Spielraum um Unklarheiten auszuräumen, folgen jedoch einer klaren Struktur. Für diese Struktur sorgt in der vorliegenden Studie ein Leitfaden. Der Leitfaden sollte so konzipiert werden, dass er einerseits den Gesprächsfluss nicht einengt, aber trotzdem dafür sorgt, dass die Offenheit der Interviews nicht dazu führt, dass man Interessen oder Vorstellungen der Interviewerin oder des Interviewers erhebt (Hopf 2012, Niebert und Gropengießer 2014). Außerdem gewährleisten solchen Hauptfrage die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Interviews.

**Interviewleitfaden 1:**

1. Es gibt keine einheitliche Definition von Zufall. Was heißt Zufall für dich?
  - a. Floskel für Redefluss: Erzähl doch mal, wo dir Zufall im Alltag begegnet...
2. Was fällt dir zu Zufall im Zusammenhang mit Physik ein?
  - a. Kennst du aus der Schule oder den Medien physikalische Prozesse, die zufällig sind?
  - b. Kannst du mir das genauer beschreiben? Was ist daran zufällig?
3. Ihr habt im Unterricht schon über Radioaktivität gesprochen. Gibt es deiner Meinung nach einen Zusammenhang zwischen Zufall und Radioaktivität?
4. Ist der  $\alpha$ -Zerfall zufällig?
  - a. Was ist beim  $\alpha$ -Zerfall zufällig?
5. Vergleiche den zufälligen Prozess beim  $\alpha$ -Zerfall mit dem Münzwurf.
6. Stell dir vor, du hast einen Kern in einem Käfig gefangen. Du weißt er wird irgendwann unter Aussendung eines  $\alpha$ -Teilchens zerfallen. Du gehst jeden Tag um 5 Uhr vorbei und beobachtest den Kern für eine Minute. Ist es wahrscheinlicher, dass er heute um 5 oder morgen um 5 zerfällt?
  - a. Wie ist das, wenn du 2 Kerne hat?
  - b. 10?
  - c. Wie viele brauchst du, um etwas sagen zu können?
7. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern zu einem bestimmten Zeitpunkt ein  $\alpha$ -Teilchen aussendet?
8. Du hast doch bestimmt schon einmal was von Halbwertszeit gehört. Kannst du einen Zusammenhang mit der Halbwertszeit herstellen?
9. Wie du gerade beim Bau der Nebelkammer gesehen hast, können wir auf der Erde ständig hochenergetische Teilchen messen. Das ist ein Pixeldetektor, er misst hochenergetische Teilchen. Dort, wo ein Teilchen durch den Detektor fliegt, sieht man eine solche Spur.

Wo auf der Detektorfläche erwartest du Spuren bei einer Messung der Hintergrundstrahlung?

  - a. Warum?
  - b. Wie schaut das Bild bei einer zweiten Messung aus?

Die Befragung fand im Schülerlabor S'Cool LAB<sup>2</sup> am CERN statt. In der Pilotstudie wurden Schulklassen der Region eingeladen, um Nebelkammern zu bauen. Nach dem Nebelkammer-Workshop wurden die Schülerinnen und Schüler befragt. In der Hauptstudie wurden die Jugendlichen, die das Labor besucht haben, gebeten, an Interviews teilzunehmen. Parallel dazu wurde mit den Jugendlichen, die gerade nicht befragt wurden, ein Nebelkammer-Workshop durchgeführt. Dieser Workshop wurde dabei von unterschiedlichen freiwilligen Workshop-Leiterinnen oder -Leitern durchgeführt.

### 8.2.3 Erprobung

In einer Pilotstudie wurden anhand dieses Leitfadens zehn deutschsprachige Jugendliche der Deutschen Schule in Genf interviewt.

Der erste Leitfaden umfasste folgende Fragen:

---

<sup>2</sup><https://scool.web.cern.ch/>

## Kapitel 8 | Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

Diese Interviews haben gezeigt, dass die Jugendlichen für einige Fragen fortgeschrittenes Wissen in der Teilchenphysik benötigen. Diese Fragen waren damit zu schwer und wurden entweder überarbeitet oder aus dem Leitfaden gelöscht. Der Leitfaden der Pilotstudie sowie die vorgenommenen Änderungen für die Hauptstudie werden im nächsten Paragraphen erläutert.

### 8.2.4 Testinstrument

Nach der ersten Befragung mit 10 Jugendlichen wurde der Leitfaden nach den folgenden Kriterien überarbeitet:

- 1) **Redebereitschaft mehr fordern.** Manche Schülerinnen und Schüler hatten Probleme, in das Thema zu finden. Eine kurze Demonstration oder einfachere Übergänge zwischen den Themen können die Redebereitschaft fördern.
- 2) **Fremdworte oder unnötige Fachbegriffe vermeiden.** Manche Jugendliche wussten nicht genau, was der  $\alpha$ -Zerfall ist, bzw. vermischten Worte wie  $\alpha$ -Zerfall,  $\alpha$ -Teilchen und  $\alpha$ -Strahlung. Es wurde mehr über das Wort an sich als die Bedeutung des Zufalls beim radioaktiven Zerfall gesprochen.
- 3) **Unabhängigkeit vom Workshop.** Die letzte Frage war zu schwierig, es musste einerseits der Nebelkammer-Workshop aufmerksam besucht werden und andererseits die Oberfläche des Pixeldetektors verstanden werden.

Aufgrund dieser Kriterien wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Nach der ersten Frage zur Definition von Zufall wurden zwei Beispiele eingefügt, die nach ihrer Zufälligkeit bewertet werden sollten.
- Zusätzlich wurde der Übergang von Zufall in der Mathematik zu Zufall in der Physik mit einem Zwischenschritt mit Fragen zum Zufall in der Naturwissenschaft im Allgemeinen vereinfacht.
- Außerdem wurde im überarbeiteten Interviewleitfaden nicht mehr vom  $\alpha$ -Zerfall gesprochen, sondern allgemeiner vom radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns.
- Die letzte Frage über den Ort der Teilchenspuren am Pixeldetektor wurde aus dem Interview genommen. Ziel dieser Frage war es, das Vorkommen der in der Literaturanalyse im Paragraphen 6.2 beschriebenen „Gamblers Fallacy“ zu untersuchen. Mit der Entfernung dieser Frage wurde somit auch entschieden, dass das Vorkommen dieser Vorstellung nicht weiter verfolgt wird. Um herauszufinden, welchen Einfluss diese Vorstellung auf das Verständnis von teilchenphysikalischen Phänomenen hat, wird eine weitere Studie benötigt.

Um den Redefluss noch weiter zu unterstützen, wurde das Interview umstrukturiert. Es wurde in drei Hauptthemen unterteilt. Die Fragen von der allgemeinen Einstellung zu zufälligen Phänomenen (Phase 1) über die Einstellung zu Zufall in den Naturwissenschaften (Phase 2) bis

hin zur Meinung über Zufall in der Radioaktivität als repräsentatives Thema der Teilchenphysik (Phase 3).

In Phase eins wurde untersucht, ob ein Jugendlicher von Anfang an denkt, dass es Zufall nicht gibt. Die Interviewten wurden dabei mit zwei verschiedenen Phänomenen konfrontiert, bei denen sie entscheiden sollten, ob das Phänomen zufällig ist oder nicht. Beim ersten Beispiel wurde gewürfelt. Die Jugendlichen wurden gefragt, ob sie denken, dass Würfeln zufällig ist. Beim zweiten Beispiel wurde gefragt, ob der Springblobb zufällig ist. Der Springblobb ist eine aus elastischem Material geformte hohle Halbkugel. Wenn man diese umstülpt und auf den Tisch legt, löst sich die Spannung irgendwann und die Halbkugel springt in die Luft. Die Abbildung 8-1 zeigt ein Bild eines Springblobbs im gespannten Zustand und im Grundzustand. Die Befragten konnten



**Abbildung 8-1:** Springblobb im gespannten (umgestülpten) Zustand (rechts) und im Grundzustand (links)

während dieses Teils des Interviews mit dem Würfel bzw. dem Springblobb „experimentieren“. Dies erleichterte das Gespräch über den genauen Vorgang der jeweiligen Zufallsexperimente. Es wurde zum Beispiel über die einzelnen Schritte beim Würfeln gesprochen und gefragt, ab wann würfeln zufällig ist.

In der zweiten Phase sollten die Jugendlichen entscheiden, ob es zufällige Ereignisse in den Naturwissenschaften gibt. Diese Frage basiert hauptsächlich auf den Erkenntnissen von Bühler B. und Erb R. (2010), wonach Jugendliche denken, dass es Zufall in der Natur nicht gebe (vgl. Paragraph 6.2).

Während es in Phase 2 um Naturwissenschaften im Allgemeinen geht, wird in der dritten Phase speziell in Richtung Teilchenphysik gefragt. Anhand des radioaktiven Zerfalls eines instabilen Atomkerns werden die Interviewten gezielt nach deren Einstellung zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im teilchenphysikalischen Kontext befragt. Es wurde, einerseits die Vorstellungen zu Zufall zu teilchenphysikalischen Phänomenen und andererseits die Vorstellungen zu Phänomen, die häufig im Mathematikunterricht als zufällig bezeichnet werden, untersucht. Der Fokus der Studie lag dabei darauf, ob es einen Unterschied zwischen diesen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler gibt. Alle Fragen in den unterschiedlichen Phasen werden in Tabelle 8-1 aufgezählt.

Phase 1: Allgemeine Meinung	<p>Es gibt keine einheitliche Definition von Zufall. Was heißt Zufall für dich?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzähl doch mal, wo dir Zufall im Alltag begegnet...</li> </ul> <p>Ist zum Beispiel würfeln etwas Zufälliges?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Was genau passiert beim Würfeln?</li> <li>• Was ist zufällig?</li> </ul> <p>Und bei diesem Springbobb? Ist das zufällig?</p>
Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft	<p>Gibt es Zufall in den Naturwissenschaften?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• In der Physik?</li> <li>• Wie beschreiben wir denn die Natur?</li> <li>• Ist Zufall etwas Natürliches?</li> </ul> <p>Gibt es einen Zusammenhang zwischen Zufall und Gesetzmäßigkeit?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenn ja, wie schaut ein solcher aus?</li> </ul>
Phase 3: Zufall in der Radioaktivität	<p>Ist der radioaktive Zerfall eines instabilen Atomkerns zufällig?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenn ja, was ist denn zufällig?</li> </ul> <p>Du hast doch bestimmt schon einmal was von Halbwertszeit gehört. Kannst du einen Zusammenhang zwischen Zufall und der Halbwertszeit herstellen?</p> <p>Stell dir vor, du hast einen instabilen Atomkern in einem Käfig gefangen. Es gibt eine Beobachtungsliste und jeder darf ihn eine Minute lang beobachten. Danach ist der nächste an der Reihe. In welcher Minute ist es am wahrscheinlichsten, den Zerfall zu beobachten?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie ist das, wenn du 2 Kerne hat?</li> <li>• 10?</li> <li>• Wie viele brauchst du, um etwas sagen zu können?</li> </ul>

**Tabelle 8-1:** Interviewleitfaden zur Hauptstudie unterteilt in unterschiedliche Phasen

Diese Einteilung erwies sich nicht nur bei der Befragung, sondern auch bei der Auswertung der Interviews als besonders hilfreich. Dies wird im nächsten Abschnitt besprochen.

### 8.2.5 Stichprobe

Die Hauptstudie wurde mit dem neuen Leitfaden durchgeführt. Dabei wurden 23 deutschsprachige Jugendliche aus Deutschland bzw. Österreich interviewt. Es wurden Schülerinnen und Schüler aus vier verschiedenen deutschsprachigen Besuchergruppen am CERN befragt.

Diese Gruppen waren Schulklassen, die mit einer Lehrperson oder mehreren Lehrpersonen einen Schulausflug ans CERN gemacht haben. Es wurden insgesamt sechs Gruppen zufällig aus der Besucheragenda des CERN ausgewählt. Die verantwortliche Lehrperson wurde vor deren Besuch via E-Mail kontaktiert und gefragt, ob die Gruppe sich bereiterklären würde, an einer fachdidaktischen Studie teilzunehmen. Als Belohnung für die Teilnahme an der Studie wurde ein zusätzlicher Besuchspunkt am CERN, nämlich im S'Cool LAB, einem Schülerlabor für Jugendliche, angeboten. Von den sechs kontaktierten Gruppen haben sich vier bereit erklärt, an der Studie teilzunehmen, und konnten ihren Besuch so adaptieren, dass die Durchführung einer solchen Studie zeitlich möglich war. Den Jugendlichen dieser Gruppen und deren Eltern wurde ein Brief und eine Einverständniserklärung zugesandt. In diesem Brief wurde erklärt, dass es sich bei der Studie um eine Schülervorstellungstudie handelt, bei der Vorstellungen zur Teilchenphysik erforscht werden. Weder die Lehrperson noch die Jugendlichen erfuhrten im Vorfeld, dass es sich bei der Studie um Fragen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit handelt. Das war ein sehr wichtiger Punkt in der Vorbereitung der Studie, denn ansonsten hätten sich die Jugendlichen auf das Interview vorbereiten können. Das hätte zur Folge gehabt, dass sie die Fragen, anstatt mit ihren spontanen Ideen, mit verbreitetem Wissen aus Internet, Schulbüchern oder anderer Literatur beantworten. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig, es wurde jedoch festgelegt, dass sich mindestens fünf Freiwillige pro Gruppe finden müssen, um den zusätzlichen Besuchspunkt bekommen zu können. Dies führte zu den folgenden vier Gruppen:

- (1) Bei der Besuchergruppe 1 handelte es sich hauptsächlich um Jugendliche mit „Neigungskurs Physik“, was dem im deutschsprachigen Raum mehr gebräuchlichen Leistungskurs entspricht. Die Teilnahme an der Klassenfahrt ans CERN war jedoch freiwillig und auch die Schülerinnen und Schüler, die nicht im Neigungskurs waren, durften mitfahren. Insgesamt nahmen 18 Jugendliche mit einem durchschnittlichen Alter von 17 Jahren an der Klassenfahrt teil. An der Studie haben insgesamt sieben freiwillig ausgewählte Jugendliche teilgenommen.
- (2) Bei der Besuchergruppe 2 handelte es sich um eine Schulklasse eines sozialwissenschaftlichen und eines wirtschaftswissenschaftlichen Gymnasiums mit einem zweistündigen Physikkurs, welcher keinem Leistungskurs entspricht. An der Exkursion haben insgesamt 18 Jugendliche mit einem durchschnittlichen Alter von 18 Jahren teilgenommen. Davon wurden sechs freiwillige Schülerinnen und Schüler interviewt.
- (3) Die Besuchergruppe 3 war eine Projektgruppe zum Thema Maschinenbau in der, Schülerinnen und Schüler in Zusammenarbeit mit einer Hochschule an einem Projekt arbeiten. An diesem Projekt nehmen Schülerinnen und Schüler von zwei verschiedenen Schulen teil. Teilnehmende zeichnen sich durch besonderes Engagement aus. Es

**Kapitel 8** Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

handelt sich nicht immer, jedoch häufig um Schülerinnen und Schüler im 4-stündigen Physikkurs (Leistungskurs). Die Gruppengröße umfasste 19 Jugendliche mit einem durchschnittlichen Alter von 17 Jahren. In dieser Gruppe wurden fünf Freiwillige interviewt.

- (4) Bei der Besuchergruppe 4 handelt es sich um eine Schulklasse einer österreichischen Schule mit 3-stündigem Physikkurs. In der Klasse waren insgesamt 26 Jugendliche, die durchschnittlich 18 Jahre alt waren. Insgesamt nahmen 5 freiwillig ausgewählte Schülerinnen und Schüler an der Studie teil.

Tabelle 8-2 zeigt eine Übersicht der Stichprobe.

<i>Besucher- gruppe</i>	<i>Nationali- tät</i>	<i>Gruppen- größe</i>	<i>Ø Al- ter</i>	<i>Inter- views</i>	♂	♀
<i>Gruppe 1</i>	GER	18	17	7	5	2
<i>Gruppe 2</i>	GER	18	18	6	2	4
<i>Gruppe 3</i>	GER	19	17	5	3	2
<i>Gruppe 4</i>	AT	26	18	5	2	3
<i>Gesamt</i>			17.5	23	12	11

**Tabelle 8-2:** Übersicht über die Stichprobe der Hauptstudie zu Schülervorstellungen

Die Auswahl der Schülerinnen und Schüler erfolgte am Tag der Studie auf freiwilliger Basis, somit konnten auch die Jugendlichen sich am Tag selbst noch einmal entscheiden, ob sie wirklich teilnehmen wollen oder nicht. Damit wurden sehr wahrscheinlich hauptsächlich diejenigen Schülerinnen und Schüler befragt, welche sich selbst als „gut“ in Physik einschätzen. Zusätzlich kann angenommen werden, dass sich Schulgruppen, die das CERN besuchen, durch eine Lehrperson auszeichnen, die prinzipiell engagiert ist, Teilchenphysik zu unterrichten.

### 8.2.6 Auswertemethodik

Alle Interviews wurden mit Bild und Ton aufgenommen, Wort für Wort transkribiert und mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2014) analysiert (vgl. Paragraph 2.1.2). Als Analysetechnik wurde in diesem Fall eine Mischform aus deduktiver nominaler Kategorienbildung und induktiver Kategorienbildung verwendet (vgl. Paragraph 2.1.2.1) Dabei werden aus der Literaturanalyse drei Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit aufgrund ihrer Anwendbarkeit auf teilchenphysikalische Phänomene als relevant für diese Studie angesehen (vgl. Paragraph 6.1). Diese drei Vorstellungen bilden die Kategorien, die der Analyse zugrunde liegen, und sind wie folgt definiert:

(1) **Erste Kategorie:** Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit

Code	Definition	Ankerbeispiel
Unwissenheit	Zufall wird nicht der realen Welt akzeptiert. Die Interviewten argumentieren, dass zufällige Ereignisse solche Ereignisse sind, dessen Ursprung wir nicht kennen. Die Menschheit behilft sich nur mit dem Wort „Zufall“ für etwas, das noch nicht genügend erforscht wurde.	„Für mich gibt es keinen Zufall, alles, was passiert, hat einen Grund.“

(2) **Zweite Kategorie:** Zufall und Gesetz sind nicht vereinbar

Code	Definition	Ankerbeispiel
Gesetz	In dieser Kategorie argumentieren die Interviewten, dass, wenn etwas zufällig passiert, es absolut unvorhersehbar ist und keine Aussagen darüber getroffen werden können. Diese Schülerinnen und Schüler verbinden zufällige Ereignisse nicht mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung, das Gesetz der großen Zahlen wird nicht verstanden.	„Wenn es Zufall ist, dann kann es kein Gesetz geben.“

(3) **Dritte Kategorie:** Zufall ist auf natürliche Weise gleich verteilt

Code	Definition	Ankerbeispiel
gleich verteilt	In der Kategorie 3 werden zufällige Phänomene immer als gleich verteilt angesehen. Das heißt, alle Ausgänge haben die gleiche Wahrscheinlichkeit. Viele Beispiele, die im Unterricht zur Wahrscheinlichkeitsrechnung verwendet werden, zum Beispiel würfeln, Münzwurf etc. sind gleich verteilt, während zum Beispiel beim Würfeln mit zwei Würfeln es wahrscheinlicher ist, dass man die Augensumme 7 würfelt als die Augensumme 12.	„Wenn der Würfel symmetrisch ist und alle Seiten gleich schwer, dann ist würfeln zufällig.“

Das Forschungsinteresse lag darin, ob eine oder mehrere dieser Kategorien auch im teilchenphysikalischen Kontext zu finden sind. Durchschnittlich dauerten die Interviews elf Minuten. Nach der Transkription wurden die Transkripte auf zwei unterschiedliche Arten analysiert. In der ersten Analyserunde wurden die gesamten Interviews mittels Inhaltsanalyse nach Mayring (2014) analysiert. Dabei wurde einerseits nach den oben genannten Kategorien kodiert, andererseits jedoch auch neue Kategorien gebildet. Diese neu gebildeten Kategorien werden im Abschnitt 8.3.1 bei den Ergebnissen genauer beschrieben. Insgesamt wurden sieben Kategorien gebildet. Ein ausführliches Kodiermanual ist in Tabelle 8-3 zu finden.

**Kapitel 8** | Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

Code	Definition	Ankerbeispiel
Unwissenheit	Zufall wird nicht als Teil der realen Welt akzeptiert.	„Für mich gibt es keinen Zufall, alles, was passiert, hat einen Grund.“
Gesetz	Wenn es ein Gesetz für etwas gibt, kann es nicht zufällig sein.	„Wenn es Zufall ist, dann kann es kein Gesetz geben.“
gleich verteilt	Etwas ist nur dann zufällig, wenn alle Ausgänge gleich wahrscheinlich auftreten könnten.	„Wenn der Würfel symmetrisch ist und alle Seiten gleich schwer, dann ist würfeln zufällig.“
normal verteilt	Zufällige Ereignisse sind normalverteilt (höchste Wahrscheinlichkeit in der Mitte).	„Am größten ist die Wahrscheinlichkeit in der Mitte, denn es baut sich so langsam auf und gegen Ende fällt es wieder ab.“
wahrscheinlichster Zerfallszeitpunkt	Beim Zerfall eines instabilen Atomkerns ist die Halbwertszeit die wahrscheinlichste Zerfallszeit.	„Der wahrscheinlichste Zeitpunkt des Zerfalls hängt von der Halbwertszeit ab, da, wo die ist, würde ich beobachten.“
kontinuierlich	Der Zerfall eines instabilen Atomkerns ist ein kontinuierlicher Prozess.	„Am Anfang ist ja noch am meisten vom Kern da und dann zerfällt er so langsam und gegen Ende kann man dann nichts mehr sehen.“
Zeit	Zeitabhängige Ereignisse können nicht Zufällig sein.	„Wenn er instabil ist, dann wissen wir ja, dass der Kern irgendwann zerfällt, da ist nichts zufällig.“

**Tabelle 8-3:** Kodiermanual zum Kodieren der Schülervorstellungsstudie

In Tabelle 8-4 werden alle Kategorien mit zugehöriger Anzahl an Kodierungen gezeigt.

Vorstellung	#
Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit	27
Zufall folgt keiner Gesetzmäßigkeit	32
Zufall ist gleich verteilt	7
Zufall ist normal verteilt	3
Die Halbwertszeit ist wahrscheinlichster Zerfallszeitpunkt eines instabilen Atomkerns	11
Der radioaktive Zerfall eines instabilen Atomkerns ist kontinuierlich	7
Zeit kann keine Zufallsvariable sein	8
<b>Gesamt:</b>	<b>96</b>

**Tabelle 8-4:** Übersicht über alle gebildeten Kategorien in der Schülervorstellungsstudie mit zugehöriger Anzahl an Kodierungen.

Um die zweite Forschungsfrage beantworten zu können, wurde in der zweiten Analyserunde die Strukturierung des Interviewleitfadens in die drei Phasen ausgenutzt. Es wird erforscht, ob

und wenn ja sich die Vorstellungen der Jugendlichen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit ändern, wenn sich der Kontext ändert. Mit Hilfe der drei Phasen des Interviewleitfadens konnte eine mögliche Änderung der Antworten bei der Kontextänderung untersucht werden. Zum Beispiel könnte eine Jugendliche im allgemeinen (mathematischen) Fall, zum Beispiel dem Würfeln, denken, dass es Zufall gibt. Die selbe Jugendlichen könnte jedoch denken, dass es Zufall im naturwissenschaftlichen Kontext nicht geben kann. In einem solchen Fall, wo sich die Antworten in den verschiedenen Kontexten unterscheiden, kann dies auf eine Kontextabhängigkeit hinweisen. Um herauszufinden, ob ein solcher Fall vorliegt, bekam jede Frage einen eigenen Code und die unterschiedlichen Antwortmöglichkeiten einen Subcode. In Tabelle 8-5 ist das vollständige Codesystem für die zweite Runde zu sehen. Dieses System wurde verwendet, um die Antworten einzelner Fragen zu vergleichen.

**Kapitel 8** Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

	Code	Subcode	Erklärung
Phase 1: Allgemeine Meinung	Beispiele für Zufall	Schule	Beispiel, dass häufig im Unterricht zur Erläuterung von Zufall verwendet wird (Münzwurf, Glücksspiel usw.)
		Sozial	Beispiele mit sozialem Aspekt, wie jemanden zufällig auf der Straße zu treffen
	Würfeln	Zufällig	Wenn würfeln als zufällig bewertet wird
		Nicht zufällig	Wenn würfeln als nicht zufällig bewertet wird.
		Meinungsänderung/unsicher	Die/Der Befragte ist unsicher, ob würfeln zufällig ist, oder ändert seine Meinung, wenn man fragt, was beim Würfeln zufällig sei.
	Springblobb	Zufällig	Wenn der Sprungzeitpunkt des Springblobbs als zufällig bewertet wird
Nicht zufällig		Wenn der Sprungzeitpunkt des Springblobbs als nicht zufällig bewertet wird	
Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft	Naturwissenschaft vs. Zufall	Es gibt Zufall	Es gibt Zufall in der Naturwissenschaft
		Es gibt keinen Zufall	Es gibt keinen Zufall in der Naturwissenschaft
	Zufall vs. Gesetzmäßigkeit	Ist vereinbar	Es gibt einen Zusammenhang zwischen Zufall und Gesetzmäßigkeiten
		Ist nicht vereinbar	Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Zufall und Gesetzmäßigkeiten
Phase 3: Zufall in der Radioaktivität	Radioaktiver Zerfall	Zufällig	Der Zeitpunkt des radioaktiven Zerfalls ist zufällig
		Nicht zufällig	Der Zeitpunkt des radioaktiven Zerfalls ist zufällig
	Zufall vs. Halbwertszeit	Ist vereinbar	Es gibt einen Zusammenhang zwischen Zufall und Halbwertszeit
		Ist nicht vereinbar	Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Zufall und Halbwertszeit
	Ein einzelner instabiler Atomkern in einem Käfig	Früh	Die beste Beobachtungszeit ist früh
		Mittig	Die beste Beobachtungszeit ist mittig
		Halbwertszeit	Die beste Beobachtungszeit ist die HWZ
		Spät	Die beste Beobachtungszeit ist spät
		Egal	Es gibt keine beste Beobachtungszeit
	Mehrere Atomkerne in einem Käfig	Früh	Die beste Beobachtungszeit ist früh
Mittig		Die beste Beobachtungszeit ist mittig	
Halbwertszeit		Die beste Beobachtungszeit ist die HWZ	
Spät		Die beste Beobachtungszeit ist spät	
Egal		Es gibt keine beste Beobachtungszeit	

**Tabelle 8-5:** Übersicht über Kodierungen zum Vergleich von verschiedenen Phasen des Leitfadeninterviews zur Schülervorstellungsstudie

In der Kombination von beiden Analyserunden konnte herausgefunden werden, welche Schülervorstellungen im Interview vom Kontext unabhängig geäußert wurden und welche sich bei Änderung des Kontexts geändert haben. Beide Analyserunden wurden in einem physikdidaktischen Seminar vorgestellt, in welchem die Kategorienbildung und die Einteilung von zwei Teilnehmenden an den Daten unabhängig durchgeführt und validiert werden konnten. Die Resultate werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

### 8.3 Ergebnisse der Schülervorstellungsstudie

In der ersten Analyserunde wurden die Transkripte hinsichtlich bekannter Schüler-vorstellungen analysiert. Als Anhaltspunkte wurden die drei in Paragraph 8.2.6 definierten Kategorien verwendet. Zusätzlich wurden auch, falls notwendig, neue Kategorien gebildet.

Tabelle 8-6 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Schülervorstellungsstudie. Sie beinhaltet eine Liste aller gefundenen Vorstellungen mit der Anzahl an Jugendlichen, die mindestens einmal im Laufe des Interviews so geantwortet haben, als ob sie diese Vorstellung hätten. In grün markiert sind die Vorstellungen, die sich bei Änderung des Kontextes nicht geändert haben, gelb markierte Vorstellungen haben sich mit dem Kontext geändert und weiß hinterlegte Vorstellungen sind kontextspezifisch.

Vorstellung	#
Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit	12
Zufall folgt keiner Gesetzmäßigkeit	12
Zufall ist im Allgemeinen gleich verteilt aber in der Natur normal verteilt	3
Die Halbwertszeit ist wahrscheinlichster Zerfallszeitpunkt eines instabilen Atomkerns	6
Radioaktiver Zerfall eines Atomkerns ist kontinuierlich	7
Zeit kann keine Zufallsvariable sein	5

**Tabelle 8-6:** Zusammenfassung aller gefundenen Kategorien mit Anzahl der Jugendlichen, die mindestens einmal in dieser Kategorie geantwortet haben. Grün hinterlegt sind kontextunabhängige Vorstellungen und gelb hinterlegt sind kontextabhängige Vorstellungen (weiß sind jene, die nur in einem Kontext gefragt werden können).

Diese Ergebnisse werden nun Schritt für Schritt vorgestellt.

#### 8.3.1 Analyserunde 1

Zunächst werden die Ergebnisse der Analyse zur ersten und zweiten Forschungsfrage („*Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu beobachten?*“ Und „*Welche Schülervorstellungen zu Zufall und*

## **Kapitel 8** Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

*Wahrscheinlichkeitsrechnung haben einen Einfluss auf das Verständnis teilchenphysikalischer Themen, wie zum Beispiel dem radioaktiven Zerfall?“)* vorgestellt.

### **Erste Kategorie:** Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit

Im naturwissenschaftlichen Kontext, das heißt in Phase 2 oder 3 des Interviews, haben insgesamt mehr als die Hälfte aller interviewten Jugendlichen mindestens einmal damit argumentiert, dass Zufall ein Produkt von Unwissenheit ist. Auf die Frage, ob es zufällige Ereignisse in der Natur gibt, antworteten diese Jugendlichen zum Beispiel wie folgt:

*„Nee ich würde sagen Zufall ist eher was, dass der Mensch so für sich kreiert hat, um Dinge zu erklären, die er nicht verstehen kann.“*

Mit diesem Statement sagt die Jugendliche, dass ihrer Meinung nach zufällige Ereignisse nur für den Menschen zufällig sind, weil der Mensch es nicht besser weiß. Für die Interviewten, die so argumentierten, gibt es keinen reinen Zufall in der Natur.

### **Zweite Kategorie:** Zufall und Gesetz sind nicht vereinbar

Auf die Frage, ob man Zufall und Gesetz vereinbaren kann, haben zwölf Schülerinnen und Schüler mit einem klaren „Nein“ geantwortet. Manche der elf übrigen Jugendlichen antworteten bei dieser Frage in einem sozialen Zusammenhang. Zum Beispiel sah so ein sozialer Zusammenhang zwischen Zufall und Gesetz wie folgt aus:

*„Ich glaube, wenn man irgendwie etwas beweisen kann, was nicht in Gesetzen beschrieben ist. (...) dass man das so herausgefunden hat oder, dass das so stimmt, aber für mich wär's irgendwie zufällig. Wenn ich ein Gesetz habe und ich draufkomme, das stimmt nicht.“*

Diese Jugendlichen wurden in diesem Fall als solche kategorisiert, welche einen Zusammenhang zwischen Gesetz und Zufall sehen können, obwohl sie hier einen Zusammenhang im Sinne eines sozialen Aspekts beschreiben. Sie beschreiben zum Beispiel, dass ein Gesetz durch Zufall entdeckt wird, und es wird kein Zusammenhang im Sinne der Wahrscheinlichkeitstheorie beschrieben.

Mit der zweiten Kategorie (Zufall und Gesetz sind nicht vereinbar) kodiert wurden nur Antworten, bei denen Jugendliche nur mit „Gesetzmäßigkeit“ oder nur mit „Zufall“ argumentierten. Beides gemeinsam kann nicht in einem Phänomen auftreten. Zum Beispiel antwortete ein Jugendlicher auf die Frage, ob Gesetzmäßigkeit und Zufall vereint werden können, wie folgt:

*„Ich hätte das jetzt als das Gegenteil definiert (...) Weil halt, weil gesetzmäßig das ist, so sage ich jetzt halt mal und so trifft es dann halt ein und das*

*ist vorhersehbar irgendwo und Zufall kann man halt nicht definieren. (...)  
Und das passiert einfach (lacht)."*

In diesem Zitat wird deutlich erklärt, dass Zufall auf keinen Fall mit Gesetzmäßigkeiten vereinbart werden kann. Jedoch akzeptiert der Jugendliche die Möglichkeit von reinen zufälligen Ereignissen und sagt nicht, dass sie einfach „zufällig“ genannt werden, weil wir es nicht besser wissen.

Es gibt jedoch auch häufig Überlappungen, bei denen Antworten mit beiden Kategorien („Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit“ und „Zufall und Gesetz sind nicht vereinbar“) kodiert werden können. Zum Beispiel argumentierte ein Jugendlicher, der nicht glaubt, dass es zufällige Ereignisse gibt, wie folgt:

*„Nee ich denke das kommt auch auf die Strukturformel von dem Kern an. Ich habe jetzt leider keine Chemie mehr. (lacht) eben ich denke, das lässt sich auch alles von irgendwelchen Gesetzmäßigkeiten also Halbwertszeiten und so ableiten und ich denke, dass eigentlich in der Natur nichts dem Zufall jetzt entspringt.“*

Dieser Jugendliche sagt einerseits, dass, wenn es Gesetze gibt, es nicht zufällig sein kann, andererseits bezweifelt er, dass es Zufall überhaupt gibt. Etwas später im Interview erklärte er auf die Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen Zufall und Halbwertszeit gibt, Folgendes:

*„Nee ich denke halt Halbwertszeiten entspringen auch irgendeiner Gesetzmäßigkeit. Also es hat ja jedes radioaktiv strahlende Atom eine Halbwertszeit, die auch gegeben ist, und die ist ja in einem bestimmten Rahmen konstant und ich denke, dass das auch wieder mit Struktur und so zusammenhängt von dem Element.“*

Dieser Jugendliche verwendet bei seinen Antworten konsistent eine Kombination der Kategorien 1 und 2 („Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit“ und „Zufall und Gesetz sind nicht vereinbar“). Jugendliche, die so antworten, antworten konsistent mit beiden Argumentationsmustern. Sie denken einerseits, dass es keinen Zufall in der Natur gibt, andererseits auch, dass Zufall und Gesetzmäßigkeit sich ausschließen. Man könnte annehmen, dass sie die erste Idee aus der zweiten Idee ableiten. Sie argumentieren, dass es keinen Zufall in der Natur geben kann, weil in der Natur alles Gesetzen folgt. Diese Kombination wird im nächsten Abschnitt weiter erläutert.

**Kombination von Kategorie 1 und 2** (Zufall ist künstlich)

Bereits in der Studie von Bühler B. und Erb R. (2010) zeigte sich, dass manche Jugendliche Zufall als etwas Unnatürliches empfinden, was in der Natur nicht vorkommt. Jugendliche argumentieren, dass Natur immer Naturgesetzen folgt, und wenn es ein Gesetz gibt, kann es nicht zufällig sein. Solche Argumentationsmuster konnten in den Interviews ebenfalls gefunden werden.

Es dachten zum Beispiel mehr als ein Viertel aller Befragten, dass Würfeln zufällig ist, es aber in der Natur keinen Zufall gibt. Somit schließen sie die Möglichkeit, dass es Zufall generell gibt, nicht aus. Sie denken jedoch, dass es Zufall wenn, nur in einer künstlichen Umgebung geben kann. Zum Beispiel sagten Jugendliche, die Würfeln als zufällig beschrieben haben, Folgendes:

*„Also wenn es Zufall ist, dann ist es nichts Natürliches, würde ich sagen.  
(...) Die natürlichen Sachen sind schon meistens die, die man auch erklären kann.“*

oder

*„Ich mein man kann ja voll viel einfach mit Gesetzen beschreiben. Ich weiß nicht, ob es Zufälle nicht gibt.“*

Obwohl diese Jugendliche akzeptiert, dass es Zufall, zum Beispiel beim Würfeln, gibt, bezweifelt sie, dass es Zufälle in der Naturwissenschaft gibt. Häufig schließen Jugendliche auch generell einen Zusammenhang zwischen Wissenschaft und Zufall aus, wie zum Beispiel aus diesem Statement ersichtlich wird:

*„An sich fällt mir jetzt nichts ein. Also ich denke also Naturwissenschaft, das ist halt immer also so Wissenschaft generell ist halt sowas was halt auch beweisbar ist und so und wo dann eigentlich so Zufälle dann weniger passieren“*

In diesem Fall wird nicht generell ausgeschlossen, dass es Zufälle gibt, aber sie glauben nicht, dass es Zufälle in der Wissenschaft gibt. Dabei denkt die Schülerin wahrscheinlich auch, dass Beweise etwas sind, die Gesetzmäßigkeiten folgen.

**Dritte Kategorie:** Zufall ist auf natürliche Weise gleich verteilt

Die Vorstellung, dass Zufall immer gleich verteilt sein muss, konnte zum Beispiel beim Würfeln beobachtet werden. Zum Beispiel sagte ein Schüler auf die Frage, ob Würfeln zufällig sei, das Folgende:

*„Das kann man ja nicht genau sagen, weil der ist ja nicht unbedingt ideal, also es kommt ja darauf an, ob alle Seiten gleich gewichtet sind - also so Zahlen wären eigentlich schon zufällig – eigentlich“*

Auf die Nachfrage was wäre, wenn eine Seite etwas schwerer wäre sagte der Schüler Folgendes:

*„Dann ist es ja eigentlich nicht mehr zufällig, dann wird ja die Wahrscheinlichkeit erhöht und dann.“*

Als die Interviewerin dann fragte, was denn der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Zufall ist, antwortete der Schüler wie folgt:

*„(...) ja also ich denke, wenn die Wahrscheinlichkeit immer gleich verteilt ist, dann kann man von einem Zufall reden.“*

Fasst man beide Aussagen zusammen, so kann man daraus schließen, dass für diesen Schüler Würfeln nur zufällig ist, wenn alle Seiten gleich groß sind und die Wahrscheinlichkeit auf der Seite zu landen für alle Seiten gleich groß ist. In diesem Fall wäre der Ausgang beim Werfen eines gezinkten Würfels nicht zufällig.

### 8.3.2 Analyse zur Kontextabhängigkeit

Um die zweite Forschungsfrage nach der Kontextabhängigkeit der verschiedenen Vorstellungen zu beantworten, wurden alle Daten noch einmal in einer zweiten Analyserunde untersucht. In dieser Analyserunde wurden die verschiedenen Phasen des Interviews miteinander verglichen. Die Ergebnisse werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

#### **Erste Kategorie:** Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit

Von allen befragten Schülerinnen und Schülern sagten fünf bereits nach der ersten Frage, dass es keine Zufälle gibt. Ihre Antworten wurden daher entweder in der Kategorie 1 (Zufall ist ein Produkt von Unwissenheit) oder der Kategorie 2 (Zufall und Gesetz sind nicht vereinbar) eingeordnet. Die Interpretation zufälliger Ereignisse der Schülerinnen und Schüler interpretieren zufälliger Ereignisse ändert sich während der Interviews nicht. Zum Beispiel hat ein Schüler Zufall folgendermaßen definiert:

*“Für mich ist Zufall, das für den Menschen unberechenbare. Wenn ich als Mensch mir etwas nicht berechnen kann, dann ist das dann der Zufall, dass das hier passiert.“*

Etwas später in Phase eins des Interviews, als der Schüler gefragt wurde, ob Würfeln zufällig ist, argumentierte der Schüler folgendermaßen:

## **Kapitel 8** Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

*“Es ist für uns zufällig, ja also es ist zufällig (...) es ist zufällig solange ich es nicht berechnen kann. Ich könnte aber eine Maschine bauen, ich glaube, das gibt es sogar schon, wo gewürfelt wird scheinbar zufällig aber durch genaue Berechnung - da hängen ja verschiedene Faktoren damit zusammen wie Drehung, wie stark werfen wir den Würfel, wie stark ist die Rotation, wo ist am Anfang die Position - ähm und wir machen das aber nicht, wir werfen den Würfel nur, das ist für uns in unserer Situation unberechenbar - daher ist es Zufall.“*

In Phase zwei des Interviews, wenn der Jugendliche nach Zufall in der Naturwissenschaft gefragt wurde, bleibt der Schüler bei dieser Vorstellung. Auf die Frage, ob man Zufall in der Naturwissenschaft finden kann, antwortete der Jugendliche wie folgt:

*“Ja natürlich. (...) weil wir uns selbst in der Naturwissenschaft nicht alles berechnen können, die Naturwissenschaft ist ja nicht vollends erforscht. Sonst würde es ja keine Wissenschaftler geben (lacht) und deshalb müssen die auch noch mit dem Zufall arbeiten, weil sie sich es nicht berechnen können.“*

Als er nach einem Zusammenhang zwischen Zufall und Gesetzmäßigkeit befragt wurde, sagte der Schüler das Folgende:

*„Ich denke mit Gesetzen versuchen wir den Zufall zu verhindern und dem Zufall dagegen zu arbeiten. Wir versuchen Gesetze aufzustellen, wann das springt und wann nicht (zeigt auf Springblobb) weil welche Faktoren da zusammenhängen auf welche Basis, um den Zufall möglichst kleinzuhalten.“*

In Phase drei, als er speziell nach dem radioaktiven Zerfall und dem Zusammenhang zwischen Zufall und Halbwertszeit gefragt wurden, gab er an:

*“Ähm Halbwertszeit ist ja, glaube ich, da wo die Hälfte der - dieses radioaktiven Stoffes bereits zerfallen ist. Ähm (...) das ist ja auch nur eine berechnete Zeit sozusagen - die hat sich jemand berechnet und für mich ist da auch klar ersichtlich, dass es ein System hat - wenn ich eine Zeit feststellen kann, wo die Hälfte zerfallen ist - auch wenn ich nicht weiß, warum jetzt nur die Hälfte oder warum jetzt nur ein Teil davon. Es ist schon ein Gesetz gegen den Zufall.“*

Dieser Schüler argumentiert in allen drei Phasen mit dem gleichen Muster. Der Befragte verwendet eine Kombination aus der Kategorie „Zufall als Produkt von Unwissenheit“ und „Zufall

und Gesetz sind nicht vereinbar“. Auch, wenn sich der Kontext von allgemeinen Themen hin zu physikalischen Themen bzw. Radioaktivität ändert, bleibt die Argumentation dieser Schülerinnen und Schüler gleich. Dies zeigt, dass die Vorstellungen dieser Schülerinnen und Schüler über zufällige Ereignisse kontextunabhängig sind.

**Dritte Kategorie:** Zufall ist auf natürliche Weise gleich verteilt

Während bei den ersten beiden Kategorien keine Kontextsensitivität gefunden wurde, war dies bei der Vorstellung zur Gleichverteilung anders. Zum Beispiel antwortete eine Schülerin auf die Frage „Was ist Zufall für dich?“ Folgendes:

*„Ähm. Zum Beispiel, wenn ich einen Würfel werfe und dann kommt, dann eine sechs raus dann ist das zufällig und es könnte halt genauso gut eine eins oder eine zwei oder etwas anderes rauskommen, also es kann nicht irgendwie vorhergesagt werden.“*

Bei einer detaillierteren Nachfrage zum Würfeln sagte die Schülerin:

*„Und ja also, wenn der Würfel symmetrisch ist, dann sind alle Seiten gleich groß und dann kann eben genauso gut eine vier rauskommen wie zum Beispiel eine drei oder so.“*

In der Situation des Würfeln erklärte die Schülerin, Zufall ist gleich verteilt. Die Schülerin änderte jedoch diese Vorstellung von Zufall als sie etwas später nach Zufall in der Wissenschaft gefragt wurde. Sie erklärte, dass der Ort, an dem sich Elektronen im Orbital befinden, zufällig ist, und dass bei diesem Beispiel einige Orte wahrscheinlicher sind als andere. Am Ende des Interviews gab die Schülerin an, dass der Zerfall eines Kerns zufällig ist, der Zerfall jedoch eher zur Halbwertszeit stattfindet (siehe Abschnitt "Der kontinuierliche Zerfall eines einzelnen Kerns").

### 8.3.3 Andere Ergebnisse

Bei der Analyse konnten auch noch andere interessante Vorstellungen identifiziert werden. Diese Vorstellungen werden im folgenden Abschnitt vorgestellt.

#### **Zufall und Zeit**

Besonders auffällig in den Daten war, dass 22 von 23 Schülerinnen und Schülern am Springblobb nichts Zufälliges entdecken konnten, während 13 Jugendliche Würfeln als zufällig bezeichneten. Von diesen 13 Jugendlichen sagten 12, beim Springblobb ist nichts zufällig. Ein Beispiel für die Argumentation, warum der Springblobb nicht zufällig ist, zeigt diese Aussage:

## **Kapitel 8** Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

*„Weils ja vorhersehbar ist, dass das hochspringt. (I: Ok. Wann, springt das hoch?) (...) das ist immer so ein bisschen, ja, abhängig. Aber ich glaube, dass das wahrscheinlich ungefähr immer zur gleichen Zeit hochspringt (...) ist das so abhängig vom Material (I: Mhm wenn ich jetzt 2 mit dem gleichen Material habe, springen die dann gleichzeitig hoch?) wahrscheinlich ist das auch so (...) dann vielleicht ist das ein bisschen (abhängig) wie man das so biegt. (I: Mhm aber es ist nicht zufällig?) (...) Nein für mich nicht, weil ich weiß ja, dass sie, also sie werden ja zu einem bestimmten Zeitpunkt hochspringen“*

Dieselbe Jugendliche antwortete auf die Frage, ob der Zerfall eines instabilen Atomkerns zufällig wäre, wie folgt:

*„Schwierige Frage (...) der Zerfall ja nicht zufällig, weil die Teilchen ja instabil sind. Dann ist das ja wieder so wie bei diesen Springteilen, dass das eigentlich so vorhersehbar ist, dass die zerfallen, weil sie ja in sich nicht stabil sind.“*

### **Der kontinuierliche Zerfall eines einzelnen Atomkerns**

Obwohl im Interview nicht explizit nach den Vorstellungen, wie ein einzelner instabiler Atomkern zerfällt, gefragt wurde, haben einige Jugendliche beschrieben, wie sie sich einen solchen Zerfall vorstellen. Bei der Frage, wann sie einen einzelnen instabilen Kern beobachten würde, gab eine Jugendliche zum Beispiel folgende Erklärung:

*„Hm (.) das ist eine schwere Frage, weil das kann ja eigentlich immer passieren (...) Ja es ist, ja eigentlich könnte es ja in jeder Minute zerfa(llen) - also halt in einem gewissen Maß zerfallen oder über einen längeren Zeitraum. Also ja ich glaube, es ist (.) wenn man dann also ich glaube, ich würde am Anfang hineingehen (...) weil ich - ich denke mir, vielleicht kann ich dann irgendwie was Besseres sehen, weil vielleicht auch noch mehr da ist und durch Zufall nicht etwas zerfallen ist schon vorher und vielleicht kann ich es dann besser vorstellen.“*

Diese Jugendliche beschreibt den Zerfall eines einzelnen Atomkerns als einen kontinuierlichen Prozess, bei dem der Kern über einen längeren Zeitraum zerfällt. Der Zerfall ist nicht die kurzfristige Abgabe eines Teilchens zu einem unbestimmten Zeitpunkt, sondern so eine Art langfristiger Zerfall des Kerns, der solange vonstattengeht, bis nichts mehr vom Atomkern übrig ist. Eine solche kontinuierliche Vorstellung eines einzelnen Zerfalls wurde bereits in einer Studie von Klaassen et al. (1990) beobachtet (vgl. Paragraphen 6.2.3.1)

### **Zufall ist normal verteilt**

Jugendliche, die eine kontinuierliche Vorstellung zeigen, neigen zudem dazu, den Zerfall eines einzelnen instabilen Kerns als normal verteilt zu sehen. Wenn sie beispielsweise gefragt werden, wann sie einen instabilen Kern beobachten wollen, argumentierte eine Schülerin mit dem kontinuierlichen Konzept folgendermaßen:

*„Ich glaube so in der (...) ungefähr in der Hälfte. (...) weil ich glaube, das geht schon - also das dauert schon eine gewisse Zeit, bis der eben anfängt zu zerfallen. Aber eben (...) ich glaube halt, dass es da dann erst so voran geht mit dem Zerfall und gegen Ende wird er dann schon ziemlich zerfallen sein.“*

Die Jugendliche beschreibt den Zerfall eines einzelnen Atomkerns als einen Prozess, der langsam beginnt. Sie beschreibt weiter, dass nach fortschreitender Zeit der Kern immer mehr zerfällt, bis ungefähr bei der Hälfte die maximale Zerfallsrate erreicht wird. Danach soll der Kern dann wieder weniger zerfallen. Solch ein Konzept zeigten auch Schülerinnen und Schüler mit dem diskreten Konzept. Eine Schülerin mit dem diskreten Konzept antwortete auf dieselbe Frage wie folgt:

*„Ähm irgendwann in der Mitte eher (Interviewerin: Mhm warum?) (...) Ähm also zum Beispiel, wenn jetzt, wenn man die Halbwertszeit von dem Teilchen weiß und die ist ich weiß nicht 10 Minuten, dann würde ich nach 10 Minuten reingehen weil (...) grundsätzlich dann die meisten Atome oder eben die meisten Teilchen eben nach 10 Minuten zerfallen von dieser Substanz und deswegen könnte man sagen die Wahrscheinlichkeit ist dann am größten aber natürlich könnte das eine Teilchen jetzt irgendwann zerfallen also man weiß es ja nicht deswegen.“*

Diese Jugendliche kombiniert zwei häufige Antworten in den Interviews. Sie meint zunächst, dass die Halbwertszeit in der Mitte der Beobachtungszeit liegt, obwohl die Dauer nicht definiert ist. Zweitens glaubt die Schülerin, dass die Zerfallsverteilung einer Normalverteilung mit der Halbwertszeit als Mittelwert entspricht. In der Tat war ein Viertel aller Befragten der Meinung, dass die Halbwertszeit die wahrscheinlichste Zerfallszeit ist, oder dass bei einem kontinuierlichen Zerfallsvorgang die Zerfallsrate bei der Halbwertszeit höher ist. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Halbwertszeit manchmal auch mit der mittleren Lebenszeit verwechselt wird (Dunne et al. 1998).

### 8.3.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Schülervorstellungsstudie zur Beschreibung der Situation der Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung im naturwissenschaftlichen beziehungsweise im teilchenphysikalischen Kontext werden im Folgenden kurz zusammengefasst und diskutiert.

In der Studie wurden folgende Fragen beantwortet:

- 1) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu beobachten?
- 2) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung haben einen Einfluss auf das Verständnis teilchenphysikalischer Themen, wie zum Beispiel dem radioaktiven Zerfall?
- 3) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind kontextunabhängig und welche ändern sich, wenn der Kontext geändert wird?

Die Studie zeigt, dass einige aus der Literatur bekannten Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitstheorie auch im naturwissenschaftlichen sowie im teilchenphysikalischen Kontext zu finden sind. Die Vorstellung, dass Zufall nur ein Produkt von Unwissenheit ist und vom Menschen geschaffen ist, konnte in allen Kontexten gefunden werden. Jugendliche haben diese Vorstellung beim Übergang von allgemeinen Beispielen zu naturwissenschaftlichen Beispielen bis hin zum teilchenphysikalischen Kontext nicht geändert. Ähnlich verhält es sich mit der Vorstellung, dass Zufall keinerlei Gesetzmäßigkeit folgt. Jugendliche zeigen diese Vorstellung auch im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen und teilchenphysikalischen Beispielen. Diese beiden Vorstellungen, dass Zufall ein Produkt von Unwissenheit ist und dass Zufall keiner Gesetzmäßigkeit folgt, scheinen in der Studie vom Kontext unabhängig zu sein. Die Vorstellung, dass Zufall immer gleich verteilt ist, änderte sich im Laufe der Interviews. Jugendliche, die im allgemeinen Teil, zum Beispiel beim Würfeln, mit einem Gleichverteilungsbias antworteten, bevorzugten im naturwissenschaftlichen bzw. teilchenphysikalischen Kontext eine andere Verteilung. Die Vorstellung, dass zufällige Phänomene einer Gleichverteilung unterliegen, änderte sich je nach Kontext. Dies weist auf eine Kontextsensitivität hin. Die Hypothese, dass viele Schülerinnen und Schüler den Ausgang beim Würfeln mit einem symmetrischen Würfel zufällig empfinden, jedoch nicht den Ausgang beim Werfen eines gezinkten Würfels, wird im Kapitel 12 näher erörtert.

Zusammenfassend sind die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern wie etwa „zufällige Ereignisse sind nur zufällig, weil Menschen es nicht besser wissen“ und „zufällige Ereignisse folgen keinem Gesetz“ auch im physikalischen Kontext zu finden. Beide Kategorien wurden

in allen Phasen der Interviews gefunden und wurden von Jugendlichen meistens in einer Kombination verwendet. Von den zwölf Jugendlichen, die im Rahmen der Unwissenheitsvorstellung antworteten, argumentierten sieben gleichzeitig, dass zufällige Ereignisse keinen Gesetzmäßigkeiten folgen. Die Vorstellung einer natürlichen Gleichverteilung wurde bei der Frage nach der Zufälligkeit im Allgemeinen festgestellt, in drei Fällen jedoch änderten die Jugendlichen diese Vorstellung im naturwissenschaftlichen Kontext zu einer Vorstellung einer natürlichen Normalverteilung.

Neben den Vorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall wurden auch Vorstellungen spezifisch zum Zerfall eines instabilen Atomkerns erhoben. Eine Vorstellung, die bereits von Klaassen et al. (1990) berichtet wurde, konnte auch in dieser Studie gefunden werden. Hierbei handelt es sich um die Vorstellung einer Art langfristigen Zerfalls des Kerns der so lange andauert, bis nichts mehr vom Atom übrig ist, und eben nicht, dass beim Zerfall eines instabilen Atomkerns spontan ein Teilchen zu einem unbestimmten Zeitpunkt abgegeben wird. Diese Vorstellung könnte einen sprachlichen Hintergrund haben. Das Wort „Zerfall“ wird umgangssprachlich dafür verwendet, dass etwas in seine Einzelteile zerlegt wird, und dies kann zu der Vorstellung führen, dass die emittierten Teilchen beim radioaktiven Zerfall Bruchteile des Kerns sind (Woithe et al. 2017). Außerdem könnte das Wort „Zerfall“ auch zur Vorstellung führen, dass der Atomkern solange Teile von sich abgibt, bis nichts mehr von ihm übrig ist (Woithe et al. 2017).

Zusätzlich zu den aus der Literatur bekannten Vorstellungen wurden auch andere Vorstellungen enthüllt:

- Zeitabhängige Ereignisse sind nicht zufällig.
- Der radioaktive Zerfall ist ein kontinuierlicher Prozess.
- In der Natur ist Zufall normal verteilt.
- Die Halbwertszeit ist der wahrscheinlichste Zerfallszeitpunkt.

Diese Vorstellungen erfordern detailliertere Studien. Die Interviewdaten induzierten die Idee der Autorin, dass Jugendliche Probleme haben könnten, Zeit und Zufall miteinander zu vereinbaren. Obwohl es auch sein könnte, dass Jugendliche aufgrund der Gleichverteilungsvorstellung des Zufalls den Würfel als Zufallsexperiment sehen, jedoch den Springbloß nicht, konnte in den Antworten der Jugendlichen zum Würfeln keine Hinweise darauf gefunden werden. Zusätzlich könnte es auch sein, dass Jugendliche Würfeln zufällig finden, weil der Würfel im Schulunterricht als das beliebteste Zufallsinstrument gilt. Um das Problem mit Zufall und Zeit besser zu verstehen, ist eine weitere Studie notwendig. In Kapitel 12 wird eine solche Studie vorgestellt. Diese quantitative Schülervorstellungsstudie untersucht einerseits<sup>6</sup>, ob Jugendliche tatsächlich Probleme damit haben, zufällige Ereignisse mit einer Zeitkomponente

## **Kapitel 8** Erhebung von Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit im Kontext der Teilchenphysik

als weniger zufällig anzusehen als andere Ereignisse, und andererseits, wie Jugendliche den radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns beschreiben würden.

Darüber hinaus wurde gezeigt, dass für viele Jugendliche die Halbwertszeit der wahrscheinlichste Zerfallszeitpunkt ist. Eine mögliche Erklärung könnte der Bezug zum deutschen Wort „mittlere Lebensdauer“ sein. Auch wenn diese Erklärung für die Autorin plausibel erscheint, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Studie wurde mit Gruppen durchgeführt, die das CERN besuchten. Damit kann angenommen werden, dass sich die Physiklehrperson tendenziell engagiert, Teilchenphysik in der Schule zu unterrichten. Außerdem handelt es sich bei den Jugendlichen zu meist um solche, die sich für Physik interessieren und möglicherweise schon einen naturwissenschaftlichen Schulzweig gewählt haben. Durch das Auswahlverfahren kann zusätzlich angenommen werden, dass sich zu den Interviews nur diejenigen freiwillig gemeldet haben, die sich selbst als „gut“ in Teilchenphysik oder in Physik allgemein ansehen.

Obwohl die Stichprobe sich aus eher naturwissenschaftlich interessierten Jugendlichen zusammensetzt, werden die aus der Mathematik bekannten Vorstellungen auch im naturwissenschaftlichen Kontext gefunden. Die Vorstellungen weisen keine Merkmale auf, dass die Jugendlichen sie aufgrund eines fortgeschrittenen Physikwissens kreiert haben. Die Interviewfragen wurden nach der Pilotstudie dahingehend geändert, dass jeder 16- bis 19-jährige Jugendliche die Fragen ohne zusätzliches Wissen zur Teilchenphysik beantworten kann.

Zusammenfassend zeigen die Interviews, dass Schülerinnen und Schüler Vorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung auch im naturwissenschaftlichen Kontext äußern. Die Quellen dieser Vorstellungen wurden bisher noch nicht diskutiert. Mögliche Quellen werden im nächsten Abschnitt erörtert.

## 9 Analyse der Lehrpläne der Sekundarstufe 1 in deutschen Gymnasien

### 9.1 Einleitung

Wie im Paragraphen 6.1 diskutiert, können Schülervorstellungen aus dem Unterricht stammen, aus der Sprache oder aus Medien und Alltagserfahrungen. Haben sich die Jugendlichen mit dem erforschten Thema noch nicht auseinandergesetzt können sich Schülervorstellungen ad-hoc während des Interviews bilden. Einen Hinweis ob sich Jugendliche mit einem Thema auseinandergesetzt haben, kann der Lehrplan geben. Denn wurde das Thema im Unterricht schon besprochen, haben die Jugendliche wahrscheinlich schon vor dem Interview eine Vorstellung dazu. In diesem Kapitel wird analysiert, ob Jugendlichen sich im Unterricht schon mit Radioaktivität im Allgemeinen und Radioaktivität im Zusammenhang mit Zufall im Besonderen auseinandergesetzt haben.

### 9.2 Evaluation der Lehrplananalyse

#### 9.2.1 Forschungsinteresse

In der Schülervorstellungstudie, welche in Kapitel 8 erläutert wurde, wurden 16- bis 19-jährige Schülerinnen und Schüler deutschsprachiger Gymnasien befragt. Es wurden neben Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit auch Vorstellungen zur Radioaktivität erhoben. Dabei wurde entdeckt, dass Vorstellungen zur Wahrscheinlichkeitstheorie auch im Kontext der Radioaktivität geäußert werden. Die Quellen dieser Vorstellungen sind noch nicht geklärt. Sie könnten einerseits ad-hoc im Interview gebildet werden, andererseits könnten sich die Jugendlichen schon im Vorhinein Gedanken über Radioaktivität gemacht haben und dabei die Vorstellungen gebildet haben. Eine mögliche Quelle für solche schon im Vorhinein gebildeten Vorstellungen ist der Unterricht. Für eine unterrichtliche Schülervorstellung muss das Thema bereits in der Schule unterrichtet worden sein. Einen Anhaltspunkt dafür, welche Themen in deutschen Gymnasium unterrichtet werden, bieten Lehrpläne.

In dieser Studie werden Lehrpläne der Sekundarstufe 1 (bis zur Jahrgangsstufe 10) der deutschen Gymnasien analysiert, um die folgenden Fragen zu klären:

- Wann wird an deutschen Gymnasien das Thema Radioaktivität eingeführt?
- Welche Inhalte zur Radioaktivität werden besprochen und wird ein Zusammenhang zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung hergestellt?

Um diese Fragen zu klären, wird zunächst im nächsten Abschnitt das Analysematerial definiert.

### 9.2.2 Analysematerial

In Deutschland sind die Kultusministerien der jeweiligen Bundesländer für die Lehrpläne oder auch Bildungspläne zuständig. Dies hat zur Folge, dass es nicht nur für jedes Bundesland, sondern auch für jeden Schultyp in diesem Bundesland einen eigenen Lehrplan gibt. Für die Sekundarstufe 1 der Gymnasien gibt es bei 16 Bundesländern 15 unterschiedliche Lehrpläne. Nur Berlin und Brandenburg konnten sich auf einen gemeinsamen Lehrplan einigen. In der Lehrplan-Datenbank der Kultusministerkonferenz können die Lehrpläne aller Bundesländer und Schularten eingesehen werden.

In dieser Recherche wurden alle Lehrpläne der Sekundarstufe 1 (bis zur Jahrgangsstufe 10) der Gymnasien eingesehen und es wurde auf dieser Grundlage herausgefunden, wann Radioaktivität jeweils eingeführt wird. Zusätzlich wurde evaluiert, welche Inhalte zur Radioaktivität besprochen werden und ob ein Zusammenhang zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung hergestellt wird.

### 9.2.3 Ergebnisse zu Forschungsinteresse 1

Das Thema Radioaktivität ist in 15 Bundesländern bis zum Ende der Jahrgangsstufe 10 in den Lehrplänen verankert. Die einzige Ausnahme ist das Bundesland Sachsen. In diesem Lehrplan ist Radioaktivität in der Jahrgangsstufe 9 nur als Wahlpflichtfach gelistet. Wahlpflichtfach heißt, dass aus drei verschiedenen Themenbereichen gewählt werden kann. Neben dem Thema „Natürliche Radioaktivität“ ist in der Stufe 9 auch „Energie von Wind und Sonne“ und „Bewegung auf gekrümmten Bahnen“ gelistet. In Sachsen ist Radioaktivität erst verpflichtend im Grundkurs der Jahrgangsstufe 12 verankert.

Die Themenbereiche, in denen Radioaktivität erwähnt wird, sind in vielen Lehrplänen ähnlich genannt. In sieben Lehrplänen (Bayern, Berlin-Brandenburg, Bremen, Niedersachsen, NRW, Saarland und Sachsen-Anhalt) sind die Themenbereiche mit Kernphysik verbunden, wie zum Beispiel „Kernenergie und Radioaktivität“ (Berlin – Brandenburg, Bremen, NRW, Saarland und Sachsen-Anhalt) oder „Atom- und Kernphysik“ (Niedersachsen). Verwandt dazu wird im Lehrplan vom Bundesland Rheinland-Pfalz der Themenbereich „Atombau und ionisierende Strahlung“ genannt. In Baden-Württemberg und Hamburg ist Radioaktivität im Themenbereich „Materie“ eingebettet, während Thüringen der Radioaktivität einen eigenen Themenbereich zuspricht. In drei Bundesländern, nämlich Hessen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein, deutet der Themenbereich auf den sozialen Aspekt von ionisierender Strahlung hin, nämlich welche Verantwortung Physikerinnen und Physiker gegenüber der Öffentlichkeit besitzen. In Tabelle 9-1 ist eine Übersicht der Themenbereiche mit jeweiligem Jahrgang und Bundesland zu finden.

BUNDESLAND	JAHRGANG	THEMENBEREICH
<b>BADEN-WÜRTTEMBERG</b>	10	Struktur der Materie
<b>BAYERN</b>	10	Kernphysik
<b>BERLIN/BRANDENBURG</b>	10	Radioaktivität und Kernenergie
<b>BREMEN</b>	9./10.	Radioaktivität und Kernenergie
<b>HAMBURG</b>	8./9.	Licht und Materie
<b>HESSEN</b>	9./10.	Physik in der Verantwortung
<b>MECKLENBURG - VORPOM- MERN</b>	7.-9.	Radioaktivität und Umwelt
<b>NIEDERSACHSEN</b>	9./10	Atom- und Kernphysik
<b>NORDRHEIN-WESTFALEN</b>	9.	Radioaktivität und Kernenergie
<b>RHEINLAND-PFALZ</b>	8./9	Atombau und ionisierende Strahlung
<b>SAARLAND</b>	10	Kernenergie und Radioaktivität
<b>SACHSEN</b>	nicht verpflichtend	Wahlpflicht: Natürliche Radioaktivität
<b>SACHSEN-ANHALT</b>	9	Radioaktivität und Kernenergie
<b>SCHLESWIG-HOLSTEIN</b>	10	Kernenergie - Verantwortung, Chancen, Risiken
<b>THÜRINGEN</b>	9./10.	Radioaktivität

**Tabelle 9-1:** Übersicht über Themenbereiche und Jahrgänge, in denen Radioaktivität in gymnasialen deutschen Lehrplänen bis zur Jahrgangsstufe 10 enthalten ist (Bundesland spezifisch)

#### 9.2.4 Auswertemethodik

Diese Themenbereiche wurden nun in Bezug auf deren Inhalt analysiert. Dabei wurde hauptsächlich auf die Hinweise für den Unterricht und die vorgeschlagenen Inhalte geachtet. Die Analyse erfolgte gemäß der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2014) (vgl. Paragraph 2.1.2.1). Bei einer ersten Durchsicht wurden zunächst Textstellen markiert, die sich auf das Thema Radioaktivität beziehen. Diese Textstellen wurden nun von der Autorin inhaltlich sinn- gemäß zusammengefasst. Textstellen, die keine neuen Informationen beinhalteten, wurden gestrichen. Nach diesem Verfahren wurden die Textstellen solange generalisiert, bis die folgenden Kategorien gebildet wurden (vgl. Zusammenfassung nach Mayring (2014) in Paragraph 2.1.2.1).

### 1. Kern- und Teilchenphysik:

Definition	Ankerbeispiel
Diese Kategorie beinhaltet alle allgemeinen Aspekte zur Teilchenphysik bzw. Kernphysik, ohne Radioaktivität als Kontext. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Themen zum Aufbau des Atoms oder zum Aufbau der Materie, jedoch nicht um Kernzerfälle oder Strahlungsarten als Teilchen.	„Bau der Atome: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kern und Hülle</li> <li>• Protonen und Neutronen als Kernbausteine</li> <li>• Neutronenzahl, Kernladungszahl und Massenzahl: <math>A = Z + N</math></li> <li>• Isotope</li> <li>• Größenverhältnisse im Atom“</li> </ul> (Lehrplan: Mecklenburg-Vorpommern)

### 2. Radioaktivität und Strahlung

In dieser Kategorie sind alle qualitativen Themen über Radioaktivität oder ionisierende Strahlung enthalten. Die folgenden Themen bilden Unterkategorien der Kategorie Radioaktivität und Strahlung:

#### a. Strahlungsarten und Eigenschaften (SA)

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Unterkategorie sind Textstellen kategorisiert, bei denen die Strahlungsarten und deren Eigenschaften erwähnt werden (inklusive dosimetrische Größen, Wechselwirkung, Hintergrundstrahlung und Nachweismöglichkeiten).	„unterscheiden $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und beschreiben ihre Entstehung modellhaft“ (Lehrplan Niedersachsen)

#### b. Anwendung (A)

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Unterkategorie werden Textstellen kategorisiert, die sich mit Anwendungen beschäftigen, z.B. in der Medizin oder bei Kernkraftwerken.	„Anwendung radioaktiver Strahlung: Bestrahlungsverfahren, Durchstrahlungsverfahren, Markierungsverfahren“ (Lehrplan Sachsen Anhalt)

c. Zerfallsprozess (ZP)

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Unterkategorie werden Textstellen kategorisiert, die sich auf den Zerfallsprozess beziehen, wie zum Beispiel die Beschreibung des Zerfallsprozesses, die qualitative Beschreibung von Zerfallsreihen oder Kettenreaktionen.	„Darstellung radioaktiver Zerfallsprozesse“ (Lehrplan Hessen)

3. Gesetze

Hierbei handelt es sich um die Kategorie der quantitativen Themen zur Radioaktivität. Unterkategorien dieser Kategorie bilden die folgenden:

a. Absorptionsgesetz (AG)

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Unterkategorie befinden sich Textstellen, in denen das Absorptionsgesetz erwähnt wird.	„Abschirmung von Strahlung, Absorptionsgesetz“ (Lehrplan Schleswig-Holstein)

b. Zerfallsgesetz bzw. Halbwertszeit (ZG)

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Unterkategorie befinden sich Textstellen, in denen das Zerfallsgesetz und/oder die Halbwertszeit erwähnt werden.	„N(t)- bzw. m(t)- Diagramm eines radioaktiven Präparats, Halbwertszeit“ (Lehrplan Mecklenburg-Vorpommern)

c. Äquivalenz von Energie und Masse ( $E \propto m$ )

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Unterkategorie befinden sich Textstellen, in denen die Energie-Masse-Äquivalenz erwähnt wird.	„Äquivalenz von Masse und Energie, Berechnung der frei werdenden Energie beim $\alpha$ -Zerfall und bei einem einfachen Kernprozess“ (Lehrplan Bayern)

#### 4. Geschichte

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Kategorie sind Textstellen enthalten, die die Geschichte der Radioaktivität behandeln. Dabei handelt es sich zum Beispiel um die Erwähnung berühmter Persönlichkeiten.	„Entdeckung der Radioaktivität“ (Lehrplan Sachsen)

#### 5. Soziale Aspekte

Definition	Ankerbeispiel
In dieser Kategorie sind alle sozialen Aspekte wie zum Beispiel Risiken und Nutzen der Radioaktivität enthalten.	„Konsequenzen der Nutzung physikalischer Forschungsergebnisse“ (Lehrplan Hessen)

#### 6. Stochastische Aspekte

Definition	Ankerbeispiel
Um herauszufinden, ob in den Lehrplänen ein Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitsrechnung hergestellt wird, ist diese Kategorie gebildet worden. Es werden die Textteile kategorisiert, die konkret die wahrscheinlichkeitstheoretische Natur des radioaktiven Zerfalls ansprechen.	„Das Zerfallsgesetz lässt sich mit einem Würfelexperiment plausibel machen. Die Experimente mit und ohne Zurücklegen liefern im Vergleich mit der Messung das richtige Modell des Kernzerfalls.“ (Lehrplan Schleswig-Holstein)

Nachdem diese Kategorien gebildet wurden, wurden die Lehrpläne erneut analysiert und die entsprechenden Textteile den Kategorien zugeordnet.

#### 9.2.5 Ergebnisse zu Forschungsinteresse 2

In Tabelle 9-2 ist eine Übersicht der Inhaltsanalyse der Lehrpläne der deutschen Bundesländer dargestellt.

Kodierungssystem	Bundesländer														
		Baden-Württemberg	Bayern	Berlin/Brandenburg	Bremen	Hamburg	Hessen	Mecklenburg-Vorpommern	Niedersachsen	Nordrhein-Westfalen	Rheinland-Pfalz	Saarland	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Schleswig-Holstein
Kern- bzw. Teilchenphysik		X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X
Radioaktivität und Strahlung	SA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	X		X		X		X				X	X		X
	ZP	X				X	X	X	X		X			X	X
Gesetze	AG													X	
	ZG	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
	E $\propto$ m		X												
Geschichte						X	X					X		X	
Soziale Aspekte		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
Stochastische Aspekte					X			X		X	X		X	X	

**Tabelle 9-2:** Ergebnisse der Inhaltsanalyse der Lehrpläne

Diese Analyse ergab, dass alle Lehrpläne empfehlen, die Strahlungsarten ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - Strahlung) und deren Eigenschaften im gymnasialen Unterricht der Sekundarstufe 1 zu behandeln. Der teilchenphysikalische Aspekt wird dabei jedoch in vielen Lehrplänen nicht explizit angesprochen. Die qualitative Erklärung des Zerfallsprozesses wird nur in neun Lehrplänen erwähnt. Der physikalische Aspekt der Anwendung von ionisierender Strahlung, wie zum Beispiel in der Medizin, wird nur in sieben Lehrplänen beschrieben.

Diese Anwendungen werden häufig unter ihrem sozialen Aspekt betrachtet. Eine solche Betrachtung von Chancen und Risiken von ionisierender Strahlung wird nur in Rheinland-Pfalz und im Saarland nicht explizit im Lehrplan erwähnt.

Die Mathematisierung verschiedener physikalischer Themen ist in allen Lehrplänen eine der Hauptkompetenzen, welche Jugendliche im Unterricht erwerben sollen. Im Hinblick auf Radioaktivität werden, mit Ausnahme des sächsischen Lehrplans, das Unterrichten des Zerfallsgesetzes und der Halbwertszeit in allen Lehrplänen empfohlen. Jedoch sollte der stochastische Aspekt des radioaktiven Zerfalls laut den Lehrplänen nur in den Bundesländern Bremen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt und

## Kapitel 9 | Analyse der Lehrpläne der Sekundarstufe 1 in deutschen Gymnasien

Schleswig-Holstein unterrichtet werden. Ein konkreter Hinweis zum Thema Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung im Mathematikunterricht wird jedoch nur im Lehrplan von Sachsen-Anhalt gegeben:

*„Möglichkeiten zur Abstimmung im Schuljahrgang 9: Mathematik: Daten und Zufall (Lage- und Streumaße von Häufigkeitsverteilungen ermitteln und interpretieren).“ (Lehrplan Sachsen-Anhalt)*

In anderen Lehrplänen wird ein Hinweis zur Verlinkung mit dem Thema „Exponentialfunktion“ aus dem Mathematikunterricht gegeben.

### 9.2.6 Diskussion

Die Lehrplananalyse zeigt, dass fast alle Jugendlichen in deutschen Gymnasien bis zu einem Alter von 16 Jahren das Thema Radioaktivität im Unterricht besprochen haben sollten. Die einzige Ausnahme bildet das Bundesland Sachsen. Dort ist es erst in der 12. Jahrgangsstufe im Pflichtunterricht empfohlen. Es ist demnach durchaus möglich, dass Schülervorstellungen zur Radioaktivität, wie zum Beispiel der kontinuierliche Zerfall eines Atomkerns (vgl. Paragraph 6.2.3.2), aus dem Unterricht entstanden sind.

Die inhaltlichen Hinweise hinsichtlich wie und wie ausführlich das Thema unterrichtet werden sollte, sind in den Bundesländern unterschiedlich. Der soziale Aspekt vom Einsatz ionisierender Strahlung zur Energiegewinnung oder zu medizinischen Zwecken steht in vielen Bundesländern im Vordergrund. Der stochastische Aspekt wird in vielen Lehrplänen gar nicht oder nur sehr nebensächlich erwähnt. Nach Meinung der Autorin ist jedoch gerade dieser stochastische Aspekt für das konzeptuelle Verständnis von Radioaktivität von besonderer Bedeutung. Denn die Schülervorstellungsstudie (vgl. Kapitel 8) zeigt, dass Jugendliche, wenn sie nach stochastischen Aspekten der Radioaktivität befragt werden, Schülervorstellungen der Wahrscheinlichkeitstheorie auch im Kontext der Radioaktivität äußern. Die Verknüpfung scheint jedoch eher ad-hoc zu passieren, da die Lehrpläne eine Verknüpfung der beiden Themen nicht vorsehen.

Es ist jedoch zu beachten, dass Lehrpläne nur bedingt Aussagen über den Regelunterricht treffen, denn sie bilden nur einen Rahmen, an dem sich Lehrpersonen orientieren sollen.

## 10 Zwischenfazit

Bisher wurden mehrere Studien ausführlich dargestellt und deren Ergebnisse diskutiert. Dieses Kapitel dient als kurze Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse. Deren Einfluss auf die Lehr-Lern-Einheit wird im Kapitel 11 dargelegt.

Bei der Klärung des fachlichen Hintergrunds wurde festgestellt, dass Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall in vielen Themen der Physik eine große Rolle spielen. In einer intensiven Literaturrecherche wurden Zusammenhänge zwischen Schülervorstellungen zu physikalischen Themen und Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung festgestellt. Um einem Überblick über die relevanten Themen der Physik im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitsrechnung zu finden, wurde eine Befragung von Expertinnen und Experten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen, dass Wahrscheinlichkeitstheorie eine große Rolle in verschiedenen Themenbereichen der Physik spielen. Insbesondere zeigte sich, dass teilchenphysikalische Phänomene, wie zum Beispiel die Radioaktivität, wahrscheinlichkeitstheoretischer Natur sind. Literatur zu Schülervorstellungen zeigt, dass ein Zusammenhang zwischen Schülervorstellungen zu Messprozessen oder Quantenphysik und Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeitstheorie besteht. In der Teilchenphysik wurden jedoch noch kein solchen Zusammenhang gefunden. Es ist bekannt, dass es zahlreichen Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall gibt, sowie viele Verständnisprobleme in der Teilchenphysik zum Beispiel im Zusammenhang mit Radioaktivität. Es wird vermutet, dass diese Verständnisprobleme zusammenhängen könnten.

In einer Interviewstudie wurde analysiert, ob Jugendlichen die bekannten Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung auch im naturwissenschaftlichen Kontext äußern und welche einen Einfluss auf das Verständnis teilchenphysikalischer Themen, wie zum Beispiel dem radioaktiven Zerfall haben. Es wurde herausgefunden, dass vor allem die Vorstellungen, dass Zufall nur existiert, weil wir Menschen es nicht besser wissen und Zufall keinen Gesetzmäßigkeiten folgen kann, im naturwissenschaftlichen Kontext auch auftreten. Dabei verwenden Jugendlichen häufig Argumentationsmuster, die beide Vorstellungen vereint. Sie denken, in den Naturwissenschaften folgt alles den Naturgesetzen, daher kann es in den Naturwissenschaften keinen Zufall geben. Weiter glauben sie, dass Wissenschaftler die Instrumente der Wahrscheinlichkeitsrechnung nur deshalb verwenden, da sie dem Phänomen noch nicht vollständig auf den Grund gekommen sind. Andere Vorstellungen wie zum Beispiel der Gleichverteilungsbias ändern sich, wenn der Kontext vom mathematischen zum naturwissenschaftlichen geändert wird. Es wurde festgestellt, dass Jugendliche bei teilchenphysikalischem Thema häufig mit einer Verteilung argumentieren bei der die Wahrscheinlichkeit in

## Kapitel 10|Zwischenfazit

der Mitte sein Maximum erreicht. Dies weist auf einem Normalverteilungsbias im naturwissenschaftlichen Kontext hin. Zusätzlich wurde herausgefunden, dass Jugendlichen Schwierigkeiten haben die Zeitabhängigkeit der Zufallsvariable zu verstehen und sie tendierten dazu Beispiele wie den radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns, als nicht zufällig zu betrachten. Es schien, als würden Beispiele mit Zeitabhängigkeit als eher nicht zufällig betrachtet.

Diese Ergebnisse geben einige aufschlussreiche Hinweise wie eine Lehr-Lern-Einheit zu zufallsbasierten Ereignissen, wie der Umwandlung instabiler Atomkerne, konzipiert werden sollte. Es erscheint notwendig zu sein solche Lehr- und Lernsequenzen so aufzubauen, dass das Verständnis von Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall gefördert wird. Jugendliche scheinen zu akzeptieren, dass Würfeln zufällig ist, jedoch finden sie es schwierig zu verstehen, dass es auch Beispiele in der Natur, also sozusagen in der realen Welt, gibt, die zufällig sind. Anhand von Beispielen aus der realen Welt, anstatt einen Würfel zu würfeln oder eine Münze zu werfen, kommen Schülerinnen und Schüler mit Phänomenen in Kontakt, für die selbst Forscherinnen und Forscher nur Wahrscheinlichkeiten berechnen können. Solche Lehreinheiten, bei denen echte Zufallsereignisse diskutiert werden, können sowohl das Verständnis der Wahrscheinlichkeitstheorie als auch die Theorie der teilchenphysikalischen Prozesse, die als Beispiele verwendet werden, fördern. Die Entwicklung und Evaluation einer solchen Lehr-Lern-Einheit wird im Kapitel 11 besprochen.

Alle Ergebnisse der bisherigen Studien dienen als Basis für die entwickelte Lehr-Lern-Einheit. Im nächsten Kapitel wird dies näher erörtert.





## D. KONZEPTION UND ENTWICKLUNG DER LEHR-LERN-EINHEIT



# 11 Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

## 11.1 Didaktische Grundüberlegungen

### 11.1.1 Design-Based Research

Die fachdidaktische Forschung wird häufiger kritisiert, dass sie nur wenige Anwendungsmöglichkeiten in der Schulpraxis bietet (Reinmann 2005). In der Grundlagenforschung möchte man gewisse Variablen, wie zum Beispiel kognitive Aktivierung, messen und dies am besten ohne Einfluss anderer Faktoren. Forschungsumgebungen für eine solche Erhebung sind daher starr und ihr Rahmen ist im Vorhinein sehr festgelegt. Im Schulalltag kann ein solcher Rahmen mit festen Variablen nur selten ermöglicht werden. Der Wunsch nach immer genaueren Erhebungen bestimmter Variablen führt dazu, dass sich die Forschung immer weiter vom Schulalltag entfernt (Bereiter 2002). Viele Lehrerinnen und Lehrer empfinden die in der Forschung entwickelten Konzepte als trivial und sehen die Anwendbarkeit im Unterricht nicht (Wilhelm und Hopf 2014). Dies heißt jedoch nicht, dass sich die herkömmlichen Methoden der fachdidaktischen Forschung nicht zur Erhebung bestimmter Sachverhalte eignen, und es soll keine Kritik an ihnen geübt werden. Vielmehr möchte man darauf hinweisen, dass es neben der Grundlagenforschung einen einfachen Weg zur Implementierung des neu gewonnenen Wissens in den Unterricht geben sollte (Wiesner et al. 2010).

Beim Design-Based Research Ansatz verbindet man die Grundlagenforschung mit einer solchen Implementierung. Der Ansatz des Design-Based Research zeigt schon seit einigen Jahren ein großes Potential, die Kluft zwischen fachdidaktischer Forschung und Schulpraxis zu verkleinern. Dieser geht im Gegensatz von herkömmlichen Forschungsansätzen von der Unterrichtssituation an sich aus (Wilhelm und Hopf 2014).. Dabei wird ein neues Konzept in mehreren Schritten entwickelt. Ein erstes vorläufiges Unterrichtskonzept, im weiteren „Design“ genannt, wird zunächst aufgrund von Designprinzipien erstellt. Dieses Design wird nun getestet. Dabei bietet sich zum Beispiel die Methode der Akzeptanzbefragung an, welche im Paragraphen 11.2.2 erläutert wird. Je nachdem, wie erfolgreich das Design im Test abschneidet, wird das Design mehr oder weniger überarbeitet. Dieser Prozess wird nun fortlaufend wiederholt bis ein erfolgreiches Design oder ein Unterrichtskonzept, das zu einem besseren Verständnis eines bestimmten Sachverhalts führt, entworfen wurde.

### 11.1.2 Studie als Design-Based-Research Projekt

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Schülervorstellungsstudie wird die Annahme getroffen, dass Jugendliche, wenn sie grundlegende Aspekte der Wahrscheinlichkeitstheorie verstehen, auch die Umwandlung eines Atomkerns verstehen. Die vordergründige Frage, die sich bei der Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit stellt, ist die Folgende:

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Mit welchen Interventionsschritten gelingt es, dass Jugendliche Schlüsselideen der Wahrscheinlichkeitstheorie sowie der Radioaktivität akzeptieren und anwenden können?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde auf Basis der Erkenntnisse aus der Schülervorstellungsstudie ein erstes Design für die Lehr-Lern-Einheit entworfen. Dieses Design wird mit Jugendlichen zwischen 16 und 19 Jahren durchgeführt und getestet. Es wird untersucht, welche Erklärungen von Jugendlichen akzeptiert werden. Wird eine Erklärung von den Jugendlichen noch nicht akzeptiert, werden Änderungen im Design vorgenommen. Die dadurch entstandene neue Lehr-Lern-Einheit wird wiederum mit Jugendlichen getestet und evaluiert, solange, bis die Jugendlichen die Erklärung vollkommen akzeptieren und anwenden können. Die iterative Erarbeitung der Lehr-Lern-Einheit nennt man auch Design-Based Research Projekt. Viele physikdidaktische Arbeiten haben mit einer solchen Vorgehensweise eine Lehr-Lern-Einheit entwickelt (Wiener et al. 2015, Burde 2018). Daher wurde entschieden, die Lehr-Lern-Einheit zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung zum Thema „Radioaktivität“ als Design-Based Research Projekt zu entwickeln.

Im nächsten Paragraphen werden die Grundüberlegungen, die zum ersten Design der Lehr-Lern-Einheit geführt haben, besprochen.

### 11.1.3 Grundüberlegungen zum Design der Lehr-Lern-Einheit

Das Design der Lehr-Lern-Einheit orientiert sich an den in den vorangegangenen Studien (vgl. Kapitel 8)) gefunden Vorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Naturwissenschaft. Dabei werden folgende Punkte besonders beachtet:

#### 1. Zufällige Ereignisse mit verschiedenen Verteilungen und Zeitabhängigkeit

Die Schülervorstellungsstudie hat gezeigt, dass Jugendliche Probleme haben, verschiedene Verteilungen bei zufälligen Ereignissen zu unterscheiden. Zum Beispiel wird zufälligen Ereignissen aus der Naturwissenschaft gerne eine Verteilung mit Ähnlichkeit zur Normalverteilung (Mittelwert entspricht Mitte möglicher Ausgänge) zugesprochen. Zusätzlich erscheinen Ereignisse mit kontinuierlicher Zufallsvariable oder solche, die abhängig von der Zeit sind, besondere Schwierigkeiten zu bereiten. Daher ist für eine Lehr-Lern-Einheit zur Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall besonders wichtig, dass die Unterschiede und Gleichheit von verschiedenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen sowie die zeitliche Entwicklung solcher Verteilungen besprochen werden.

### 2. Zufall in Modellen und Experimenten

In vielen Lehr-Lern-Einheiten zu Wahrscheinlichkeit und Zufall werden Beispiele mit Modell Charakter verwendet. Obwohl mikroskopisch betrachtet alles zufällig ist, ist zum Beispiel Würfeln makroskopisch betrachtet mit Newton'schen Gesetzen berechenbar. Wird nun Zufall nur mit solch scheinbar zufälligen Beispielen besprochen, kann dies dazu führen, dass Jugendlichen Zufall als etwas Künstliches und nicht in der Natur Vorkommendes ansehen. Daher ist es in einer Lehr-Lern-Einheit zur Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall wichtig, dass zusätzlich Experimente besprochen werden, bei denen solch ein reiner Zufall sichtbar gemacht werden kann (wie zum Beispiel in der Radioaktivität).

### 3. Umgang mit Schülervorstellungen

Aus der Schülervorstellungsstudie ist bekannt, dass Jugendliche im mathematischen Kontext, wie zum Beispiel beim Würfeln, wahrscheinlichkeitstheoretische Aussagen treffen können. Die Jugendlichen haben jedoch Probleme, diese Konzepte auf andere Kontexte zu übertragen. Daher ist es in der Lehr-Lern-Einheit wichtig, dass an das Vorwissen und akkurate Vorstellungen der Jugendlichen angeknüpft wird, bevor die Jugendlichen dieses Wissen auf andere Kontexte übertragen.

#### 11.1.4 Erste Version der Lehr-Lern-Einheit

Das Design der ersten Version der Lehr-Lern-Einheit orientiert sich an den oben genannten Designkriterien und besteht aus einem Informationsangebot und drei Aufgaben (Transferbeispiele).

##### 11.1.4.1 Informationsangebot

Im Informationsangebot der Lehr-Lern-Einheit wird Wahrscheinlichkeitstheorie als mathematisches Modell, das zufällige Phänomene modelliert, eingeführt. Als eine Möglichkeit, zufällige Phänomene zu modellieren, wird das Gesetz der großen Zahlen genannt. Wie das erste Designprinzip verlangt, wurden verschiedene Verteilungen anhand von Würfelbeispielen diskutiert. Aus der Schülervorstellungsstudie wissen wir, dass Experimente mit solchem Modelcharakter und diskreten Ausgängen von Jugendlichen als zufällig akzeptiert wird. Dies entspricht dem Designprinzip zum Umgang mit Schülervorstellungen. Das Informationsangebot gestaltete sich demnach wie folgt:

### Einführung Gesetz der großen Zahlen.

Hast du schon einmal etwas vom Gesetz der Großen Zahlen gehört?

Es besagt, dass wenn du ein Zufallsexperiment sehr oft hintereinander oder viele Experimente gleichzeitig durchführst, die relative Häufigkeit eines Ausgangs, der Wahrscheinlichkeit dieses Ausgangs entspricht.

Wenn du zum Beispiel mit einem Würfel würfelst, kannst du nicht vorhersagen, auf welcher Zahl er am Ende landet. Du kannst lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen treffen. Würfeln wäre also ein Zufallsexperiment. Das Gesetz der großen Zahlen besagt, dass wenn du sehr oft hintereinander würfelst und notierst, wie oft du welche Zahl würfelst, du eine Verteilung bekommst. Während bei einem einzelnen Wurf nicht vorhersagbar ist, auf welcher Zahl der Würfel landet, sieht so eine Verteilung (mit genügend Wiederholungen) immer gleich aus. Diese Verteilung nennt man auch Wahrscheinlichkeitsverteilung.

### **Zwei Beispiel:**

#### **1. Gleichverteilung: *Würfeln mit einem Würfel***

Wenn du mehrmals mit einem Würfel würfelst und zählst, wie oft du eine 1, 2, 3, 4, 5 oder 6 bekommst, wirst du feststellen, dass am Ende alle Zahlen ungefähr gleich oft erscheinen werden. Der Grund ist der, dass die Ergebnisse bei einem Würfel gleich verteilt sind. Der Graph wird so aussehen (*Die Befragende zeigt eine Grafik die eine Gleichverteilung zeigt*).

#### **2. Normalverteilung: *Würfeln mit zwei Würfeln und bilden der Augensumme***

Wenn du nun aber das Experiment änderst und mit zwei Würfeln würfelst und jeweils die Summe der Augenzahl zählst, also wie oft 2, 3, 4, ..., 12 auftritt, wirst du feststellen, dass die Verteilung sich ändert. Denn es gibt beispielsweise mehrere Möglichkeiten, eine 7 zu würfeln, aber nur eine Möglichkeit, eine 12 zu würfeln. (*Die Befragende zeigt eine Grafik die eine Normalverteilung zeigt*).

#### ***Nun würfeln mit vielen Würfeln und aussortieren:***

Wenn du aber viele Würfel hast und immer alle, die eine 5 zeigen, aussortierst, dann wirst du feststellen, dass du am Ende eine Verteilung hast, die so aussieht. (*Die Befragende zeigt eine Grafik die eine Exponentialverteilung zeigt*). Denn am Anfang sind noch mehr Würfel da, die alle mit  $1/6$  Wahrscheinlichkeit auf der 5 landen.

Das heißt: Je nachdem, wie dein Experiment aussieht und was du auf der x - und y - Achse aufträgst, schaut dein Graph anders aus, obwohl das zugrundeliegende Zufallsexperiment (Würfeln) immer das gleiche ist.

Die zeitabhängige Wahrscheinlichkeit und die Umwandlung eines instabilen Atomkerns wurden im Informationsangebot nicht diskutiert. Jugendlichen sollen in den Transferbeispielen das Wissen aus der Wahrscheinlichkeitstheorie, das im Informationsangebot dargelegt wird, auf die Umwandlung von Atomkernen anwenden können (siehe Transferbeispiele).

Das Ziel des Informationsangebots ist es, die folgenden Schlüsselideen zu vermitteln:

1. Ein einzelnes zufälliges Ereignis ist nicht vorhersehbar, viele zufällige Ereignisse folgen jedoch einer Gesetzmäßigkeit.
2. Je nachdem, welches Ergebnis einen in einem Experiment interessiert, sieht diese Gesetzmäßigkeit anders aus.

### 11.1.4.2 Aufgaben

In den Anwendungsaufgaben sollen die Jugendlichen das Wissen aus dem Informationsangebot anwenden. Die beiden Beispiele, welche die Jugendlichen bearbeiten sollen, werden im Folgenden beschrieben:

#### **Transfer 1: Springblobb: Zeitkomponente**

- 1) Ich spanne nun 10 Springblobbs so ein, dass ich sie gleichzeitig loslassen kann. Was wird passieren?
- 2) Stell dir vor du hast 1000 anstatt 10 Springblobbs (oder Popcorn). Kannst du hier den Graphen einzeichnen? (x-Achse: Zeit, y-Achse: Anzahl der nicht gesprungenen Springblobbs (oder Popcorn))
- 3) Was kannst du über die Sprungzeit eines einzelnen Springblobbs sagen?

#### **Transfer 2: Halbwertszeit**

- 4) Wie hängt 1)-3) mit der Halbwertszeit zusammen?
- 5) Wie kommt die Halbwertszeit zustande?

#### **Transfer 3: Detektoren**

Bisher sind wir davon ausgegangen, dass wir instabile Kerne beobachten können. Jedoch können wir das leider nicht. In Wirklichkeit messen wir das Zerfallsprodukt, zum Beispiel ein  $\alpha$ -Teilchen. Stell dir vor wir haben 1000 instabile Kerne gesammelt, die durch Aussendung eines  $\alpha$ -Teilchens zerfallen. Die Kerne haben eine Halbwertszeit von 10 Sekunden. Wir messen die  $\alpha$ -Teilchen. Zeichne im Graphen ein, wie viele  $\alpha$ -Teilchen in den jeweiligen Zeitintervallen gemessen werden.

**Lehr-Lern-Einheit - Auszug II: Transferbeispiele des Prototypen**

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Im Transferbeispiel 1 wird anstatt dem Würfelexperiment ein Experiment mit den Springblobbs durchgeführt. Dabei werden 10 Springblobbs in eine eigens dafür konzipierte Apparatur eingespannt und gleichzeitig losgelassen (siehe Abbildung 11-1). Die Jugendlichen sollen nun das Wissen aus dem Informationsangebot auf die Springblobbs übertragen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass es sich nun um ein zeitabhängiges Problem handelt. Dabei soll die Zeitkomponente ins Spiel gebracht werden.

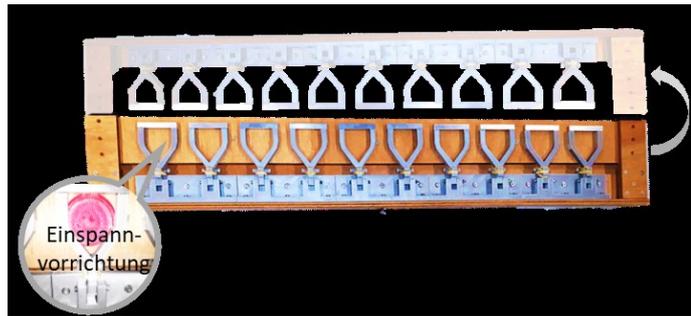


Abbildung 11-1: Apparatur um zehn Springblobbs gleichzeitig springen zu lassen

Das Transferbeispiel 2 baut dann auf dem Beispiel mit den Springblobbs auf. Der Modellcharakter vom Würfeln bzw. den Springblobbs wird nun mit einem Beispiel aus der Natur ersetzt, nämlich der Umwandlung eines instabilen Atomkerns. Jugendliche sollen das neue Wissen aus Informationsangebot und Transferbeispiel 1 auf ein Problem aus der Radioaktivität anwenden. Insbesondere geht es dabei um den Zusammenhang zwischen dem Gesetz der großen Zahlen und der Halbwertszeit. Im Transferbeispiel 3 wird die Messung mit einem Detektor besprochen.

Die Jugendlichen sollen sich in den Transferbeispielen die folgenden Ideen selbst erarbeiten:

1. Das Beispiel mit den Springblobbs ist ähnlich wie das Beispiel mit dem aussortieren von Würfeln. Das Wiederholen des Experiments ist in diesem Fall die vergehende Zeit.
2. Die Springblobbs können als Modell für instabile Atomkerne fungieren. Man kann vorhersagen, wie viele instabile Atomkerne eines Elements sich in einem Zeitintervall umwandeln werden. Die Zeit, wann sich ein bestimmter Atomkern umwandelt, ist nicht vorhersagbar.
3. Mit genügend vielen instabilen Atomkernen kann man die Halbwertszeit bestimmen. Sie gibt an, wann sich die Hälfte der instabilen Atomkerne umgewandelt haben.
4. Mit einem Detektor misst man die Umwandlung eines instabilen Atomkerns nur indirekt. Obwohl man die Strahlung und nicht die Umwandlung des instabilen Atomkerns misst, kann man die Zerfallskurven in diesem Fall gleichsetzen.

Die Evaluierung der Lehr-Lern-Einheit wird im nächsten Paragraphen vorgestellt.

## 11.2 Evaluation der Lehr-Lern-Einheit

### 11.2.1 Studiendesign

Die Forschungsumgebung dieser Studie ist wie schon bei der Interviewstudie zu Schülervorstellungen das Schülerlabor S’Cool LAB am CERN. In diesem Fall handelte es sich um Besuchergruppen, die sich für ein Halbtagesprogramm angemeldet haben. Sie haben sich schon mit der Anmeldung bereiterklärt, an physikdidaktischer Forschung teilzunehmen. Dafür bekamen sie einen Nebelkammer Workshop und zusätzlich zu diesem Workshop ein zweites Experiment, zum Beispiel das Supraleitungs-Experiment<sup>3</sup>. Die gesamte Gruppe war für dreieinhalb Stunden im Schülerlabor. Der organisatorische Teil im Vorfeld lief ähnlich ab wie in der Schülervorstellungsstudie. Die Lehrpersonen wurden per E-Mail kontaktiert, ob eine Interviewstudie während ihres Besuches möglich wäre. Danach wurde ein Brief mit einer Einverständniserklärung an die Jugendlichen bzw. deren Eltern geschickt. Die unterschiedenden Einverständniserklärungen wurden am Tag der Studie im Labor eingesammelt oder wurden schon im Vorfeld per E-Mail gesendet. Der Ablauf im Labor unterschied sich von der Vorgehensweise in der Schülervorstellungsstudie. Die Studie bestand aus zwei Teilen. Bevor einzelne Jugendliche interviewt wurden, bekamen alle Jugendliche einen kurzen Fragebogen. Der Fragebogen wird in Abschnitt E beschrieben. Die Teilnahme am Fragebogen sowie an der Interviewstudie erfolgte freiwillig. Jeder Fragebogen wurde mit einem Erkennungscode versehen. Somit bleiben Jugendliche, die zwar den Fragebogen ausfüllen, aber nicht interviewt werden wollen, anonym. Aus diesen Fragebögen wurden dann zufällige Interviewteilerinnen und -teilnehmer gezogen. Der Erkennungscode diente dazu, dass die Jugendlichen identifiziert werden konnten. Nach der ersten Interviewrunde wurde zu Beginn des Fragebogens zusätzlich eine Skala hinzugefügt, wo die Jugendlichen angeben konnten, wie gerne sie interviewt werden wollen. Diese Angabe wurde in der Auswahl berücksichtigt. Die Abbildung 11-2 zeigt eine schemenhafte Darstellung des Studiendesigns.

	30 min	90 min	90 min
Besuchsprogramm	Zeit für fachdidaktische Forschung	Experiment 1	Experiment 2
Studie	Schriftliche Befragung	Akzeptanzbefragung (Interviews)	

Abbildung 11-2: Schematische Darstellung des Studiendesigns

<sup>3</sup> Zur näheren Erläuterung der S’Cool LAB Plus Programme: <https://scool.web.cern.ch/scoollab-plus>

### 11.2.2 Methode der Akzeptanzbefragung

Die Akzeptanzbefragung stellt eine Methode der qualitativen didaktischen Forschung mit explorativen Charakter dar. Dabei werden Einzelinterviews geführt, um zu überprüfen, ob ein neu entwickelter Erklärungsansatz von Jugendlichen verstanden und akzeptiert wird. Die Forscherin übernimmt dabei auch die Rolle der Lehrenden. Ihre Aufgabe ist es, die Reaktionen der Jugendlichen auf das neue Informationsangebot zu untersuchen. Folgende Schritte kann eine Akzeptanzbefragung umfassen (Wiener et al. 2015, Burde 2018)

- **Ein Informationsangebot:**  
Die Interviewerin oder der Interviewer unterrichtet den Jugendlichen mit dem neu entwickelten Erklärungsansatz.
- **Evaluation:**  
Jugendliche erklären, wie verständlich und plausibel sie die Erklärung finden.
- **Zusammenfassung des Informationsangebots mit eigenen Worten**  
Die Jugendlichen fassen das neu Gelernte mit eigenen Worten zusammen.
- **Aufgaben**  
Die Jugendlichen wenden das neu Gelernte auf ausgewählte Beispiele an.

Bei der Entwicklung von Unterrichtseinheiten hat sich die Methode der Akzeptanzbefragung, als äußerst effektiv erwiesen (Wiener et al. 2015, Burde 2018). Sie bietet in Verbindung mit dem Design-Based Research Ansatz eine ideale Methode für die Entwicklung einer erfolgreichen Lehr-Lern-Einheit. Dabei wird ein erstes Design des Informationsangebots solange adaptiert, bis die Erklärung von den Jugendlichen verstanden und akzeptiert wird. Mit anderen Worten: Das Informationsangebot wird solange geändert, bis es den Jugendlichen gelingt in der Paraphrasierung alle wichtigen Punkte zu nennen und richtig zu erklären sowie das Gelernte an dem Beispiel anzuwenden. Mit dieser Methode wurde die Lern-Lehr-Einheit konzipiert. Im nächsten Abschnitt werden die Grundüberlegungen zum Design der Lehr-Lern-Einheit erläutert.

### 11.2.1 Auswertemethodik

Die Analyse der Lehr-Lern-Einheitsstudie erfolgt in mehreren Schritten. Es soll festgestellt werden, inwiefern Jugendliche eine Erklärung der Radioaktivität mittels Wahrscheinlichkeitstheorie akzeptieren, und ob sie wahrscheinlichkeitstheoretische Konzepte auf die Radioaktivität anwenden können. Um diese Frage beantworten zu können wird zunächst überprüft, ob die Jugendlichen die Erklärung der unterschiedlichen Teilgebiete akzeptieren. Danach wird ermittelt, ob die Jugendlichen das neu gewonnene Wissen auf Beispiele anwenden können.

Es wurden zunächst relevante Interviewstellen transkribiert. Danach wurden die Antworten mittels qualitativer Inhaltsanalyse kodiert und analysiert. Kodiert wurden jeweils separat Akzeptanz, Paraphrasierung und Anwendungsbeispiele. Analog zu Wiener et al. (2015) und Burde (2018) dient dazu ein im Vorhinein ausgearbeiteter Kodierleitfaden mit Hilfe eines ordinalskalierten dreistufigen Kategoriensystems (vgl. Mayring 2014 S. 98).

Es wird unterschieden zwischen:

- Vollständiger Akzeptanz, eingeschränkter Akzeptanz und keiner Akzeptanz der Informationsangebote
- Gelungener Paraphrasierung, teilweise gelungener Paraphrasierung und nicht gelungener Paraphrasierung
- Gute Antwort, befriedigende Antwort und mangelhafte Antwort

Die Tabelle 11-1 zeigt den vollständigen Kodierleitfaden mit Definition, die dazugehörigen Ankerbeispiele sind im Anhang gelistet.

Code	Kategorie	Definition
<b>Akzeptanz</b>		
✓	Vollständige Akzeptanz	Das Informationsangebot wird vollständig akzeptiert, es gibt keine Einwände.
?	Eingeschränkte Akzeptanz	Das Informationsangebot wird nur eingeschränkt akzeptiert, einzelne Aspekte davon werden kritisiert oder nur unter Einschränkungen akzeptiert.
-	Keine Akzeptanz	Das Informationsangebot wird nicht akzeptiert oder als sehr schwer erachtet.
<b>Paraphrasierung</b>		
✓	Gelungene Paraphrasierung	Die Zusammenfassung ist inhaltlich korrekt. Mit eventuellen Nachfragen werden alle wesentlichen Aspekte richtig zusammengefasst.
?	Teilweise gelungene Paraphrasierung	Die Zusammenfassung ist inhaltlich größtenteils korrekt, jedoch werden einzelne Aspekte inhaltlich falsch wiedergegeben.
-	Nicht gelungene Paraphrasierung	Die Zusammenfassung ist inhaltlich größtenteils falsch oder es kann keine angemessene Zusammenfassung gegeben werden.

Code	Kategorie	Definition
<b>Aufgaben</b>		
✓	Gute Antwort	Die Aufgabe wird korrekt gelöst und es kann gegebenenfalls der Lösungsweg erklärt werden.
?	Befriedigende Antwort	Die Aufgabe kann mit kleineren Hilfestellungen korrekt gelöst werden.
-	Mangelhafte Antwort	Die Aufgabe kann nicht gelöst werden beziehungsweise nur mit viel Hilfestellung gelöst werden.

**Tabelle 11-1:** Kodierleitfaden zum Analysieren der Lehr-Lern-Einheitsstudie

Die so gewonnenen Ergebnisse werden im nächsten Paragraphen erläutert.

## 11.3 Erste Iteration - Prototyp der Lehr-Lern-Einheit

### 11.3.1 Ergebnisse

Diese erste Version der Lehr-Lern-Einheit wurde mit vier Jugendlichen getestet. Alle Jugendlichen akzeptierten das Informationsangebot ohne Einschränkungen. Für die Jugendlichen war das Informationsangebot nichts Neues. Alle Jugendlichen sagten, dass ihnen das soeben Erklärte aus der Schule schon bekannt sei. Daher ist es wohl nicht verwunderlich, dass die Jugendlichen bei der Paraphrasierung keinerlei Schwierigkeiten hatten. Die Jugendlichen hatten jedoch erhebliche Schwierigkeiten das Wissen anzuwenden. Tabelle 11-2 zeigt die Ergebnisse der Befragung zu den Transferbeispielen in der ersten Iteration.

Schülerin/ Schüler	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3
F1	?	✓	✓
F2	-	-	✓
F3	-	?	✓
M1	?	-	-

**Tabelle 11-2:** Ergebnisse der Transferbeispiele der Lehr-Lern-Einheit in Iteration 1

Keiner der befragten Jugendlichen konnte das Wissen vom Würfeln auf das Problem mit der Zeit und die Springblobbs transferieren. Bei diesem Beispiel ist es wichtig, das mehrfache Werfen des Würfels mit der vergehenden Zeit des Springblobbs zu vergleichen und zu erkennen, dass es sich um das gleiche Konzept handelt. Dieser Transfer ist jedoch keinem Jugendlichen auf Anhieb gelungen. Zwei der vier Jugendlichen gelang dieser Vergleich nach einer kurzen Erklärung des Springblobbs und sie konnten anschließend die Aufgabe lösen. M1 antwortete zunächst auf die Frage, wie die Verteilung mit 10.000 Springblobbs aussehen würde, dass es sich um eine Normalverteilung handeln würde. Auf nähere Nachfrage sagte er:

*„ok ich glaube, es ist doch eher wie die [exponentielle Verteilung] (...) Ich dachte halt am Anfang es gibt so einen Mittelwert und also alle brauchen halt ein bisschen Zeit um sich zu lösen. Naja, das ist ja anscheinend nicht so, die sind gleich hochgesprungen. Und wenn das für einen gilt [dass er gleich hochspringen kann], dann gilt das für alle und in der ersten Sekunde können alle, theoretisch, hoch springen - alle auf einmal und die Wahrscheinlichkeit dafür ist halt gering und es gibt halt einen Prozentanteil der in dem ersten Zeitabschnitt hochspringt und in dem zweiten [Zeitabschnitt] ist es ein ähnlicher Prozentanteil und da es aber, wenn die Ausgangsmasse halt geringer ist, - wie da halt mit dem Würfeln - nimmt das halt so ab“*

Man sieht, dass dieser Jugendliche zunächst einige Schwierigkeiten hat, die Situation richtig zu modellieren. Mit ein wenig Hilfestellung kann der Jugendliche jedoch die Situation richtig beschreiben. Obwohl dieser Jugendliche hier die Idee des Mittelwerts verwirft, verwendet er diese Idee im Transferbeispiel 2 wieder. Der Jugendliche M1 erklärte die Halbwertszeit so, als ob er die Vorstellung eines kontinuierlichen Zerfalls hätte. Er erklärte die Halbwertszeit wie folgt:

*„Naja also es ist halt, es ist Chaos - es ist Zufall aber man kann halt einen gewissen Mittelwert bilden also die Halbwertszeit ist ja ein Mittelwert (I: Sagen wir du hast 10.000 instabile Kerne? Wie schaut denn dann die Zerfallskurve aus?) so [exponentiell] weil man halt dann bei allen einen Mittelwert (hat) und dann weiß man halt immer aus der Gesamtmasse – die wird weniger“*

Der Jugendliche scheint das Beispiel mit den Springblobbs ansatzweise auf die instabilen Atomkerne übertragen zu können. Seine Argumentation passt noch nicht so recht zusammen. Einerseits weiß er wahrscheinlich aus dem Unterricht, dass die Zerfallskurve exponentiell fallend ist. Er kombiniert, dass dann (wie beim Springblobb) die Gesamtanzahl immer weniger wird. Andererseits weist er jedem Atom einen Mittelwert zu, dieser entspricht laut ihm der Halbwertszeit. Es scheint eine Art mittlere Lebensdauer eines jeden Atoms zu sein, demnach müsste er eigentlich die Zerfallskurve als Normalverteilung beschreiben. Im Transferbeispiel 3 wird diese Vorstellung noch deutlicher. Auf die Frage wie die Verteilung der gemessenen Alpha-Teilchen aussehen wird, sagt der Jugendliche M1 das folgende:

*„So wie das (zeigt auf Normalverteilung) also der Mittelwert ist 10 Sekunden (Interviewerin: die Halbwertszeit ist 10 Sekunden. was sagt denn die Halbwertszeit?) Aso ja das sich die Teilchen halbieren nach 10 Sekunden, hä aber habe ich pro Kern nur ein Alpha-Teilchen?“*

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Nach einer kurzen Erklärung der Umwandlung eines instabilen Atomkerns sagt er:

*„Ich hatte das irgendwie anders in Erinnerung, dass sich das halbiert (...).halt dass so viel Strahlung abgestrahlt wird bis halt nur noch die Hälfte des Kerns übrig ist aber da war doch irgendwie beim Kohlenstoff (...) Aber gab es nicht sowas, wo man den Todeszeitpunkt feststellen kann von ganz alten Mumien oder so und das ist bei welchen Stoff (Interviewerin: C14) und da zerfällt dann wirklich des so, dass man nach so und so viel Jahren nur noch die Hälfte hat oder“*

Diese Aussage zeigt, dass der Jugendliche denkt, dass der Kern solange Teile von sich abgibt bis er weg ist. Die Halbwertszeit ist dabei die Zeit, bei der die Hälfte des Kerns verschwunden ist.

Wie schon der Jugendliche M1 hatte auch die Jugendliche F1 nur kleinere Probleme beim Transferbeispiel 1 (den Springblobbs). Sie erklärt das Folgende:

*„Ich glaube es ist einfach echt Zufall - genau wie beim Atomkern, dass man es nicht wirklich beschreiben kann, also bestimmt mit irgendwelchen Diagrammen kann man das irgendwie verdeutlichen aber man kann ja nicht wirklich sagen der eine Blobb jetzt und der andere Blobb - jetzt erst in 15 oder so (Interviewerin: ok bei einem nicht aber bei 10000?) Da könnte man das dann vielleicht schon eher sagen - ich würde sagen die [Gleichverteilung] weil man hier nicht irgendwas zusammenrechnet - also man hat nicht mehrere Zahlen miteinander also man hat jetzt hier nicht mehr Zahlen aber man verbindet ja nicht was.“*

Bei der Einschätzung mit wenigen Springblobbs liegt diese Jugendliche richtig. Sie bringt die Springblobbs schon in Zusammenhang mit den instabilen Atomkernen. Bei der Anwendung des Gesetzes der Großen Zahlen für viele Springblobbs hat sie aber zunächst noch Schwierigkeiten. Sie zeigt spontan auf die Gleichverteilung, nach näherer Betrachtung der Springblobbs sagt sie dann:

*„Also ich würde jetzt das Würfeln einfach mal als Zeit nehmen und die Fünfen wären jetzt die Blobbs - das wäre jetzt nicht geblobbt - und wenn ich das als Zeit nehme auf Dauer wird's ja weniger - ja ich würde jetzt sagen exponentiell also ich würd sagen ähnlich wie beim Atomkern nur das es jetzt bis zum letzten geht und beim Kern geht es nicht bis Null“*

Mit nur wenig Hilfestellung kann die Jugendliche das Würfelbeispiel auf die Springblobbs übertragen. Ihr gelingt es auch, das Beispiel der Springblobbs auf die Halbwertszeit zu übertragen. Sie erklärt:

*„Ja die Halbwertszeit ist ja dann wenn die Hälfte der Teile geblobbt sind (Interviewerin: Für 10000 Atome?) Also es würde ja so ähnlich ausschauen wie da [exponentiell] ich habe da unten erstmal die Zeit und da wären halt die, die schon zerfallen sind, oder die, die noch da sind. (Interviewerin: die Halbwertszeit sagt also was aus?) Ja da sind die Hälfte weg oder bzw. zerfallen sind“*

Diese Jugendliche erklärt die Halbwertszeit also die Zeit, in der die Hälfte der Kerne zerfallen sind. Es bleibt jedoch offen, ob die Jugendliche denkt, dass die Kerne nach dem Zerfall weg sind, oder ob sie hier nur eine unglückliche Wortwahl trifft. Sie hat keinerlei Probleme, die Verteilung der Alpha-Teilchen zu bestimmen.

Die Jugendlichen F2 und F3 konnten die erste Aufgabe nur mit sehr viel Hilfestellung lösen. Dabei fängt die Jugendliche F2 zunächst mit den richtigen Überlegungen an. Sie sagt:

*„Ja dann kommt es ja darauf an, ob sie jetzt alle gleichzeitig hochgehen oder nicht. Weil, wenn nicht alle gleichzeitig hochgehen, dann ist es ja exponentiell aber wenn sie jetzt alle gleichzeitig hochgehe, dann wäre je danach keiner mehr (...)“*

Auf die Nachfrage, wie es sich mit einem einzelnen Springblobb verhält, erklärt die Jugendliche jedoch Folgendes:

*„Ja von der Theorie müsste es ja gleich wahrscheinlich sein, weil es ja der gleiche Blobb ist, aber das wäre zu einfach (denkt nach) also, wenn wir jetzt davon ausgehen, dass sie halt alle gleich gespannt sind, das heißt, die springen ja hoch, weil die Luft entweicht (...) und da müsste ja, weil es ja alle die Gleichen sind und alle in der Theorie gleich gespannt sind, müssten es ja in der Theorie alles auf einmal hochgehen - aber es ist halt die Frage, ob es halt jetzt komplett die gleichen Bedingungen sind, wenn jetzt halt in einem mehr Luft drin ist, würde der halt länger stehen bleiben - dann wäre es ja exponentiell - dann würde die nacheinander und wenn mehr Luft drinnen ist also wenn bei jeden immer mehr Luft drinnen ist, dann würde zum Beispiel in jeder Sekunde immer einer los gehen dann wäre das - dann wäre das nicht exponentiell ..hmmm..das wäre dann linear... ja also“*

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Diese Jugendliche scheint die ungleiche Sprungzeit darauf zurückzuführen, dass es uns unmöglich ist, die genau gleichen Bedingungen herzustellen. Eine Problematik, die die Jugendliche bei den Würfelbeispielen nicht bemängelt. Außerdem äußert diese Jugendliche eine Art von Gleichverteilungsbias, indem sie sagt „die Luft unter den Springblobbs wäre so verteilt, dass in jedem immer ein bisschen weniger Luft ist“. So kommt sie zum Schluss, dass es sich eigentlich um eine linear abfallende Kurve handeln müsste. Dieser Gleichverteilungsbias wird bei ihrer Antwort auf die Frage, was mit 10.000 Springblobbs wäre, noch deutlicher:

*„Ich kann mir an sich vorstellen, dass halt die Wahrscheinlichkeit also bei 10.000 dass sich da welche ähneln, also dass quasi also da sind jetzt ja zwei fast gleichzeitig hochgesprungen und ich kann mir vorstellen, dass es bei 10.000 schon ziemlich ausgeglichen sein wird schon (zeigt auf die Gleichverteilung)“*

Erst nachdem die Befragende den Zusammenhang zwischen den Springblobbs und dem Würfeln erklärt, sagt die Jugendliche:

*„Ähm kann das ja so gar nicht aussehen, weil ich ja quasi immer weniger hab - also das kann ja so gar nicht aussehen (zeigt auf Gleichverteilung) weil irgendwann sind die ja dann schon geblobbt (..) das wäre dann eine exponentielle Funktion“*

Obwohl nach sehr viel Hilfe die Aufgabe mit den Springblobbs gelöst werden konnte, scheint diese Jugendliche im Transferbeispiel 2 weiterhin Probleme mit der Zeitabhängigkeit zu haben. Sie beschreibt die Halbwertszeit wie folgt:

*„Beim atomaren Zerfall ist es ja auch exponentiell (...) ist es halt nicht die Hälfte der Anzahl - wenn wir jetzt sagen das sind 1000 [Springblobbs] und die brauchen eine Minute dann glaube ich nicht, dass nach 30 Sekunden 500 geblobbt sind, sondern dass dann mehr geblobbt sind. Aber dass halt die (...) Halbwertszeit ist halt die Hälfte der Zeit und die Hälfte der Anzahl (...) ich glaube, dass halt da der Zusammenhang ist, dass halt in der Zeit von 1000 bis 0 dass halt nicht nach der Hälfte der Zeit schon 500 geblobbt sind.“*

Diese Jugendliche denkt, dass es sich bei der Halbwertszeit um die Hälfte der Zeit und die Hälfte der Anzahl handelt. Sie erkennt jedoch, dass das bei den Springblobbs wohl nicht der Fall ist. Sie scheint die Hälfte der Anzahl und die Hälfte der Zeit durcheinander zu bringen. Erst nach einer Erklärung der Umwandlung kann die Jugendliche die Halbwertszeit erklären.

Sie hat dann auch keine Probleme mit dem Transferbeispiel 3. Sie erklärt die Verteilung der Alpha-Teilchen wie folgt:

*„Ja also ich habe 10.000 Kerne und die Halbwertszeit sind 10 Sekunden, das heißt nach 10 Sekunden sind die Hälfte ja zerfallen also es müssten ja 5000 Alpha Teilchen entstanden sein. ja und davon dann halt quasi wieder die Hälfte“*

Die Jugendliche hat mit diesem Beispiel keinerlei Probleme, jedoch wurden wesentliche Aspekte dieser Aufgabe schon im Transferbeispiel 2 erläutert.

Die Jugendliche F3 kann zunächst gar keine Einschätzung der Situation geben. Nachdem die Befragende die Springblobbs kurz erklärt, sagt die Jugendliche das Folgende:

*„Ich denke mal, dass am Anfang relativ wenige springen werden und dann in der Mitte dann mehr springen werden (Interviewerin: ok warum?) ich denke die haben so eine durchschnittliche Zeit die sie brauchen, einige sind dann doch schneller und andere sind doch langsamer also ein Durchschnitt wies bei vielem halt einen Durchschnitt gibt“*

Diese Jugendliche vermutet, wie schon der Jugendliche M1, dass es sich in diesem Fall um eine Normalverteilung handeln muss. Sie kann auch ohne Erläuterung der Umwandlung eines instabilen Atomkerns nichts über den Zusammenhang zwischen den Springblobbs und der Halbwertszeit sagen. Nachdem dies jedoch erklärt würde, hatte sie keinerlei Probleme mit den Transferaufgaben 2 und 3.

### 11.3.2 Diskussion und Anforderungen für die nächste Iteration

Obwohl das Informationsangebot von allen Jugendlichen akzeptiert wurde und auch gut paraphrasiert wurde, konnten sie das Wissen nicht auf die Transferbeispiele anwenden. Das größte Problem scheint zu sein, dass das Informationsangebot nicht ausführlich genug ist. Den Jugendlichen fehlt einerseits Information über die Natur des Springblobbs und andererseits eine Erläuterung über die Umwandlung eines instabilen Atomkerns. Ohne zusätzliche Information dazu hätte kein Jugendlicher die Transferbeispiele lösen können.

Im Transferbeispiel 1 haben die Jugendlichen große Schwierigkeiten vom diskreten Beispiel des Würfels auf das kontinuierliche Beispiel mit den Springblobbs überzugehen. Die zeitliche Abhängigkeit scheint für Jugendliche ein größeres Problem darzustellen als zunächst gedacht. Die Jugendlichen hatten weniger Probleme, nachdem die Springblobbs näher erklärt wurden und ein Zusammenhang mit dem Würfel hergestellt wurde. Es könnte hilfreich sein, wenn zunächst erklärt wird, wie eine zeitabhängige Wahrscheinlichkeitsverteilung aussieht.

Wie schon in der Schülervorstellungsstudie (vgl. Paragraph) konnte eine Normalverteilungsbasis festgestellt werden. Dieser wird möglicherweise vom Informationsangebot begünstigt. Im Würfelbeispiel wird die Normalverteilung als Beispiel für eine Verteilungsart besprochen. Dies könnte zu der Annahme führen, dass die Normalverteilung beim radioaktiven Zerfall eine Rolle spielt.

Ein weiteres Problem stellte die fehlende Information über die Umwandlung des Atomkerns dar. Beim Transferbeispiel 2 fehlt den Jugendlichen Information über die Halbwertszeit. Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung mit M1 zeigen auch, dass Jugendliche durch die Erklärungen die Idee, dass der instabile Kern zerfällt bis nichts mehr von ihm da ist, in Frage stellen. Es werden jedoch im Informationsangebot noch keine zufriedenstellenden alternativen Vorstellungen dazu angeboten. Die Überarbeitungen des Designs werden im nächsten Paragraphen besprochen.

### 11.4 Zweite Iteration – Erste Überarbeitung des Designs und zusätzliches Designprinzip

Die erste Iteration der Lehr-Lern-Einheit zeigt, dass Jugendliche ein gewisses Hintergrundwissen zum radioaktiven Zerfall benötigen, um die Aspekte der Wahrscheinlichkeitstheorie darauf anwenden zu können. Dies führte dazu, dass das Informationsangebot wesentlich ausführlicher wurde. Insbesondere wurden zwei Aspekte hinzugefügt:

1. Erklärung zur Zeitkomponente
2. Erklärung zur Umwandlung eines instabilen Atomkerns

Durch das Hinzufügen der Erklärung des Umwandlungsprozesses ergab sich ein weiteres Designprinzip. Bei diesem zusätzlichen Designprinzip wird der Umgang mit sprachlichen Besonderheiten festgelegt:

#### 4. Sprachliche Besonderheiten

In der Literatur kann man im Zusammenhang mit dem radioaktiven Zerfall eine Vielfalt von Begriffen finden. Es wurde bereits diskutiert, dass das Wort „Zerfall“ irreführend für Jugendliche sein könnte (vgl. Paragraph 8.3.4). Dennoch lernen Jugendliche im Unterricht den Begriff des Zerfalls, deshalb wird in dieser Lehr-Lern-Einheit nicht darauf verzichtet. Es wird jedoch der Begriff der Umwandlung als eine weitere mögliche und möglicherweise bessere Bezeichnung eingeführt. Im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung wird für die Strahlungstypen häufig radioaktive Strahlung oder gar radioaktive Teilchen verwendet. In der Lehr-Lern-Einheit wird nicht weiter auf unterschiedliche Strahlungstypen eingegangen und lediglich von stabilen

und instabilen Atomkernen gesprochen. Der von Jugendlichen assoziierte Begriff von Strahlung im Zusammenhang mit Radioaktivität verliert dadurch auch etwas an Bedeutung und Radioaktivität wird als Umwandlung eingeführt.

Zur Überprüfung, ob die Jugendlichen alle wesentlichen Aspekte der Lehr-Lern-Einheit verstanden haben, werden Schlüsselideen erarbeitet, die im Informationsangebot vermittelt werden.

Zum Gesetz der großen Zahlen:

- (1.a) Ein einzelnes zufälliges Ereignis ist nicht vorhersehbar, viele zufällige Ereignisse folgen jedoch einer Gesetzmäßigkeit.

*Die Vorstellung der Jugendlichen, dass zufällige Phänomene keinerlei Gesetzmäßigkeit folgen, könnte für diese Schlüsselidee hinderlich sein. Ziel der Lehr-Lern-Einheit ist es, einen Zusammenhang zwischen zufälligen Phänomenen und Wahrscheinlichkeitstheorie herzustellen.*

- (1.b) Es gibt unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die von der Definition des Ereignisses abhängen.

*Für diese Schlüsselidee könnte hinderlich sein, dass viele Jugendliche prinzipiell von einer Gleichverteilung ausgehen.*

Zum Zerfall instabiler Atomkerne

- (2.a) Der Zerfall eines instabilen Atomkerns ist kein Prozess, sondern spontan.

*Für diese Schlüsselidee könnte hinderlich sein, dass sich viele Jugendliche den radioaktiven Zerfall als einen kontinuierlichen Prozess vorstellen. Ziel der Lehr-Lern-Einheit ist es, den Jugendlichen klarzumachen, dass ein instabiler Atomkern spontan zerfällt.*

- (2.b) Man kann vorhersagen, wie viele instabile Atomkerne eines Elements sich in einem Zeitintervall umwandeln werden. Die Zeit, wann sich ein bestimmter Atomkern umwandelt, ist nicht vorhersagbar.

*Die Vorstellung, dass zeitabhängige Zufallsvariablen nicht existieren, könnte in diesem Fall ein Lernhindernis darstellen. Jugendliche sollen in der Lern-Lehr-Einheit verstehen, dass beim Zerfall eines instabilen Atomkerns die Zerfallswahrscheinlichkeit pro Zeitintervall angegeben wird und diese für jedes Zeitintervall gleich ist.*

Zur Halbwertszeit:

- (3) Für eine Quelle mit einer großen Anzahl an instabilen Atomkernen gibt die Halbwertszeit die Zeit an, in der die Hälfte der instabilen Atomkerne zerfallen sind.

Wenn man Jugendliche fragt, was die Halbwertszeit sei, wird sie in vielen Fällen als die Hälfte der Zeit, in der der Atomkern zerfällt, also die wahrscheinlichste Zeit, in der der Atomkern zerfällt, definiert. Eine richtige Definition der Halbwertszeit ist ein Ziel der Lehr-Lern-Einheit.

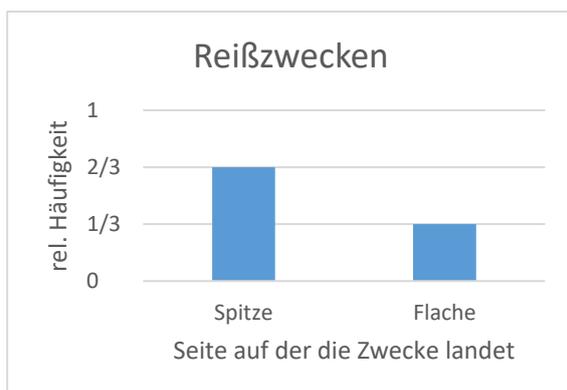
### 11.4.1 Zweite Version der Lehr-Lern-Einheit

Das neue Design der Lehr-Lern-Einheit setzt sich nun aus zwei Einheiten zusammen: der Erläuterung zum Gesetz der großen Zahlen inklusive einem Beispiel mit Zeitabhängigkeit und der Erläuterung von instabilen und stabilen Atomkernen inklusive der Erklärung zur Halbwertszeit. Zunächst werden die Änderungen im Informationsangebot 1 besprochen.

#### 11.4.1.1 Informationsangebot zum Gesetz der großen Zahlen

Beim Informationsangebot zur Wahrscheinlichkeitstheorie werden in diesem Design einige kleinere Änderungen vorgenommen. Da die Normalverteilung für einige Verwirrung im ersten Design führte, wird dieses Würfelbeispiel aus dem Informationsangebot genommen. Anstatt der Normalverteilung wird ein Beispiel mit Reißzwecken hinzugefügt. Beim Beispiel mit den Reißzwecken handelt es sich immer noch um ein Experiment mit Modellcharakter und diskretem Ausgang, was laut Schülervorstellungsstudie von Jugendlichen als zufällig akzeptiert wird. Im Gegensatz zum Würfeln handelt es sich jedoch nicht um ein gleichverteiltes Zufallsexperiment.

#### Reißzwecken: *Keine Gleichverteilung*



Wenn man Reißzwecken „werfen“ würde, würde die Verteilung anders aussehen. Denn es kommt häufiger vor, dass das spitze Ende nach unten schaut als das flache. Daher ist auch die Wahrscheinlichkeit für das spitze Ende höher als für das flache Ende.

#### Übungen & Experiment:

- (1.1) Kannst du mir die Wahrscheinlichkeit dafür nennen, dass eine Reißzwecke beim ersten Wurf auf der flachen Seite landet?
- (1.2) Finde die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Halbkugeln. Wie gehst du vor?

Lehr-Lern-Einheit - Auszug III: Änderung im Informationsangebot des Prototypen

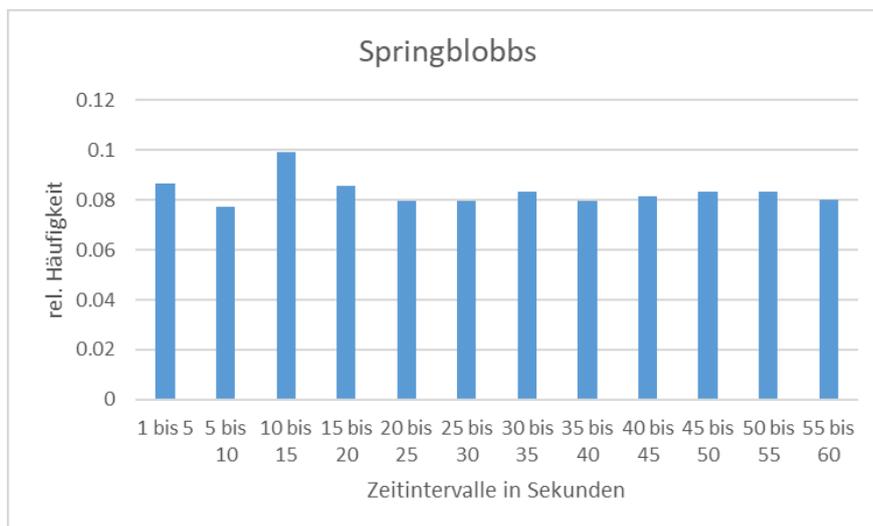
Das Beispiel mit den Reißzwecken eignet sich noch besser zur modellhaften Darstellung zur Berechnung der Halbwertszeit als das Beispiel mit dem aussortieren der Würfel, wenn sie auf der Fünf landen. Bei den Reißzwecken kann man nämlich die spitze Seite als instabil und die flache Seite als stabil definieren. Daher wird das Beispiel mit dem aussortieren der Würfel aus dem ersten Design mit diesem Beispiel mit Reißzwecken ersetzt und etwas später im Informationsangebot zur Halbwertszeit übernommen (siehe Lehr-Lern-Einheit - Auszug VI).

Neben dieser Änderung wurde ein kleines Experiment eingefügt, bei dem die Jugendlichen selbst eine Verteilung bestimmen sollen. Dabei wurde ihnen eine Kiste mit 100 Halbkugeln zur Verfügung gestellt. Die Jugendlichen sollen die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Halbkugeln für die flache Seite und die runde Seite angeben.

In einem zweiten Teil zur Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie werden zeitabhängige Zufallsvariablen besprochen. Dabei werden weiterhin die Springblobbs verwendet. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Springblobbs wird wie folgt erklärt:

### Springblobbs und das Problem mit der Zeit

Nimmt man den Springblobb und spannt ihn, dann weiß man, dass er irgendwann springen wird. Man weiß aber nicht wann. In diesem Fall ist zufällig, dass der Springblobb zu einer gewissen Zeit springt. Man kann zum Beispiel einen Springblobb sehr häufig springen lassen und jedes Mal die Zeit stoppen bis er springt. Auch hier wird man nach sehr häufigem Wiederholen eine Sprungwahrscheinlichkeitsverteilung pro Zeit feststellen können, also mit welcher Wahrscheinlichkeit er zu einem Zeitpunkt springt. Da die Zeit jedoch eine kontinuierliche Größe ist, ist es am einfachsten, man verwendet Zeitintervalle auf der x-Achse. Man zählt nun, wie oft der Blobb im ersten Zeitintervall springt (1-5 Sekunden), wie oft er im zweiten Zeitintervall springt (5-10 Sekunden) usw.



Lehr-Lern-Einheit - Auszug IV: Zusätzliches Informationsangebot zur Zeitabhängigkeit

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Der Graph zeigt die Ergebnisse eines Experiments mit den Springblobbs. Bei der Interpretation dieser Graphen gibt es zwei richtige Ansätze.

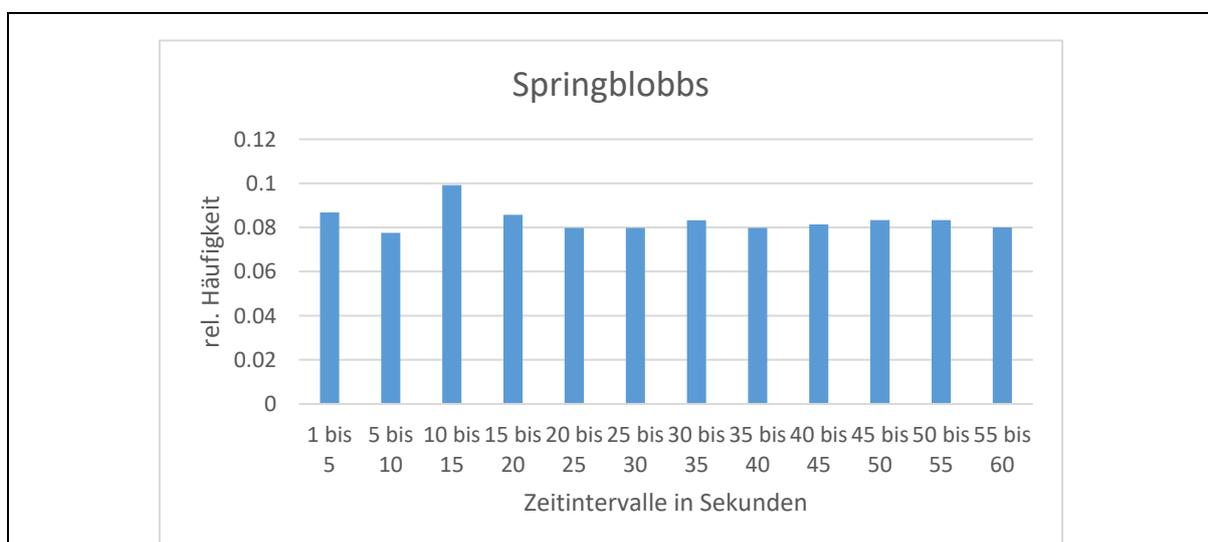
Einerseits kann man davon ausgehen, dass die relative Häufigkeit für jedes Intervall einzeln berechnet wurde. Dadurch verringert sich in jedem Intervall die Gesamtanzahl der Springblobbs, die noch nicht gesprungen sind. Dann würde man schlussfolgern, dass sich, nach dem Gesetz der großen Zahlen, wenn das Experiment noch häufiger durchführt, die relativen Häufigkeiten auf 0,08 einpendeln.

Andererseits kann man aber davon ausgehen, dass die Gesamtanzahl der Springblobbs immer der Anzahl zum Zeitpunkt 0 entspricht, dann müsste der Graph (exponentiell) abfallen. Man würde also feststellen, dass mit den Ergebnissen etwas nicht stimmen kann, und raten, dass Experiment erneut durchzuführen oder die äußeren Umstände des Experiments zu überprüfen.

Es soll in diesem Beispiel gezeigt werden, dass die Sprungwahrscheinlichkeit des Springblobbs in jedem dieser Zeitintervalle gleich groß ist, die relative Häufigkeit jedoch nur im Grenzfall der Wahrscheinlichkeit entspricht. Das Experiment wurde also in diesem Fall nicht oft genug durchgeführt.

### 11.4.1.2 Aufgaben zum Gesetz der großen Zahlen

Im Zusammenhang mit dem Gesetz der großen Zahlen werden während dem Informationsangebot bereits einige Fragen gestellt. Die Ergebnisse der ersten Version der Lehr-Lern-Einheit zeigen, dass das Gesetz der großen Zahlen mit Würfeln den meisten Jugendlichen schon aus der Schule bekannt ist. Sie hatten größtenteils Probleme mit der Zeitabhängigkeit. Daher wird in den Anwendungsübungen zur Wahrscheinlichkeitstheorie das Hauptaugenmerk auf Probleme mit der Zeit gesetzt.



### Aufgaben

- (2.1) Wie wahrscheinlich ist es, dass der Springblobb im Zeitintervall 20 bis 25 Sekunden springt?
- (2.2) Kannst du eine wahrscheinlichste Springzeit des Springblobbs nennen?
- (2.3) Zurück zum Würfeln: Stell dir vor du hast 10.000 Würfel und du wirfst sie alle gleichzeitig. Wie viele werden auf einer Fünf landen?
- (2.4) Stell dir vor du hast 10.000 Springblobbs mit der Sprungwahrscheinlichkeit  $8/100$  pro Zeitintervall. Wie viele Springblobbs sind nach dem Zeitintervall 1 bis 5 Sekunden noch nicht gesprungen?

**Lehr-Lern-Einheit - Auszug V:** Anwendungsaufgaben in zweiter Iteration der Lehr-Lern-Einheit zum Gesetz der großen Zahlen

Die Jugendlichen sollen den Graphen zu den Springblobbs interpretieren. Außerdem soll mit der Frage, wie viele Würfel von 10.000 nach ein Mal werfen auf der Fünf landen festgestellt werden, ob die Jugendlichen den Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit verstanden haben. Sie sollen also verstehen, dass man mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit eine Voraussage für eine große Anzahl von Ereignissen machen kann. Mit der Frage, wie viele Springblobbs (mit Sprungwahrscheinlichkeit  $8/100$ ) nach dem ersten Zeitintervall noch nicht gesprungen sind, soll festgestellt werden, ob die Jugendlichen bei Zeitabhängigkeit anders antworten.

Nachdem die Jugendlichen diese Aufgaben gelöst haben, wurde das zweite Informationsangebot besprochen. Das Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall wird im nächsten Paragraphen besprochen.

#### *11.4.1.3 Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall*

Beim Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall handelt es sich um einen neuen Teil der Lehr-Lern-Einheit. Die Ergebnisse der ersten Iteration zeigen, dass es notwendig ist, die Umwandlung von instabilen Atomkernen sowie die Halbwertszeit zu besprechen, da den Jugendlichen ansonsten Hintergrundinformationen fehlen, um das Wissen zur Wahrscheinlichkeitstheorie mit der Radioaktivität verknüpfen zu können.

## Der radioaktive Zerfall

### **Stabile Kerne und instabile Kerne:**

Beim radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns ist es ähnlich wie bei den Springblobbs. Man kann zum Beispiel sagen, dass wenn der Blobb umgeklappt ist, er instabil ist. Wenn er einmal gesprungen ist, dann ist er stabil. Es gibt Atomkerne, die aufgrund ihrer

inneren Struktur instabil sind, also spontan zerfallen. Mit zerfallen meint man hier „in einen stabilen Zustand“ umwandeln. Das heißt, wenn der instabile Atomkern nach Emission eines Teilchens stabil ist, wird er nicht weiter zerfallen. Es gibt eine Zerfallswahrscheinlichkeit, also eine Wahrscheinlichkeit, dass ein Atomkern zu einer Zeit zerfällt (so wie bei den Springblobbs). Die Zerfallswahrscheinlichkeit ist für Atome desselben Elements immer gleich - Sie ist eine Naturkonstante. Verschiedene Elemente haben jedoch eine unterschiedliche Zerfallswahrscheinlichkeit.

### Übung:

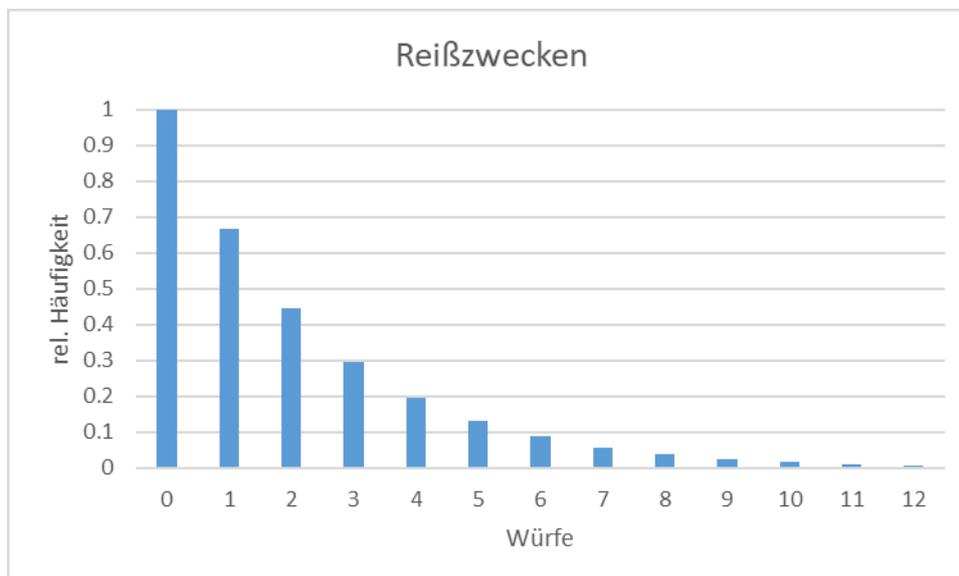
1. Stell dir vor du hast 10.000 instabile Atomkerne desselben Elements mit der Zerfallswahrscheinlichkeit  $1/5$  pro Zeitintervall. Wie viele instabile Atomkerne sind nach dem Zeitintervall 1 bis 5 Sekunden noch da?

## Halbwertszeit

Bei der Halbwertszeit handelt es sich um die Zeit nach der die Hälfte aller instabilen Atomkerne eines Ensembles zerfallen sind. Man kann sich auch die Halbwertszeit von Reißzwecken berechnen.

### Reißzwecken mit aussortieren

Wenn du sehr viele Reißzwecken hast und immer die, die auf der flachen Seite landen, aussortierst, dann wirst du feststellen, dass du am Ende eine Verteilung hast, die so aussieht. Denn am Anfang sind noch mehr Reißzwecken da, die alle mit einer Wahrscheinlichkeit von  $1/3$  auf der flachen Seite landen.



In diesem Fall wäre die Halbwertszeit gar keine Zeit, sondern würde zwischen erstem und zweitem Wurf liegen.

**Nun aber wirklich HalbwertsZEIT: *Springblobbs kontinuierlich***

Wenn man nun nicht die Würfe zählt, sondern bei den Springblobbs zum Beispiel zählt, wie viele noch liegen nach 5 Sekunden – nach 10 Sekunden – nach 15 Sekunden usw., dann bekommt man eine kontinuierliche Kurve.

**Lehr-Lern-Einheit - Auszug VI:** Zusätzliches Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall in Iteration 2

Das Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall vermittelt die folgenden Schlüsselideen:

1. Der Zerfall eines instabilen Atomkerns ist kein Prozess, sondern spontan.
2. Man kann vorhersagen, wie viele instabile Atomkerne eines Elements sich in einem Zeitintervall umwandeln werden. Die Zeit, wann sich ein bestimmter Atomkern umwandelt, ist nicht vorhersagbar.
3. Für eine Quelle mit einer großen Anzahl an instabilen Atomkernen gibt die Halbwertszeit die Zeit an, in der die Hälfte der instabilen Atomkerne zerfallen sind.

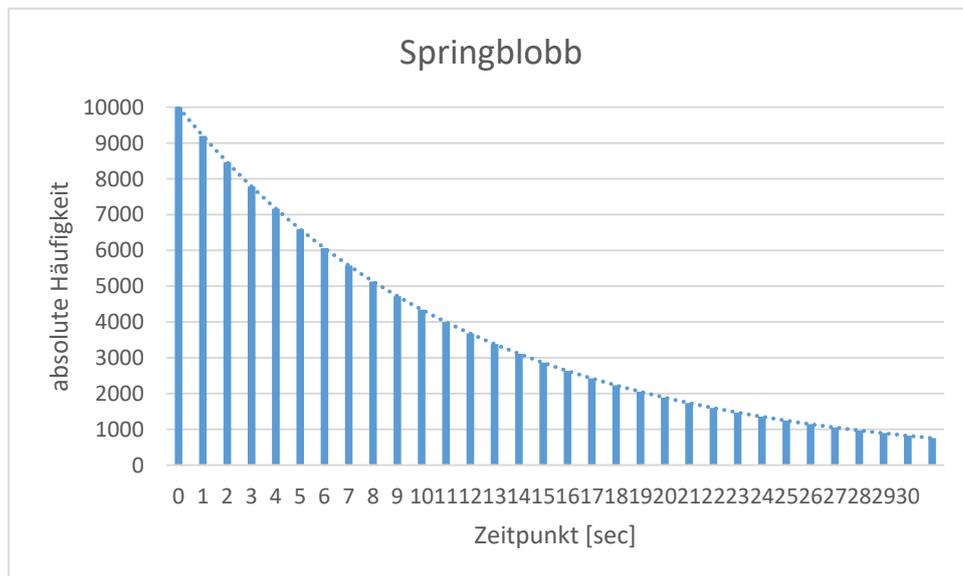
*11.4.1.4 Aufgaben zum radioaktiven Zerfall*

Zum radioaktiven Zerfall werden die folgenden Aufgaben gestellt:

**Aufgabe:**

4.1 Kannst du dir vielleicht schon vorstellen, wie das aussehen wird?

4.2 Was ist die Halbwertszeit der Springblobbs und was bedeutet das?



4.3 In einem Ensemble von instabilen Atomkernen haben die Atomkerne eine Zerfallswahrscheinlichkeit von  $\frac{1}{4}$  pro Sekunde. Zu Beginn sind 10.000 instabile Atomkerne desselben Elements im Ensemble. Kannst du die Halbwertszeit herausfinden? Was bedeutet diese Halbwertszeit?

4.4 Wie gehst du vor, wenn du weißt, dass die Halbwertszeit eines Elements 1 min beträgt und du möchtest herausfinden, wie viele instabile Atomkerne nach 3 min noch nicht zerfallen sind, also noch instabil sind? Zeichne den Graphen.

4.5 Bisher sind wir davon ausgegangen, dass wir instabile Kerne beobachten können. Jedoch können wir das leider nicht. In Wirklichkeit messen wir nur das Zerfallsprodukt, zum Beispiel ein  $\alpha$ -Teilchen. Stell dir vor wir haben 100 instabile Kerne gesammelt, die durch Aussendung eines  $\alpha$ -Teilchens zerfallen. Die Kerne haben eine Halbwertszeit von 10 Sekunden. Wir messen die  $\alpha$ -Teilchen. Zeichne im untenstehenden Plot ein, wie viele  $\alpha$ -Teilchen in den jeweiligen Zeitintervallen gemessen werden.

### Lehr-Lern-Einheit - Auszug VII: Anwendungsaufgaben zur Halbwertszeit in Iteration 2

Dieses Design wurde mit drei Jugendlichen, im folgenden J1, J2 und J3 genannt, getestet. Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung werden im nächsten Paragraphen vorgestellt.

#### 11.4.2 Ergebnisse

##### 11.4.2.1 Akzeptanz und Paraphrasierung

Das Informationsangebot wurde in dieser zweiten Iteration deutlich ausgebaut. Dabei wurde nicht nur die Zeitkomponente eingehender diskutiert, sondern auch der radioaktive Zerfall besprochen. Wie auch schon in der ersten Iteration akzeptieren die Jugendlichen das Informationsangebot vollständig. Die Jugendlichen erklärten wieder, dass Ihnen die Erklärung zum Gesetz der Großen Zahlen schon bekannt war. Der Jugendliche J2 sagte:

*„Das kenne ich halt aus der Schule jetzt schon deswegen war das jetzt eher selbstverständlich“*

Der Jugendliche J1 sagte zum Beispiel, dass es „alles logisch“ sei. Auch das Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall wurde von den Jugendlichen akzeptiert. Insbesondere die Erklärung der instabilen Kerne mit Hilfe der Springblobbs wurde von den Jugendlichen als sehr anschaulich empfunden. Der Jugendliche J2 sagte:

*„Das mit dem Springblobb und den instabilen und stabilen Kernen das kann ich schon gut nachvollziehen (...) Ich habe es jetzt bildhafter verstanden mit dem Blobb war das halt gut des zu verstehen“*

Obwohl die Jugendlichen das Informationsangebot akzeptiert haben, hatten sie große Probleme bei der Paraphrasierung. Das Gesetz der großen Zahlen konnten die Jugendlichen ohne

Probleme mit eigenen Worten wiedergeben, dabei erwähnte jedoch kein Jugendlicher die Zeitkomponente. Als die Befragende nachfragte, wie das dann bei den Springblobbs sei, konnten sie keine zufriedenstellende Antwort geben. Auch mit ein bisschen Hilfe konnten sie den Zusammenhang zwischen den Reißzwecken und den Springblobbs nicht herstellen. Der Jugendliche J1 sagt:

*„Ja man ist halt von dem Würfel wo dann eigentlich alles gleichverteilt ist - zur Stecknadel die halt ein kleines bisschen unterschiedlich ist bis zum Springblobb der halt komplett wild ist“*

Dieser Jugendliche erkennt nicht, dass sich der Springblobb pro Zeitintervall wie die Reißzwecke verhält.

Die Erklärung zu stabilen und instabilen Kernen sowie die Halbwertszeit konnte von den Jugendlichen gut paraphrasiert werden. Alle Jugendlichen griffen bei der Paraphrase auch wieder auf die Springblobbs zurück. Der Jugendliche J1 sagte:

*„Bei den Springblobbs kann man ja auch so nicht sagen, wann die hochspringen, und dass ist ja genau bei den radioaktiven Kernen so. Also ist das so ziemlich genau das gleiche man hat es einmal halt groß und einmal auf atomaren Level“*

Der Jugendliche versteht, dass es sich bei den Springblobbs um ein makroskopisches Modell handelt.

#### 11.4.2.2 Aufgaben

Die Jugendlichen hatten bei den Anwendungsbeispielen teilweise kleinere bis größere Probleme. Tabelle 11-3 zeigt die Ergebnisse der Analyse der Anwendungsbeispiele.

Schüler	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	2.4	3	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
J1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓	✓	✓
J2	✓	?	✓	?	✓	✓	✓	-	?	?	✓	✓
J3	✓	?	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	?	✓

**Tabelle 11-3** Ergebnisse zu den Anwendungsbeispielen der Lehr-Lern-Einheit in Iteration 2

Bei den Aufgaben gab es Anwendungsaufgaben nach dem Informationsangebot und Übungen und kleinere Experimente während des Informationsangebots. Das kleine Experiment mit den Halbkugeln (Aufgabe 1.2) wurde während des Informationsangebots durchgeführt, es soll jedoch trotzdem hier als Anwendungsbeispiel diskutiert werden, denn zwei der Jugendlichen hatten kleine Probleme bei diesem Experiment. Der Jugendliche J3 sagte:

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

*„Ich würde sie ausschütten und dann zähle ich die, die auf einer Seite landen (Interviewerin: Mach mal) Dann müsste die Gesamtanzahl anschauen und die Anzahl, die auf Flach liegen nehmen (Interviewerin: Ok und wenn du jetzt nochmal das gleich machst bekommst du dann die gleiche Anzahl?) Nein, also unwahrscheinlich (Interviewerin: Hast du dann die Wahrscheinlichkeit gefunden?) Ja die Wahrscheinlichkeit in dem Moment also die relative Häufigkeit also die relative Wahrscheinlichkeit habe ich durch das Experiment also nicht gegeben“*

Dieser Jugendliche vermischt Begriffe wie relative Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit zu relative Wahrscheinlichkeit. Er denkt durch Experimentieren kann man nur eine vorläufige Wahrscheinlichkeit bestimmen. Später in der Befragung kann der Jugendliche das Gesetz der großen Zahlen richtig erklären, zu diesem Zeitpunkt hat er es aber wahrscheinlich noch nicht verstanden.

Der Jugendliche J2 beschrieb sein Vorgehen so:

*„(...) Also ich kann das jetzt quasi so machen, dass sich das jetzt so extrapolier (...) in dem ich mir die Kugeln halt genau anschau (Interviewerin: Ok wie würdest du sie dir genau anschauen?) (nimmt eine Kugel) ich würde sagen, dass es halt 50% ist, dass es auf der flachen Seite landet und 50% dass es auf der anderen Seite landet (Interviewerin: Ok wie kommst du auf diese Hypothese?) Ja weil das ja eine Halbkugel ist und dadurch ist es halt für mich zumindest 50:50“*

Er möchte die Wahrscheinlichkeitsverteilung nicht experimentell bestimmen, sondern durch Betrachtung des Objekts abschätzen. Seine Abschätzung weist auf einen Gleichverteilungsbias hin. Auf die Frage, wie er die Verteilung experimentell bestimmen würde, kann er die Aufgabe jedoch ohne Probleme lösen.

Die Aufgaben zum Springblobb können die Jugendlichen gut lösen. Dies könnte jedoch an der Fragestellung liegen. Es bleibt unklar, ob die Jugendlichen den Sachverhalt wirklich verstanden haben. Die Jugendlichen müssen zur Beantwortung der Fragen nur vom Graphen ablesen und einen Wert nennen und nicht näher auf den Sachverhalt eingehen. Hinweise dafür, dass die Zeitkomponente nicht gut verstanden wurde, sind im ersten Anwendungsbeispiel zum radioaktiven Zerfall zu finden.

Die Jugendlichen J2 und J3 haben mittlere bis große Probleme, dieses Beispiel zu lösen. Sie werden gefragt, wie die Verteilung der Springblobbs aussieht, wenn man sie über einen längeren Zeitraum springen lässt, und was dann ihre Halbwertszeit wäre.

Zur Verteilung der Springblobbs sagte J2:

*„Das müsste in dem Fall ja dann eine Gerade sein, weil es ja in jedem Zeitintervall immer nahezu gleich viele blobben, es hat einen kleinen Ausschlag gegeben bei 10 bis 15 Sekunden. Bei den Reißzwecken war es ja so, dass sie unterschiedlich verteilt waren, und bei den Springblobbs waren die ja in den Zeitintervallen mehr oder weniger gleichverteilt, von daher sollte es eine Gerade sein“*

Diese Aussage zeigt, dass die Verteilung zu den Springblobbs nicht verstanden wurde. Insbesondere ist der Zusammenhang zwischen dem Zeitintervall und einem Wurf nicht klar. Die Halbwertszeit der Springblobbs kann er richtig angeben. Mit der nächsten Aufgabe, bei der er die Halbwertszeit von Atomkernen angeben soll, hat er jedoch Probleme. Er bearbeitet die Aufgabe wie folgt:

*„Die Wahrscheinlichkeit ist ein viertel pro Sekunde, das heißt nach dem ersten sind dann noch 75% vorhanden, das wäre dann der erste Strich hier (rechnet mit Taschenrechner) 1875 also noch 5600 (rechnet weiter) Also man hat dann halt mehr oder weniger eine abnehmende Kurve also gleich wie bei den Blobbs (Interviewerin: Kannst du dann die Halbwertszeit nennen?) Ja indem dass ich das jetzt so gesehen bis 0 durchführe und dass dann genauso wie bei den Blobbs die Hälfte der Zeit nimm (...) Nach 5 Sekunden wäre es halt dann die Hälfte der Zeit jetzt, wenn man es auf 10 Sekunden betrachtet.“*

Wie schon Jugendliche in der ersten Iteration verwechselt dieser Jugendliche die Halbwertszeit mit der Hälfte der Zeit.

Der Jugendliche J3 erkennt zwar, dass es sich im Falle der Springblobbs wieder um eine exponentielle Verteilung handeln muss, er sagt aber zur Halbwertszeit das Folgende:

*„Zwischen 8 und 9 sind die Hälfte der Springblobbs gesprungen, aber das hat nix mit der Zeit zu tun eigentlich, sondern das ist nur die Zeit, in der diese absolute Häufigkeit eintritt, aber es muss jetzt nicht nochmal 8 bis 9 Sekunden dauern, bis die nächsten springen, das kann auch länger oder kürzer dauern. Also in diesem Fall kürzer“*

Laut ihm hat die Halbwertszeit nichts mit der Zeit zu tun, sondern lediglich mit der absoluten Häufigkeit, und ändert sich, je nach dem, wie viele Springblobbs noch nicht gesprungen sind.

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Beide Jugendliche J2 und J3 können die vierte Aufgabe, in der die Halbwertszeit gegeben ist, nicht ohne die Angabe der absoluten Häufigkeit lösen.

Der Jugendliche J1 hatte keinerlei Probleme bei den Anwendungsbeispielen. Er hatte jedoch bei dem Beispiel, dass im Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall gegeben wird, kleiner Schwierigkeiten. Dieses Beispiel wurde vor der Erläuterung der Halbwertszeit gegeben. Bei diesem Beispiel soll angegeben werden, wie viele instabile Atomkerne mit Zerfallswahrscheinlichkeit  $1/5$  nach dem ersten Zeitintervall noch instabil sind. Er löst die Aufgabe wie folgt:

*„Man weiß ja auf jeden Fall die Halbzeit, das ist dann ja die Hälfte und dann ist ja wenn ein Fünftel eigentlich zerfallen sollen dann müssten ja 4/5 eigentlich noch da sein (Interviewerin: Halbzeit?) Ja die Halbzeit ist ja einfach, dass, zum Beispiel, es gibt ja verschiedene radioaktive Teile und die haben alle eine unterschiedliche Halbzeit und dann nach dieser Zeit ist ja die Hälfte des Stoffes zerfallen. Also könnte man ja einfach reintheoretisch einfach so eine Linie zeichnen (deutet eine lineare Funktion an)“*

Es zeigt sich hier, dass der Jugendliche die Ideen der Umwandlung von instabilen zu stabilen Kernen noch nicht verstanden hat. Er bezeichnet instabile Kerne als „radioaktive Teile“ und wendet nicht das Wissen, dass im Informationsangebot geboten wird, an. Wahrscheinlich kommt das Wissen aus der Schule, denn die Halbwertszeit wurde in dieser Einheit noch nicht besprochen. Der Jugendliche jedoch definiert die Halbwertszeit als die Zeit, bei der die Hälfte des Stoffes zerfallen ist. Er bezeichnet die Halbwertszeit als Halbzeit, die für jedes „radioaktive Teil“ anders ist. Wie schon der Jugendliche J2 bei den Springblobbs vermutet er einen linearen Zusammenhang bei den Atomkernen, obwohl die Halbwertszeit noch nicht besprochen wurde.

### 11.4.3 Diskussion und Anforderungen für die nächste Iteration

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung zeigen, dass die Jugendlichen weiterhin große Schwierigkeiten haben, die Zeitabhängigkeit zu verstehen. Die Erklärung zum Problem mit der Zeit ist in diesem Design noch nicht gut gelungen und muss im nächsten Design viel ausführlicher werden. Dabei muss insbesondere auf die Wahrscheinlichkeitsverteilung in einem Zeitintervall eingegangen werden. Die Aufgaben zum Problem mit der Zeit waren in diesem Design noch nicht sehr aussagekräftig. Die Jugendlichen konnten, auch ohne den Sachverhalt zu verstehen, die Aufgaben lösen. Im nächsten Design sollte die Anwendungsaufgabe dazu so gestaltet werden, dass die Jugendlichen ihr Wissen anwenden und äußern müssen.

Die Erklärung des radioaktiven Zerfalls wird von den Jugendlichen akzeptiert. Es bleibt jedoch unklar, ob sie das Wissen auch tatsächlich anwenden können. Die Ergebnisse der Aufgabe 3

deuten darauf hin, dass die spontane Umwandlung des Atomkerns noch nicht klar genug dargestellt wird. Es fehlen noch mehr Anwendungsbeispiele in diesem Zusammenhang. Es erscheint sinnvoll, das Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall noch weiter aufzuteilen in ein Informationsangebot zur Umwandlung instabiler Kerne und eines zur Halbwertszeit.

Obwohl die Jugendlichen im Teil zur Wahrscheinlichkeitstheorie keine Probleme mit Begriffen wie Zufallsexperiment, relative Häufigkeit oder Gesetz der großen Zahlen zeigten, hatten sie, wenn sie über Radioaktivität sprachen, Probleme damit. Es bleibt unklar, ob sie nur Begriffe vermischen, oder ob es ein konzeptionelles Problem ist. Im nächsten Design werden diese Begriffe übersichtlicher definiert und die Jugendlichen bekommen ein eigenes Arbeitsblatt, mit welchem sie solche Begriffe, wenn nötig, nachschlagen können.

### 11.5 Dritte Iteration – Finale Version der Lehr-Lern-Einheit

Die Endversion der Lehr-Lern-Einheit besteht aus einer Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie, in der das Gesetz der Großen Zahlen erläutert wird, einer Einführung zum radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns und einer Erklärung zur Halbwertszeit. Nach jedem Abschnitt wird die Jugendliche oder der Jugendliche nach Akzeptanz befragt, gebeten das neu Gelernte zu wiederholen und an Aufgaben anzuwenden. Die vollständige Lern-Lehr-Einheit wird nun vorgestellt.

#### 11.5.1 Einführung zur Wahrscheinlichkeitstheorie

##### 11.5.1.1 Informationsangebot

Wie schon im ersten und zweiten Design der Lehr-Lern-Einheit wird in diesem Abschnitt der Lehr-Lern-Einheit Wahrscheinlichkeitstheorie als mathematisches Modell, das zufällige Phänomene modelliert, eingeführt. Als eine Möglichkeit, zufällige Phänomene zu modellieren, wird das Gesetz der großen Zahlen genannt. Im Gegensatz zum letzten Design wird nun, obwohl alle Jugendlichen die grundlegenden Begriffe wie Zufallsexperiment, absolute und relative Häufigkeit und das Gesetz der großen Zahlen schon kannten, diese Begriffe in diesem Abschnitt noch einmal wiederholt. Wie im zweiten Design werden zur näheren Erläuterung zwei unterschiedlich Beispiele verwendet. Das Würfeln mit einem Würfel, sowie das Werfen von Reißzwecken. Diese Beispiele haben sich im zweiten Design bewährt.

## Wahrscheinlichkeitsrechnung

In der Wahrscheinlichkeitstheorie werden zufällige Phänomene mit Hilfe von mathematischen Modellen modelliert. Das heißt mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsrechnung können wir in gewissen Maße Vorhersagen über zufällige Ereignisse treffen. Eine Möglichkeit dafür bietet das Gesetz der großen Zahlen.

## 1. Einführung Gesetz der großen Zahlen.

Es besagt, dass wenn du ein Zufallsexperiment sehr oft hintereinander oder viele Experimente gleichzeitig durchführst, die relative Häufigkeit eines Ausgangs der Wahrscheinlichkeit dieses Ausgangs entspricht. Ich möchte das anhand eines Beispiels näher erläutern.

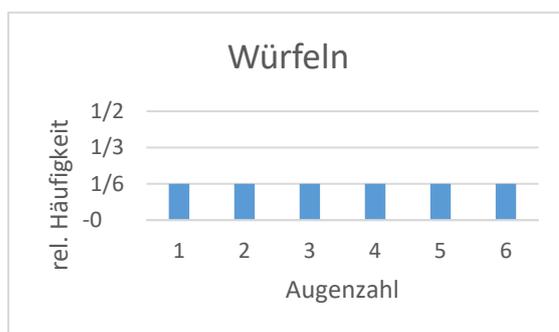
**Zufallsexperiment:** Wenn du zum Beispiel mit einem Würfel würfelst, kannst du nicht vorhersagen, auf welcher Zahl er am Ende landet. Du kannst lediglich Wahrscheinlichkeitsausagen treffen. Würfeln wäre also ein Zufallsexperiment.

**Gesetz der großen Zahlen:** Wenn du sehr oft hintereinander würfelst und notierst, wie oft welche Zahl erscheint, bekommst du eine Verteilung. Während bei einem einzelnen Wurf nicht vorhersagbar ist, auf welcher Zahl der Würfel landet, sieht so eine Verteilung (mit genügend Wiederholungen) immer gleich aus.

**Absolute und relative Häufigkeit:** Zählst du einfach nur, wie oft einer der verschiedenen Ausgänge, also beim Würfeln wie oft eine Eins, eine Zwei usw., gekommen ist, hast du die Verteilung mit der absoluten Häufigkeit bestimmt. Wenn du die absolute Häufigkeit durch die Anzahl der Wiederholungen dividierst, erhältst du die relative Häufigkeit. Die relative Häufigkeit entspricht nach dem Gesetz der großen Zahlen der Wahrscheinlichkeit. Eine Verteilung mit der relativen Häufigkeit nennt man auch Wahrscheinlichkeitsverteilung.

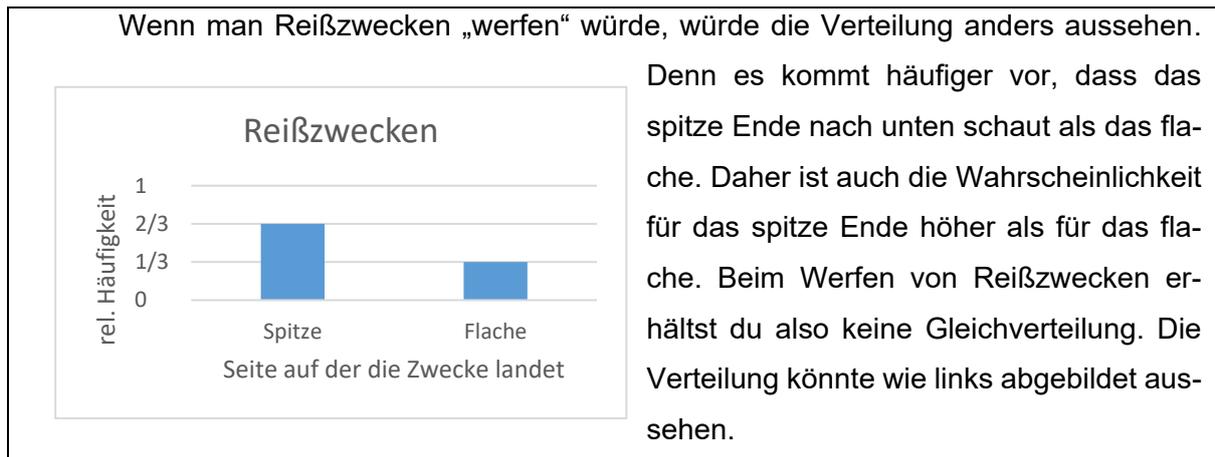
Zwei Beispiele:

### 1. Würfeln: Gleichverteilung



Wenn du mehrmals mit einem Würfel würfelst und zählst, wie oft du eine 1, 2, 3, 4, 5 oder 6 bekommst, wirst du feststellen, dass am Ende alle Zahlen ungefähr gleich oft erscheinen werden. Beim Würfeln erhältst du also eine Gleichverteilung. Diese Verteilung ist im Graphen links abgebildet.

### 2. Reißzwecken: Keine Gleichverteilung



**Lehr-Lern-Einheit - Auszug VIII:** Finales Informationsangebot zum Gesetz der großen Zahlen

Wie wir aus den vorangegangenen Iterationen wissen, ist diese Erläuterung für die meisten Jugendlichen nichts Neues, dennoch sollten die Jugendlichen hier Aufgaben lösen. Das kleine Experiment mit den Halbkugeln hat sich in der letzten Iteration bewährt und wurde in diesem Design daher beibehalten. Es wurde jedoch deutlich mehr strukturiert und mehr Fragen dazu formuliert.

**Aufgaben:**

1. Kannst du mir die Wahrscheinlichkeit dafür nennen, dass eine Reißzwecke beim ersten Wurf auf der flachen Seite landet?
2. Die Halbkugeln:
  - a. Kannst du die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Halbkugel finden?
  - b. Wenn du jetzt diese Box voller Halbkugeln hast, wie würdest du dann vorgehen?
  - c. Könntest du die Wahrscheinlichkeit schon beim ersten Wurf herausfinden?
  - d. Stell dir vor du hast 10.000 Halbkugeln in der Box und du wirfst sie alle gleichzeitig 10-mal hintereinander.
    - i. Wie viele werden pro Wurf auf der flachen Seite landen?
    - ii. Wie hängt das mit der Wahrscheinlichkeit für die flache Seite zusammen?

**Lehr-Lern-Einheit - Auszug IX:** Anwendungsbeispiele zum Gesetz der großen Zahlen

In einem zweiten Teil zur Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie werden zeitabhängige Zufallsvariablen besprochen. Dabei werden wieder die Springblobbs verwendet. Die Zeitabhängigkeit bereitete vielen Jugendlichen im letzten Design große Schwierigkeiten. In diesem Design wird der Zusammenhang zwischen dem Werfen von Würfeln oder Reißzwecken und dem Springen von Springblobbs ausführlicher herausgearbeitet. Dabei wird erklärt, dass beim

Würfeln eine Wahrscheinlichkeit pro Wurf ermittelt wird, während bei den Springblobbs eine Wahrscheinlichkeit pro Zeit ermittelt wird. Dies wird wie folgt erklärt:

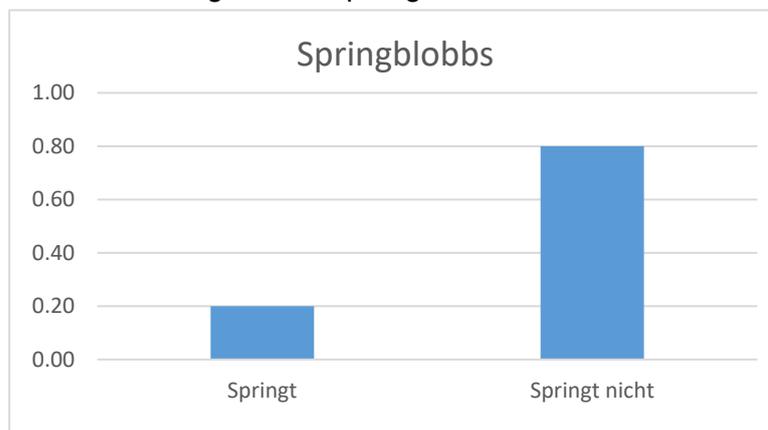
## 2. Das Problem mit der Zeit

Hat man keine 10.000 Halbkugeln, könnte man zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit, dass eine Halbkugel beim Werfen auf der flachen Seite landet, auch **eine** Halbkugel sehr häufig werfen und immer zählen, wie viele Würfe es dauert, bis sie auf einer flachen Seite liegt. In allen Fällen ermittelt man sozusagen eine **Wahrscheinlichkeit pro Wurf**.

Dies ist im Falle von diskreten Wiederholungen wie beim Werfen einer Halbkugel noch recht einfach. Es wird jedoch schwieriger, wenn man eine **Wahrscheinlichkeit pro Zeit** ermitteln möchte.

Zum Beispiel bei diesen Springblobbs.

Sie haben eine gewisse Sprungwahrscheinlichkeit, die für jedes Zeitintervall gleich ist.



Springt der Springblobb zum Beispiel mit einer Wahrscheinlichkeit von  $2/10$  pro Zeitintervall, würde die Wahrscheinlichkeitsverteilung für jedes Zeitintervall, wie links abgebildet, aussehen.

In diesem Fall gibt man eine Wahrscheinlichkeit pro Zeit an, es ist also zufällig, dass der Springblobb zu einem gewissen Zeitpunkt springt. Bei den Halbkugeln gibt man eine Wahrscheinlichkeit pro Wurf an, es ist also zufällig, dass die Halbkugel bei einem Wurf auf der flachen Seite landet.

### Wie ermittelt man so eine Wahrscheinlichkeit pro Zeit?

Zum Ermitteln der Sprungwahrscheinlichkeit kann man zum Beispiel einen Springblobb sehr häufig springen lassen und jedes Mal die Zeit solange stoppen, bis er springt. Auch hier wird man nach sehr häufigen Wiederholungen eine Sprungwahrscheinlichkeitsverteilung pro Zeit feststellen können, also mit welcher Wahrscheinlichkeit er in einem Zeitintervall springt.

### Warum Zeitintervalle?

Zeitintervalle verwendet man zur Vereinfachung, da die Zeit eine kontinuierliche Größe ist. Zum Beispiel zählt man, wie oft der Blobb im ersten Zeitintervall gesprungen ist (1-5 Sekunden), wie oft er im zweiten Zeitintervall gesprungen ist (5-10 Sekunden) usw..

**Lehr-Lern-Einheit - Auszug X:** Informationsangebot zum Problem mit der Zeit

Diese Erklärung zu Wahrscheinlichkeit pro Zeit dient zur Vorbereitung für die Erklärung zum radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns.

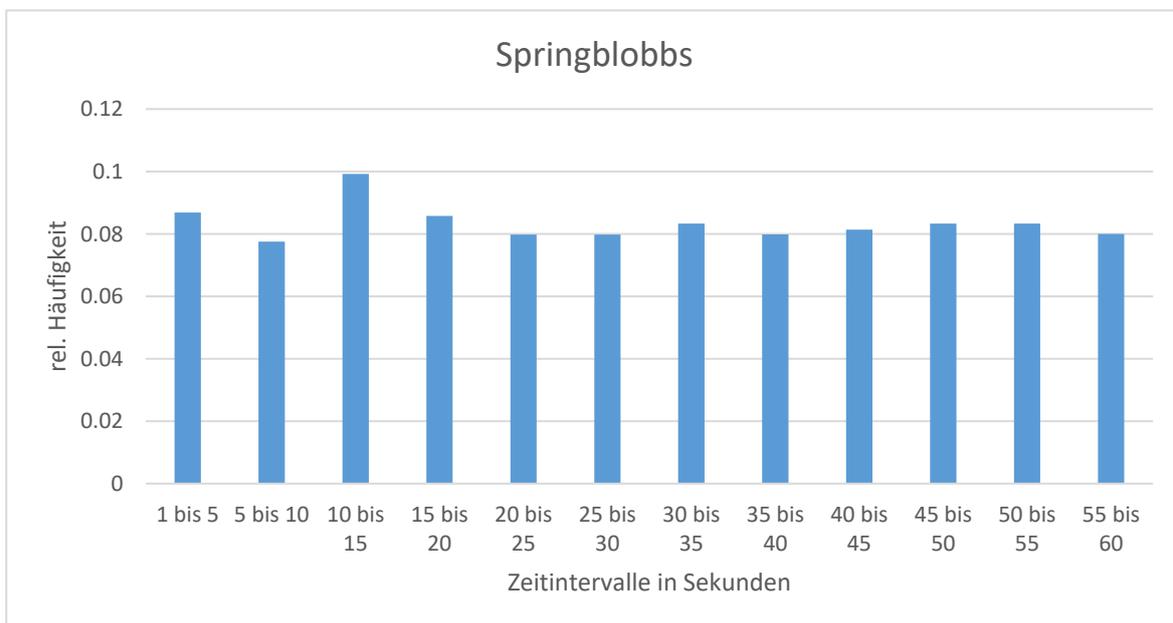
Nach diesen Informationseinheiten wurden die Jugendlichen gebeten, das neue Informationsangebot zu bewerten und noch einmal in eigenen Worten zusammenzufassen. Danach sollten sie ihr neu erworbenes Wissen an Beispielen anwenden. Die dafür ausgewählten Übungen werden nun vorgestellt.

*11.5.1.2 Anwendungsbeispiele*

Wie in der letzten Iteration wurde auch in diesem Design einige Fragen zum Gesetz der großen Zahlen während des Informationsangebots gestellt. Den Jugendlichen waren jedoch Beispiele zu Würfeln und Reißzwecken schon aus der Schule bekannt. In den Anwendungsbeispielen wird daher wieder das Hauptaugenmerk auf Probleme mit der Zeit gesetzt. Wie schon im letzten Design wurden die Jugendlichen gebeten, den Graphen zu interpretieren.

**Aufgaben**

Alexandra hat 10.000 Springblobbs springen lassen und die Zeit gestoppt. Das sind ihre Ergebnisse.



1. Interpretiere den Graphen.
  - a. Was würdest du Alexandra raten?
  - b. Wie wahrscheinlich ist es, dass der Springblobb im Zeitintervall 20 bis 25 springt?

2. Stell dir vor du hast 10.000 Springblobbs mit der Sprungwahrscheinlichkeit  $8/100$  pro Zeitintervall. Wie viele Springblobbs sind nach dem Zeitintervall 1 bis 5 Sekunden noch nicht gesprungen?

### Lehr-Lern-Einheit - Auszug XI: Anwendungsbeispiel zum Problem mit der Zeit

Da im letzten Design die Interpretation des Graphen fehlte und die Fragen zu wenig aussagekräftigen Antworten führten, wurden nun nicht mehr so viele Detailfragen zum Graphen gestellt. Die Fragen sind nun absichtlich sehr vage formuliert. Ziel ist es, dass die Jugendlichen erkennen, dass die Wahrscheinlichkeit in allen Intervallen gleich groß ist, und, dass noch mehr Wiederholungen durchgeführt werden müssen.

In einem zweiten Beispiel werden die Jugendlichen gefragt, wie viele Springblobbs (mit Sprungwahrscheinlichkeit  $8/100$ ) nach dem ersten Zeitintervall noch nicht gesprungen sind. Mit dieser Frage soll festgestellt werden, ob die Jugendlichen den Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit verstanden haben. Sie sollen also verstehen, dass man mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit eine Voraussage für eine große Anzahl von Ereignissen machen kann.

### 11.5.2 Einführung zum radioaktiven Zerfall

#### 11.5.2.1 Informationsangebot

Die Erklärung zum radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns funktionierte im letzten Design schon relativ gut. Es wurde lediglich der Begriff der Umwandlung noch ein wenig ausführlicher behandelt. In der Erklärung werden die Springblobbs als Modell für den radioaktiven Zerfall eines Atomkernes verwendet. Insbesondere dienen sie zur Erläuterung von stabilen und instabilen Kernen. In dieser Erklärung wird auch erläutert, dass radioaktive Zerfälle einer Umwandlung entsprechen. Die Erklärung ist wie folgt:

## Der radioaktive Zerfall

Bisher haben wir verschiedene Modelle verwendet, um die Wahrscheinlichkeitstheorie mit dem Gesetz der großen Zahlen etwas verständlicher zu machen. Das makroskopische Modell mit den Springblobbs eignet sich jedoch gut, um den radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns zu modellieren.

### Stabile Kerne und instabile Kerne:

Beim radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns ist es ähnlich wie bei den Springblobbs. Man kann zum Beispiel sagen, dass wenn der Blobb umgeklappt ist, dann ist er

instabil. Wenn er einmal gesprungen ist, dann ist er zerfallen, also stabil. Es gibt Atomkerne die aufgrund ihrer inneren Struktur instabil sind, also spontan zerfallen. Mit zerfallen meint man hier „in einen stabileren Zustand“ übergehen. Das heißt, wenn der instabile Atomkern nach Emission eines Teilchens stabil ist, wird er nicht weiter zerfallen.

Im Grunde wäre es besser, wenn man anstatt „Zerfall“ „Umwandlung“ oder „Transformation“ sagen würde. Denn der Atomkern zerfällt nicht in einzelne Teile oder auch nicht kontinuierlich bis nichts mehr da ist, sondern er wandelt sich unter Aussendung eines Teilchens um.

Wir betrachten den einfachsten Fall: Es wandelt sich ein instabiler Atomkern einmal um und ist danach stabil, so wie bei den Springblobbs.

#### Lehr-Lern-Einheit - Auszug XII: Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall - Teil 1

Zusätzlich wird auch die Zerfallswahrscheinlichkeit eingeführt. Dazu dient der Vergleich mit der Sprungwahrscheinlichkeit pro Zeit, die aus der Erklärung zur zeitabhängigen Zufallsvariable aus dem Teil zur Wahrscheinlichkeitstheorie schon bekannt ist. Die Erklärung ist wie folgt:

Die Sprungwahrscheinlichkeit pro Zeit wird nun Zerfallswahrscheinlichkeit genannt, also eine Wahrscheinlichkeit, dass sich ein instabiler Atomkern in einem Zeitintervall umwandelt. Diese Wahrscheinlichkeit ist für Atome desselben Elements immer gleich - Sie ist eine Naturkonstante.

Verschiedene Elemente haben jedoch eine unterschiedliche Zerfallswahrscheinlichkeit. Der Zeitpunkt, wann sich ein einzelner Atomkern umwandelt, ist zufällig. Mit dem Gesetz der Großen Zahlen kann man also, wenn man viele instabile Atomkerne desselben Elements hat, die Zerfallswahrscheinlichkeit bestimmen.

#### Lehr-Lern-Einheit - Auszug XIII: Informationsangebot zum radioaktiven Zerfall - Teil 2

Damit sollen die Jugendlichen auf die Erklärung zu Halbwertszeit vorbereitet werden.

Im nächsten Abschnitt wird der radioaktive Zerfall eines instabilen Atomkerns besprochen. Zu diesem Thema wird am Ende ein Anwendungsbeispiel gebracht.

##### 11.5.2.2 Anwendungsbeispiele

Die erste Aufgabe wurde aus dem letzten Design der Lehr-Lern-Einheit übernommen. Die Jugendlichen sollen zunächst angeben, wie viele von 10.000 instabilen Atomkernen mit Zerfallswahrscheinlichkeit ein Fünftel pro Zeitintervall nach dem ersten Zeitintervall noch nicht umgewandelt sind. Es soll festgestellt werden, ob die Jugendlichen den Vergleich mit den Springblobbs verstehen, und so vorgehen, wie im zweiten Anwendungsbeispiel zur Wahrscheinlichkeitstheorie. Im zweiten Teil sollen die Jugendlichen den Graphen für die ersten zehn Zeitintervalle zeichnen. Dabei wird darauf geachtet, ob Jugendliche das Wissen über die

gleichbleibende Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall anwenden können und verstehen, dass der Graph exponentiell fällt, weil sich die Ausgangsmenge ändert. Dieses Beispiel soll die Jugendlichen auch auf den letzten Teil der Lehr-Lern-Einheit vorbereiten.

### Aufgabe:

1. Stell dir vor du hast 10.000 instabile Atomkerne desselben Elements mit der Zerfallswahrscheinlichkeit  $1/5$  pro Zeitintervall. Wie viele instabile Atomkerne sind nach dem ersten Zeitintervall noch nicht umgewandelt?
2. Zeichne den Graphen für die ersten 10 Zeitintervalle. Du startest mit 10.000 instabilen Atomkernen, die nach einmaligem Zerfall stabil sind.

### Lehr-Lern-Einheit - Auszug XIV: Anwendungsaufgaben zum radioaktiven Zerfall

Zur Aufgabe 2 bekamen die Jugendlichen ein Blatt Papier mit vorgezeichnetem Koordinatensystem.

#### 11.5.3 Erklärung der Halbwertszeit

##### 11.5.3.1 Informationsangebot

In der Erklärung zur Halbwertszeit wurde nicht viel verändert. Es werden weiterhin zwei Beispiele verwendet. Einerseits wird die Halbwertszeit von Reißzwecken ermittelt und andererseits diejenige der Springblobbs. Im Vergleich zum letzten Design wurde das Modell der Reißzwecken detaillierter herausgearbeitet und beschrieben. Dabei soll den Jugendlichen wieder der Vergleich mit dem Wurf und der Zeit aufgezeigt werden. Es wird erklärt, dass im Falle der Reißzwecken die Halbwertszeit gar keine Zeit ist. Ermittelt man nämlich die Halbwertszeit von Reißzwecken liegt diese zwischen zwei Würfeln. Die Zeit wird also zunächst aus der Erklärung genommen, um der Idee vorzubeugen, dass die Halbwertszeit die Hälfte der Zeit wäre, die ein Atomkern benötigt, um zu zerfallen. Mit den Springblobbs wird dann aber auch die Halbwertszeit als Zeit eingeführt.

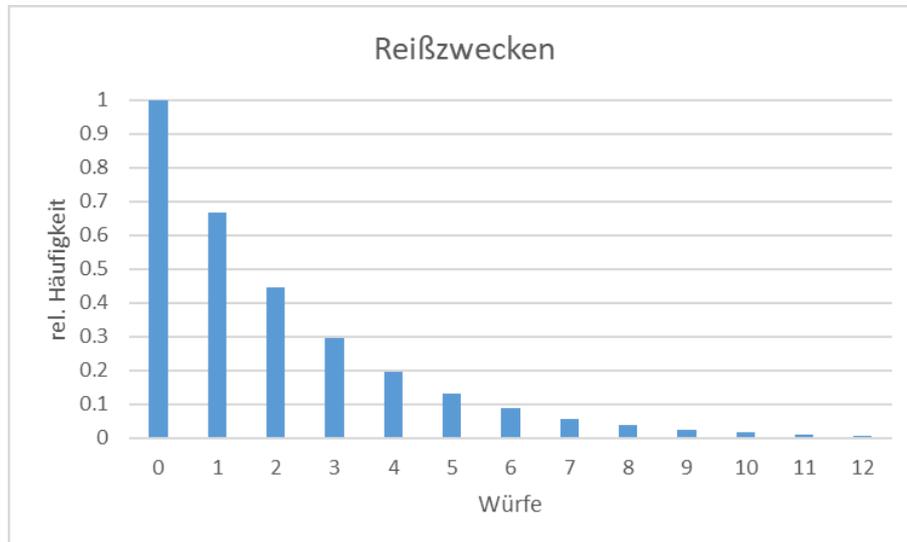
## Halbwertszeit

Bei der Halbwertszeit handelt es sich um die Zeit, nach der sich die Hälfte aller instabilen Atomkerne eines Ensembles umgewandelt haben. Man kann auch die Halbwertszeit von Reißzwecken berechnen.

### Reißzwecken mit aussortieren

Wir werfen wieder Reißzwecken als Modell für instabile Atomkerne. Nun lassen wir jedoch die, die auf der flachen Seite landen, liegen. Sie sind stabil und wollen sich nicht mehr umwandeln. Beim nächsten Wurf nehmen wir die, die nicht auf der flachen Seite gelandet sind, und werfen sie wieder. Wir zählen jeweils, wie viele „instabile“ Reißzwecken noch da sind,

und tragen das in ein Diagramm ein. Am Ende wird die Verteilung so aussehen. Denn am Anfang sind noch alle Reißzwecken „instabil“ und werden zu einem  $\frac{1}{3}$  Wahrscheinlichkeit beim ersten Wurf auf der flachen Seite landen. Beim nächsten Wurf sind schon ein  $\frac{1}{3}$  der Reißzwecken „stabil“ und werden nicht mehr mit geworfen usw.

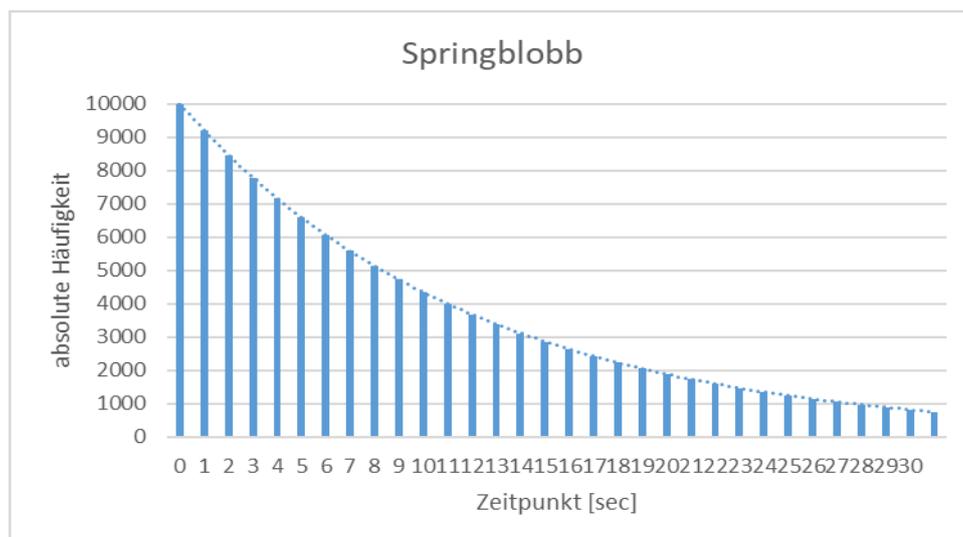


In diesem Fall wäre die Halbwertszeit gar keine Zeit, sondern würde zwischen erstem und zweitem Wurf liegen, sozusagen der Halbwertswurf.

**Nun aber wirklich HalbwertsZEIT: Springblobbs**

Wir verwenden wieder das Modell der Springblobbs für instabile Atomkerne und zählen, wie viele pro Sekunde noch liegen bleiben, also noch „instabil“ sind. Das können wir jetzt nicht ausprobieren, weil es viel zu schwierig ist, genügend viele Springblobbs gleichzeitig zu spannen und loszulassen. Wir können es jedoch mit 10 probieren und vielleicht schon erahnen, wie die Verteilung mit 10.000 aussehen würde. (*Bereitet Apparatur vor*)

Kannst du dir vorstellen, wie das aussehen könnte?



Kannst du sagen, wo die Halbwertszeit liegt?

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Nach dieser Informationseinheit wurden die Jugendlichen gebeten, das neue Informationsangebot zu bewerten und noch einmal in eigenen Worten zusammenzufassen. Danach sollten sie ihr neu erworbenes Wissen an Beispielen anwenden. Die dafür ausgewählten Übungen werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

### 11.5.3.2 Anwendungsbeispiele

Zur Halbwertszeit sollen Jugendliche die folgenden vier Anwendungsbeispiele lösen. Zu den Aufgaben 2 und 3 bekamen die Jugendlichen ein Blatt Papier mit vorgezeichnetem Koordinatensystem.

#### **Aufgabe:**

- 1) In einem Ensemble von instabilen Atomkernen haben die Atomkerne eine Zerfallswahrscheinlichkeit von  $\frac{1}{4}$  pro Sekunde. Zu Beginn sind 10.000 instabile Atomkerne desselben Elements im Ensemble. Kannst du die Halbwertszeit herausfinden?
- 2) Wie gehst du vor, wenn du weißt, dass die Halbwertszeit eines Elements 1 min beträgt, und du möchtest herausfinden, wie viele instabile Atomkerne nach 3 min noch nicht zerfallen sind, also noch instabil? Zeichne den Graphen.
- 3) Bisher sind wir davon ausgegangen, dass wir instabile Kerne beobachten können. Jedoch können wir das leider nicht. In Wirklichkeit messen wir nur das Zerfallsprodukt, zum Beispiel ein  $\alpha$ -Teilchen. Stell dir vor wir haben 100 instabile Kerne gesammelt, die durch Aussendung eines  $\alpha$ -Teilchens zerfallen. Die Kerne haben eine Halbwertszeit von 10 Sekunden. Wir messen die  $\alpha$ -Teilchen. Zeichne im untenstehenden Plot ein, wie viele  $\alpha$ -Teilchen in den jeweiligen Zeitintervallen gemessen werden.
- 4) Stell dir vor du hast 10 instabile Atomkerne (vom selben Element) in einem Käfig gefangen. Dein Ziel ist es, einen Zerfall zu beobachten. Du kannst aber nur ein kurzes Zeitintervall auswählen, in welchem du die Kerne beobachten möchtest. Was wäre deine bevorzugte Beobachtungszeit?

#### **Lehr-Lern-Einheit - Auszug XVI: Anwendungsaufgaben zur Halbwertszeit**

Zunächst sollen die Jugendlichen die Halbwertszeit herausfinden, wenn die Anfangsmenge und die Zerfallswahrscheinlichkeit angegeben ist. Danach sollen die Jugendlichen grafisch ermitteln, wie viele von 10.000 instabilen Atomkernen nach drei Halbwertszeiten im Ensemble noch nicht umgewandelt sind. Diese Aufgaben dienen der Überprüfung, ob die Jugendlichen einerseits den Begriff der Halbwertszeit als die Zeit, in der die Hälfte aller instabilen Atomkerne sich umgewandelt haben, verstehen, und andererseits, ob sie verstehen, dass diese unabhängig von der Anfangszeit ist.

Im dritten Beispiel wird klar gestellt, dass wir in Wirklichkeit lediglich Zerfallsprodukte wie das  $\alpha$ -Teilchen messen können. Jugendliche werden gebeten, den Graphen für die gemessenen

$\alpha$ -Teilchen pro Zeitintervall zu zeichnen. Im letzten Beispiel sollen die Jugendlichen darüber nachdenken, wann sie gerne zehn instabile Atomkerne in einem Käfig beobachten würden.

#### 11.5.4 Stichprobe

Die Lehr-Lern-Einheit wurde zunächst auf Basis der Erkenntnisse aus der Schülervorstellungsstudie zu Zufall designt. Dieses Design wurde insgesamt zwei Mal überarbeitet (vgl. Paragraphen 11.3 und 11.4). Die Endversion der Lehr-Lern-Einheit wurde dann mit sieben Jugendlichen getestet. Zum Testen der Endversion wurde versucht, trotz der kleinen Stichprobe ein möglichst großes Spektrum abzudecken. Drei Jugendliche besuchen ein Gymnasium mit Schwerpunkt Musik und Sport und haben nur wenig Physikunterricht. Trotz ihres großen Interesses an Naturwissenschaften können sie als Jugendliche mit geringem Physikwissen eingestuft werden. Vier der Jugendlichen besuchen ein Gymnasium für leistungsstarke Jugendliche mit Schwerpunkt Naturwissenschaft und können daher als Jugendliche mit großem Physikwissen eingestuft werden.

Alle sieben befragten Jugendlichen hatten in der Oberstufe noch keinen Unterricht in Radioaktivität. Zwei der leistungsstarken Jugendlichen haben sich jedoch im Vorfeld im Rahmen ihres Praktikums mit dem Thema Strahlung und Radioaktivität auseinandergesetzt.

<b>Wenig Physikunterricht und kein Vorwissen</b>	<b>Viel Physikunterricht und kein Vorwissen</b>	<b>Viel Physikunterricht und mit Vorwissen</b>
Schüler A	Schüler D	Schüler F
Schüler B	Schüler E	Schüler G
Schülerin C		

**Tabelle 11-4:** Übersicht der Stichprobe der Akzeptanzbefragung in Iteration 3

Während bei der Schülervorstellungsstudie noch in etwa gleich viele weibliche wie auch männliche Jugendliche interviewt werden konnten, ist dies in der Studie zur Lehr-Lern-Einheit nicht gelungen. Unten den leistungsstarken Jugendlichen konnte kein Mädchen interviewt werden. Grund dafür ist, dass leider nur wenige Schülerinnen Physik als Leistungskurs wählen und daher in der Besuchergruppe keine Mädchen waren.

#### 11.5.5 Ergebnisse der Lehr-Lern-Einheitsstudie

Für die hier vorgestellten Ergebnisse wurden zunächst für eine möglichst hohe Reliabilität die zu einer Fragestellung gehörenden Kodierungen querschnittartig verglichen und gegebenenfalls angepasst. Danach wurden drei von sieben Interviews von einer unabhängigen Person mit Hilfe des selben Kodierleitfadens erneut kodiert ( $\kappa=0.61$ ). Die Interaterreliabilität ist nicht

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

besonders gut. Daher wurden die Kodierungen mit dem Interrater nochmal diskutiert. Die Gründe für den mittelmäßigen Koeffizienten werden in den Paragraphen 11.5.5.1, 11.5.5.2 und 11.5.5.3 diskutiert.

### 11.5.5.1 Akzeptanz

Wie schon in den anderen Iterationen wurden zunächst relevante Interviewstellen zur Akzeptanz des Informationsangebots der Befragten transkribiert und analysiert. Dabei wurden den drei Akzeptanzstufen die Symbole „✓“ für vollständige Akzeptanz, „?“ für eingeschränkte Akzeptanz und „-“ für keine Akzeptanz zugeordnet. In der Tabelle 11-5 wurden diese Kodierungen zusätzlich mittels Farbverlauf von grün (✓) über gelb (?) zu rot (-) noch leichter ersichtlich gestaltet.

Schülerin/ Schüler	Gesetz der großen Zahlen und Zeitabhängigkeit	Zerfall eines instabilen Atomkerns	Halbwertszeit
A	✓	✓	✓
B	✓	✓	✓
C	✓	✓	?
D	?	✓	✓
E	?	✓	✓
F	?	✓	✓
G	?	✓	✓

**Tabelle 11-5:**Übersicht der Ergebnisse zur Akzeptanz

Die Akzeptanzanalyse zeigt, dass einige der befragten Jugendlichen Probleme mit dem ersten Informationsangebot haben. Die anfängliche Kritik, die geäußert wurde, bezog sich hauptsächlich auf die Einführung zum Problem mit der Zeit. Diese Thematik war für alle Jugendlichen neu und wurde daher von vier von sieben Jugendlichen anfänglich als schwierig empfunden. Der Jugendliche F äußerte das Folgende:

*„Ich fand das jetzt mit der Zeit jetzt ein bisschen problematisch. Also das war jetzt ein bisschen schwerer zu verstehen. Na gut also das andere kannte ich jetzt auch schon größtenteils aus der Schule aber mit der Zeit muss man ein bisschen sich reindenken.“*

Wie schon die ersten Versionen der Lehr-Lern-Einheit zeigen, sorgt die Zeitproblematik bei einigen Jugendlichen anfänglich für Verwirrung. Bei dieser Version der Lehr-Lern-Einheit erkennen die Jugendlichen die Problematik jedoch zum ersten Mal schon vor der Paraphrase. Zwei Jugendliche erkundigen sich noch einmal, ob die das richtig verstanden haben. Der Jugendliche G sagte auf die Frage, ob etwas unverständlich sei:

*„Nee, ich musste nur kurz überlegen bei diesem 2/10 pro Zeitintervall (...) Das hat mir nicht direkt eingeleuchtet, ansonsten (...) Also es lässt sich ja durchaus nachvollziehen, allein schon vom Wort her, aber wie man auf die 2/10 kommt, hat sich mir nicht direkt erschlossen.“*

Der Jugendliche E sagte:

*„Ähm an sich ganz gut. Ich bin ein bisschen von diesem Diagramm - Das verstehe ich nicht ganz, weil wenn - Das sind jetzt die verschiedenen Zeitintervalle oder wie (Interviewerin: Nein. Wir schauen ein einzelnes Zeitintervall an) Und das ist dann die Wahrscheinlichkeit (...) Dann habe ich das verstanden.“*

Beide Jugendliche sind zunächst unsicher, ob sie das Diagramm mit der Wahrscheinlichkeitsverteilung für einen Springblobb richtig verstanden haben. Diese Aussagen wurden vom Interrater als vollständig akzeptiert bewertet.

Der Jugendliche D erklärt:

*„Also ich hab's eigentlich schon so relativ gut verstanden, also ich denke auch man kann so eine Analogie zu dem Versuch mit den Halbkugeln setzen, wenn ich halt versuche die Sprungwahrscheinlichkeit pro Zeitintervall jetzt aufzeichnen (...)“*

Diese Aussage wurde auf Grund der Formulierung „eigentlich schon so relativ gut“ als teilweise akzeptiert bewertet, auch, wenn der Jugendliche dies möglicherweise nicht negativ gemeint hat. Insgesamt scheinen die Jugendlichen den Aspekt des Informationsangebots in der Frage wieder aufzugreifen, da sie diese Wahrscheinlichkeit pro Zeit noch nie zuvor gehört haben.

Auch, wenn das Problem mit der Zeit zunächst zu Verwirrung führte, wurde jedoch bei allen Jugendlichen die Einführung zum Zerfall eines instabilen Atomkerns akzeptiert. Die Erklärung zum Zerfall eines instabilen Atomkerns wurde vollständig akzeptiert. Als besonders hilfreich wurde hier die Analogie mit den Springblobbs hervorgehoben. Die Jugendliche C argumentierte zum Beispiel wie folgt:

Zunächst zum Gesetz der großen Zahlen und der Zeitabhängigkeit sagte sie:

*„Also ich finde es gut, dass es ähm diese Beispiele drin hat damit man sich es auch veranschaulichen kann und trotzdem hat man die Theorie auch gerade dazu also das man zurückgreifen kann auf die Theorie und diese verknüpfen kann mit den Beispielen.“*

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Dann beim Zerfall eines instabilen Atomkerns erklärte sie:

*„Es macht Sinn, wenn man es mit den Springblobbs vergleichen kann. Es ist so also so ist das so unvorstellbar, weil es nicht etwas ist, was man sehen kann. Deshalb ja, das hilft ja.“*

Ein anderer Jugendlicher sagte zur Erklärung des Zerfalls eines instabilen Atomkerns das Folgende:

*„Also es sind also ich finde man muss das ist eigentlich ja ziemlich einfach, weil es ja das gleiche ist wie mit den Springblobbs.“*

Bei der Erklärung zur Halbwertszeit wurde von einer der sieben Jugendlichen Kritik geäußert. Die Jugendliche C sagt:

*„Also mit diesem Diagramm. Also macht das Sinn. (...) Also wenn man es so aufzeichnen kann, dann ist es relativ einfach, die Halbwertszeit herauszufinden, aber es ist Wahrscheinlichkeit schwieriger die Daten zu sammeln um dieses Diagramm zeichnen zu können.“*

Sie sagt, wenn man das so aufbereitet bekommt, dann ist es einfach. Sie zweifelt jedoch daran, dass sie ein solches Diagramm selbst erarbeiten könnte.

Im Gesamten betrachtet stößt keine der Erklärungen auf große Ablehnung bei den Jugendlichen. Vier Jugendliche haben zunächst kleinere Probleme, die Zeitabhängigkeit zu akzeptieren. Diese Probleme scheinen jedoch daran zu liegen, dass es etwas Neues ist und sie sich zunächst einmal Gedanken darüber machen müssen, bevor sie es akzeptieren können. Ein Zusammenhang zwischen Akzeptanz und Vorwissen kann nicht beobachtet werden.

### 11.5.5.2 Paraphrasierung

Nach nach ihrer grundsätzlichen Akzeptanz des Informationsangebots wurden die Jugendlichen gefragt, das neu Gelernte in eigenen Worten wieder zugeben. Dabei wurde darauf geachtet, ob alle Schlüsselideen inhaltlich korrekt wieder gegeben wurden. Wie schon bei der Frage nach Akzeptanz wurden den drei Stufen der Paraphrasierungen die Symbole „✓“ für gelungene Paraphrasierung, „?“ für teilweise gelungene Paraphrasierung und „-“ für nicht gelungene Paraphrasierung zugeordnet. In der Tabelle 11-6 wurden diese Kodierungen zusätzlich mittels Farbverlauf von grün (✓) über gelb (?) zu rot (-) noch leichter ersichtlich.

Schülerin/ Schüler	Gesetz der großen Zahlen und Zeitabhängigkeit	Zerfall eines instabilen Atomkerns	Halbwertszeit
A	✓	✓	✓
B	?	✓	✓
C	✓	✓	✓
D	-	✓	✓
E	✓	✓	✓
F	✓	✓	?
G	✓	✓	?

**Tabelle 11-6:** Übersicht der Ergebnisse zur Paraphrasierung

Bei der Paraphrasierung der Jugendlichen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Frage nach Akzeptanz. Im großen und ganzen gelang den Jugendlichen eine Zusammenfassung in eigenen Worten gut. Nur einem Jugendlichen gelang keine befriedigende Paraphrasierung der Erklärung zum Gesetz der großen Zahlen. Dieses Grundkonzept stellte sich auch als das Schwierigste heraus. Grund dafür ist wiederum die Erklärung zum Problem mit der Zeit. Zwei von sieben Jugendlichen konnte dieses Konzept nicht oder nur teilweise wiedergeben. Der Jugendliche B ist sich bei der Zusammenfassung nicht sicher und muss nachfragen, ob er alles richtig verstanden hat. Er sagt:

*„Wahrscheinlichkeit pro Zeit, das habe ich eben noch nicht ganz verstanden, aber zum Beispiel mit dem Springblobb misst man die Zeit, wie lang benötigt er, um zu springen, dann nachher daher einen gewissen Mittelwert eben zu finden. Darf ich noch was fragen? (...) Könnte man dann sagen jede Sekunde wird ein Würfel geworfen?“*

Auch hier lässt sich feststellen, dass der Jugendliche lediglich verunsichert ist, ob er das neue Konzept richtig verstanden hat. Der Jugendliche D hat hingegen das Konzept falsch verstanden. Er sagt:

*„Ja bei dieser Wahrscheinlichkeit pro Zeit würde ich das halt eben so sehen also diese verschiedenen Zeitintervalle sind halt auch so also sind verschiedene Ereignisse wie bei den Halbkugeln hat man halt gehabt kommt es so auf oder so auf und bei den Springblobb wäre es entsprechend auch der Zeitpunkt wann dieser Springblobb halt hochspringt und halt um die Wahrscheinlichkeit, wann es springt herauszufinden. Wann es springt kann man halt analog zu den Halbkugeln vorgehen man kann oft wiederholen und dann kann man halt die Zeit stoppen, wie lange es braucht bis ähm bis halt*

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

*dieser Springbobb hochspringt, und dann kann man halt die Ergebnisse auch in so einem Diagramm festhalten.“*

Dieser Jugendliche vergleicht den Sprungzeitpunkt und die Ergebnisse beim Werfen der Halbkugeln. Er hat nicht verstanden, dass das Zeitintervall das wiederholte Werfen der Halbkugeln ist.

Es lässt sich jedoch hier feststellen, dass diese anfänglichen Verständnisschwierigkeiten mit diesem Konzept bei der Erklärung zum Zerfall eines instabilen Atomkerns nicht mehr auftreten.

Zum Beispiel fasst der Jugendliche E den Zerfall instabiler Atomkerne wie folgt zusammen:

*“Ja also praktisch kann man das hier mit dem Springbobb relativ gut da drauf übertragen auf den radioaktiven Zerfall. An sich ist es zufällig, wann so ein Kern zerfällt, also man kann halt sagen, das hier ist der instabile Zustand (Springbobb umgeklappt) und man weiß halt früher oder später wird es hochgehen und dann ist es halt stabil und dann passiert dann erstmal nichts mehr. Und das ist genauso bei dem Atom jetzt jedenfalls erstmal bei dieser einfachen Version, die wir uns anschauen. Die sind instabil und wir wissen, irgendwann werden sie zerfallen und sich in ein stabiles Atom umwandeln. Und man kann sich das auch mit dem Gesetz der großen Zahlen anschauen für wie viele ungefähr im Schnitt das passiert. Also praktisch pro Zeitintervall ist die Wahrscheinlichkeit immer gleich“*

Insbesondere wird bei der Paraphrasierung auch das Wort „Umwandlung“ anstatt „Zerfall“ verwendet. Die Jugendliche C sagt:

*„Also es ist nicht also zerfall ist wie das falsche Wort es ist nur eine Umwandlung von einem instabilen Atom zu einem stabilen Atom und also man weiß, dass es sich umwandeln wird, aber man weiß nicht wann und dass es in jedem Zeitintervall die gleiche Wahrscheinlichkeit ist und ja also, dass es für ein Element ist es immer die gleiche Wahrscheinlichkeit also ähm verschiedene Atome haben unterschiedliche also Zerfallswahrscheinlichkeiten.“*

Zwei Jugendliche zeigen bei der Paraphrasierung der Information zur Halbwertszeit Probleme. Sie äußern die Vorstellung, dass die Halbwertszeit die wahrscheinlichste Zerfallszeit ist, jedoch ändern sie während ihrer Paraphrasierung die Meinung und erkennen, dass das nicht mit dem neu Gelernten in Einklang zu bringen ist.

Zum Beispiel:

„... Also man könnte sch- Nicht richtig also - man könnte jetzt ungefähr sagen, dass um die Halbwertszeit herum wahrscheinlich irgendwann ein Atom also eins zerfallen wird aber also es ist ungefähr ein Richtwert das irgendein Zerfall bestimmt um die Halbwertszeit herum irgendwie stattfindet aber. Weils halt, wenn man sich das anguckt dann würde man eben hier also ich würde das damit begründen, dass wenn das hier eben steiler wär dann wäre die Halbwertzeit ja weiter vorne und das ist halt dann wenn - ne wobei. das macht ja garkeinen Sinn. Ne es ist tatsächlich wahrscheinlicher je früher (Interviewerin: Warum?) Ja weil am Anfang mehr sind und dann relative eben der Zerfallswahrscheinlichkeit (Interviewerin: Genau. Was sagt jetzt nochmal die Halbwertszeit aus?) Die Halbwertszeit sagt ja, nach welcher Zeit die Hälfte aller Atome zerfallen“

Auch in diesem Abschnitt ist kein Zusammenhang zwischen der Leistung der Paraphrasierung und dem Vorwissen erkennbar.

#### 11.5.5.3 Anwendungsbeispiele

Am Ende jedes Abschnittes der Lehr-Lern-Einheit wurden die Jugendlichen gebeten, Übungsbeispiele zu lösen. Analog zur Analyse der Akzeptanz und der Paraphrasierung wurden auch die Interviewstellen, in denen die Jugendlichen diese Aufgaben lösen, transkribiert und analysiert. Die Antworten wurden wieder mittels dreistufiger ordinal-Skala bewertet und mit den Symbolen „✓“ für eine gute Antwort, „?“ für eine befriedigende Antwort und „-“ für eine mangelhafte Antwort kodiert. In der Tabelle 11-7 wurden diese Kodierungen zusätzlich mittels Farbverlauf von grün (✓) über gelb (?) zu rot (-) noch leichter ersichtlich.

Schülerin/ Schüler	1a	1b	1c	2a	2b	3a	3b	3c	3d
A	?	✓	✓	✓	✓	✓	?	✓	?
B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓
C	?	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓	✓
D	-	-	-	✓	?	✓	?	?	✓
E	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
F	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓
G	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓	✓

Tabelle 11-7: Übersicht der Ergebnisse der Anwendungsbeispiele

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Jugendlichen beim Lösen der Aufgaben 1a, 2b und 3b größere Schwierigkeiten hatten, als bei den anderen Aufgaben.

Die Aufgabe 1a) ist die Aufgabe mit den Springblobbs. Diese Frage ist nun sehr offen gewählt, die Bewertung der Aufgabe ist äußerst schwierig. In der Aufgabe sollte gezeigt werden, dass der Springblobb in jedem Intervall die gleiche Wahrscheinlichkeit hat zu springen. Nimmt man also genügend viele Springblobbs und zählt für jedes Intervall die, die liegen bleiben, und die, die springen, kann man so die relative Häufigkeit für jedes Intervall berechnen. Bei genügender Wiederholung des Experiments sollte sich die Wahrscheinlichkeit dann für alle Intervalle auf 0,08 einpendeln. Nimmt man jedoch im Graphen die Gesamtanzahl der Springblobbs und zählt für jedes Intervall nur die, die springen, so würde man eine exponentielle Kurve erhalten. In der ersten Bewertung (Tabelle 11-7) wurden die Jugendlichen, die erkannt haben, dass es sich auf 0,08 einpendelt, mit guter Antwort (0) bewertet und die, die eine exponentielle Kurve vermuten, mit befriedigender Antwort (0.5). Nach der Besprechung mit dem Interrater wurde beschlossen, dass auch die, die eine exponentielle Kurve vermuten, eine gute Antwort geben. Demnach haben die Schüler A, C und E auch eine gute Antwort auf die Frage gegeben und nur einer der Jugendlichen konnte diese Aufgabe nicht lösen.

In der Aufgabe 2b) sollen die Jugendlichen einen Graphen zeichnen. Auf der x-Achse sind dabei Zeitintervalle eingetragen und auf der y-Achse die Anzahl der instabilen Atomkerne. Gegeben ist die Zerfallswahrscheinlichkeit mit einem Fünftel. Vier der sieben Jugendlichen haben mit dieser Aufgabe keine Probleme. Drei Jugendliche gehen etwas überstürzt vor und zeichnen einen linearen Zusammenhang. Auf die Frage, wie er das denn gezeichnet hat, sagt der Jugendliche C:

*„Das wäre nach dem ersten Intervall noch 8000 und dann beim zweiten also die Zerfallswahrscheinlichkeit ist ja in jedem Intervall gleich also wenn es unabhängig dann wären es auch wieder 80% (...) Und jetzt macht man von diesen weiter und von diesen können dann auch wieder 20% zerfallen (!: Genau) Also dann wäre das - sind das dann wieder die 100%? JA - 100% und jetzt wollen wir nur mehr 80% haben (dreisatz rechnen) das wäre dann 100% wir wollen aber nur mehr 80 % ok dann sind (...) also 6400“*

Obwohl der Jugendliche auf eine kurze Nachfrage den Sachverhalt erklären konnte, wurde seine Antwort nur als befriedigend bewertet. Seine Ausführungen im Interview weisen jedoch darauf hin, dass er den Sachverhalt schon verstanden hat. Ähnlich verhält es sich beim Jugendlichen G. Er beantwortet die Frage so:

*„Man startet ja im Ursprung, weil am Anfang ja noch keine stabil sind von den 10.000 und nach sind dem ersten Intervall - ähm 2000 - Also fangen wir mit 10.000 an dann sind nach dem ersten noch 8000 vorhanden und dann 6000 (Interviewerin: Warum) Weil die eine Zerfallswahrscheinlichkeit von einem Fünftel haben (!: und wie viele wandeln sich da um?) Ein Fünftel von 8 000 (...) 6400 also da und dann zerfallen von 6400 wieder ein Fünftel sind 1280 bleiben noch 5120 nach 3 Sekunden“*

Alle drei Jugendliche können nach kurzer Nachfrage die Aufgabe lösen. Schon in der früheren Iteration wurde entdeckt, dass die Jugendlichen zunächst einen linearen Zusammenhang beim radioaktiven Zerfall vermuten.

In der Aufgabe 3b) sollen die Jugendlichen die Anzahl der instabilen Kerne nach drei Minuten bestimmen, wenn die Halbwertszeit mit einer Minute gegeben ist. Der Jugendliche A möchte zunächst die Zerfallswahrscheinlichkeit berechnen und antwortet wie folgt:

*„(..) Mit einer Zerfallswahrscheinlichkeit von einem Drittel Wahrscheinlichkeit dann komm ich vielleicht schon auf die Halbwertszeit nach einer Minute, aber man kann auch mit einer höheren Zerfallswahrscheinlichkeit rechnen, so dass es immer noch bei einer Minute bleibt, aber dann habe ich dann am Schluss bei drei Minuten weniger Atomkerne, die noch da sind. Oder nicht (Interviewerin: Ok zeichne einmal den Graphen ein) Ok. (zeichnet mit Lineal) (Interviewerin: Was machst du jetzt? Also du hast. Also nach einer Minute sagst du sind es 5000 ok und nach zwei?) Nach zwei Minuten noch 2500 und nach drei Minuten noch 1250“*

Der Jugendliche A ist zunächst durcheinander, weil er die Zerfallswahrscheinlichkeit berechnen möchte. Er versteht zunächst nicht, dass im Zeitintervall Null bis Halbwertszeit die Zerfallswahrscheinlichkeit immer einhalb ist. Der Jugendliche B erkennt dies, ist sich jedoch unsicher und möchte auf ein ihm vertrautes mathematisches Werkzeug zurückgreifen. Er löst die Aufgabe so:

*„Ähm also ist im Grunde genommen nicht also die Halbwertszeit ist die nicht auch eine Angabe für ähm Häufigkeit pro Zeit oder Wahrscheinlichkeit pro Zeit das man eben sagt die also noch Wahrscheinlichkeit ähm ok - nein ich sag nichts mehr (Interviewerin: doch bitte) Ja ähm (...) doch das müsste glaub ich gehen also vom mathematischen her, wenn ich zwei Punkte habe, die gegeben sind jetzt hier nach einer Minute eben die 5000 habe ich 2 Punkte. Ich weiß eben nicht genau, wie die Exponentialfunktion aussehen*

## Kapitel 11|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

*würde. Mathematisch aber ja es wäre dann  $a$  oder  $b$  hoch  $x$  oder  $e$  hoch  $t$  wo man dann anhand von diesen Punkten den Parameter dann eben konkret herausfinden würde und dann könnte man eben für  $t$ , 3 Minuten einsetzen. also so würde ich da machen (Interviewerin: Mhm, ok und so mit der Zeichnung) Ah wären es dann nach 2 Minuten. ah ja genau- das ist ein gutes Beispiel dann wären es nach 2 Minuten 2500 (rechnet) ja ok“*

Dieser Jugendliche traut seiner eigenen Einschätzung noch nicht ganz und möchte diese zunächst mathematisch prüfen. Der Jugendliche F möchte die Anzahl der nicht umgewandelten Kerne zunächst nur abschätzen. Er sagt:

*„Also man weiß ja, wenn man hier 10.000 hat dann zeichne ich hier mal jetzt so 1, 2 ,3 also dann kann man hier sagen hier sind es 5000 nach einer Minute und dann kann man grob eben hier bestimmen (Interviewerin: Wie viele sind denn nach 2 min noch nicht umgewandelt?) Naja hier, wenn man hier abliest sind es noch so 2000 aber. Na wobei es sind ja dann genau ein Zerfall von halb also dann 2,5 tausend müssten es sein und dann noch 3 1250“*

Der Jugendliche D möchte zunächst eine Gleichung aufstellen, er erklärt:

*„(...) Ich würde halt einfach so vorgehen also ich habe ein Funktion die ist unbekannt also man weiß quasi nicht die Basis also man hat  $a$  mal  $b$  von  $x$ .  $a$  ist gegeben (...) (Interviewerin: Wenn sich nach 1 Minute 5000 umwandeln wie viele wandeln sich denn nach 2) buuh, jetzt habe ich es gemerkt wegen der ganzen Nervosität die Basis ist einfach ein halb das heißt ich muss einfach ein halb hoch 3 nehmen und bekomme ein Achtel. Während ich es gerechnet habe, habe ich es gemerkt.“*

Sechs von sieben Jugendlichen kamen mit den gestellten Aufgaben sehr gut zurecht. Im Vergleich zu den anderen Befragten hatte der Jugendliche D durchschnittlich mehr Probleme, die Aufgaben zu lösen. Auch, wenn es sich bei dem Jugendlichen um einen Schüler mit mehr Physikunterricht handelt, zeichnet sich auch im Zusammenhang mit den Ergebnissen zur Akzeptanz und Paraphrasierung ab, dass der Jugendliche D insbesondere im Vergleich mit den anderen Befragten mit den Anforderungen der Lehr-Lern-Einheit im Großen und Ganzen überfordert war. Dieser Jugendliche war von Anfang an sehr nervös und weist während des Interviews immer wieder darauf hin, dass ihn die Kamera nervös macht. Er wirkt während des Informationsangebots von der Kamera sehr abgelenkt. Seine schwächere Leistung in Paraphrasierung und Anwendungsaufgaben, könnte daher daran liegen, dass er im

Informationsangebot durch seine Nervösität nicht konzentriert genug bei der Sache war. Obwohl in Tabelle 11-7 noch recht viele Felder gelb oder rot sind, haben die Jugendlichen im Großen und Ganzen die Aufgaben gut lösen können. Viele der zunächst schlechter kodierten Aufgaben wurden vom Interrater besser bewertet. Insgesamt wurde von der Forscherin strenger kodiert als vom Interrater. Daraus ergibt sich auch der nicht besonders gute Koeffizient von  $\kappa=0.61$ .

### 11.5.6 Zusammenfassung und Bewertung der Akzeptanzbefragung

Die Akzeptanzbefragung hatte zum Ziel, die Lehr-Lern-Einheit im Hinblick auf Akzeptanz der Schlüsselideen zu testen.

Insgesamt zeigt die Akzeptanzbefragung, dass die Schlüsselideen von den Jugendlichen grundsätzlich akzeptiert werden und das neu gewonnene Wissen ohne große Probleme wiedergegeben und angewendet werden kann. Auch, wenn die Zeitkomponente zunächst für einige Jugendliche schwierig zu verstehen war, konnten sie das neue Wissen problemlos auf den Zerfall eines instabilen Atomkerns anwenden. Besonders erfreulich ist, dass die Vorstellung, dass ein instabiler Atomkern zerfällt bis nichts mehr von ihm übrig ist, in der Paraphrasierung und Anwendung nicht mehr zu finden ist. Die Verwendung von Modellen, wie zum Beispiel den Springblobbs, um den Zerfall eines instabilen Atomkerns zu beschreiben, erwies sich als sehr erfolgreich. Es wurde von den Jugendlichen mehrfach betont, dass dieser Ansatz etwas sehr Unanschauliches ein bisschen verständlicher macht. Dass der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns zufällig ist, wurde von keinem der Jugendlichen hinterfragt, auch wenn es durchaus Jugendliche gab, die dem Begriff „Zufall“ und der Existenz von zufälligen Ereignissen in der Natur eher skeptisch gegenüberstanden. Auch das Wort „Umwandlung“ anstatt „Zerfall“ wurde von den Jugendlichen positiv aufgenommen und die Idee eines kontinuierlichen Zerfallsprozesses konnte in keiner Paraphrasierung oder Anwendung mehr entdeckt werden. Auch die Halbwertszeit wird schlussendlich von allen Schülerinnen und Schülern richtig erklärt, obwohl die Jugendlichen zunächst noch die Idee eines wahrscheinlichsten Zerfallszeitpunkt für die Halbwertszeit im Kopf hatten, änderten sie diese selbstständig während ihrer Paraphrasierung.

Bei der Anwendung des neugelernten Wissens kann festgestellt werden, dass gerade bei den Beispielen, die rein qualitativ gelöst werden sollten, größere Probleme beim Lösen bestehen. Dies war zum Beispiel bei der Aufgabe 3b) der Fall, bei der die Halbwertszeit gegeben ist und gefragt wird, wie viele instabile Atomkerne sich nach drei Halbwertszeiten noch nicht umgewandelt haben. Jugendliche tendieren dazu, solche Aufgaben mit mathematischen Formeln zu lösen, ohne zuvor qualitativ über das Problem nachzudenken. Wenn man die

## **Kapitel 11**|Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit

Jugendlichen jedoch bittet, noch einmal genau nachzudenken, können sie die Aufgaben jedoch ohne Probleme lösen.

Die Schülervorstellungsstudie und die Akzeptanzbefragungen zeigen, dass Jugendliche Probleme mit der zeitabhängigen Zufallsvariable haben. Im nächsten Abschnitt der Arbeit wird die schriftliche Befragung vorgestellt, die vor den Interviews der Akzeptanzbefragung durchgeführt wurde. Sie ist unabhängig von der Akzeptanzbefragung und wurde mit allen Jugendlichen der Besuchergruppen durchgeführt.





E. SCHÜLERVORSTELLUNGSSTUDIEN  
2 & 3



## 12 Rolle der Zufallsvariable bei Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung

In Anlehnung an den Fund, dass Jugendliche zeitabhängige Variablen als weniger zufällig betrachten als andere wurde eine Befragung zu diesem Thema durchgeführt. Bei der Befragung handelte es sich um einen Fragebogen bei dem 18 verschiedene Ereignisse von Jugendlichen nach ihrer Zufälligkeit bewerten sollen. Ziel der Befragung ist es ein Bild über die Einschätzung von Jugendlichen zu bekommen, welche Ereignisse zufällig sind und welche nicht. Dabei wird ein Augenmerk auf die Natur der Zufallsvariable und das Themengebiet gelegt. Der Fragebogen besteht aus zwei unterschiedlichen Teilen. Der erste Teil wird in diesem Abschnitt beschrieben. Der zweite Teil des Fragebogens besteht aus zwei offenen Fragen, die hintereinander und ohne zurückblättern beantwortet werden sollen, er wird im Kapitel 13 beschrieben.

### 12.1 Evaluation der Studie

#### 12.1.1 Forschungsfrage

In der Interviewstudie, welche im Kapitel 8 beschrieben ist, wurde die Vermutung aufgestellt, dass Jugendliche Beispiele für zufällige Ereignisse, welche zeitabhängig sind, als weniger zufällig erachten. Diese Vermutung soll in dieser Studie evaluiert werden. Es interessieren dabei vor allem folgende Fragen:

1. Welche Beispiele für zufällige Ereignisse bewerten Jugendliche als besonders zufällig oder nicht zufällig?
2. Welche Besonderheiten hat die Zufallsvariable bei solchen Ereignissen die von Jugendlichen als zufällig oder nicht zufällig erachtet werden?

Um diese Fragen beantworten zu können wurde eine schriftliche Umfrage bei deutschsprachigen Jugendlichen zwischen 16 und 19 Jahren durchgeführt. Eine genaue Beschreibung des Studiendesigns sowie der Stichprobe folgt im Paragraphen 12.1.4. Zunächst wird die Entwicklung des Fragebogens erläutert.

#### 12.1.2 Studiendesign

Der Fragebogen wurde vor der Akzeptanzbefragung (vgl. Paragraph 11.2.1) mit allen Jugendlichen der Besuchergruppe durchgeführt (siehe Abbildung 11-2). Am Fragenbogen wurde auf der ersten Seite das Geschlecht und das Alter der Jugendlichen abgefragt sowie erklärt, wie die gesamte Studie abläuft. Zusätzlich wurde auf der ersten Seite ein Erkennungscode sowie

## Kapitel 12 | Rolle der Zufallsvariable bei Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung

ab der zweiten Iteration der Interviews auch nochmal die Bereitwilligkeit am Interview teilzunehmen abgefragt. In der Abbildung 12-1 wird das Ratingsystem für die Bereitwilligkeit abgebildet.

**Wie gerne möchtest du an der Interviewstudie teilnehmen?**

Gar nicht                        Sehr gerne

Abbildung 12-1: Ratingsystem für Jugendliche um ihre Bereitwilligkeit für die Interviewstudie anzugeben

Der schriftliche Teil der Befragung besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil besteht aus einer offenen Frage und 18 Beispielen für zufällige Ereignisse, die mittels fünfstufiger Skala auf ihre Zufälligkeit bewertet werden sollen. Der zweite Teil besteht aus zwei offenen Fragen, die im Kapitel 13 diskutiert wird. Der erste Teil der schriftlichen Befragung wird im Folgenden erläutert.

### 12.1.3 Testinstrument

Im ersten Teil wurden die Jugendlichen zu Beginn gebeten folgende Frage zu beantworten: „Es gibt keine einheitliche Definition von Zufall. Was ist den Zufall für dich?“

Das war insofern unabdingbar, da Jugendliche mit der Vorstellung, dass es Zufall nicht gibt, identifiziert werden mussten, da diese die darauffolgenden Beispiele alle als nicht zufällig bewerten würden. Zusätzlich gab diese Frage einen weiteren Einblick, was Jugendliche mit Zufall in Verbindung bringen.

Nach dieser offenen Fragestellung folgte eine Auflistung von 18 Beispielen für zufällige Ereignisse. Die Entwicklung der Beispiele wurden auf Basis von Antworten der Jugendlichen in der Interviewstudie durchgeführt. Denn in der Interviewstudie gaben die Jugendlichen Beispiele für Ereignisse, die für sie zufällig sind an. Diese Beispiele wurden entweder eins zu eins übernommen oder zur besseren Verständlichkeit adaptiert. Folgende neun Beispiele für zufällige Ereignisse wurden von den Interviews in der Umfrage übernommen:

- Würfeln
- Gewinnzahlen beim Lotto
- Im Lotto gewinnen
- Aufenthaltsort der Elektronen
- Jemanden unerwartet auf der Straße treffen
- Den Zug gerade noch erwischen
- Die Entstehung der Erde
- Mutation und Evolution
- Atomzerfälle

Es sei an dieser Stelle gesagt, dass noch viele andere Beispiele genannt wurden, wie zum Beispiel Phänomene in die Quantenmechanik. Solche Beispiele wurden jedoch aufgrund ihrer Komplexität in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Die oben angeführten Beispiele konnten in die Themengebiete „Natur“, „Modell“, „Sozial“ und in die Wahrscheinlichkeitsräume „Diskret“, „Ort“ und „Zeit“ eingeordnet werden. Die Einteilungskriterien werden im Folgenden erläutert.:

Themenbereich	Definition	Beispiel
<b>„Natur“</b>	Dieser Themenbereich umfasst Beispiele die auf natürlicherweise zufällig sind. Es sind Themen die in den Naturwissenschaften behandelt werde.	„Die Umwandlung eines instabilen Atomkerns.“ oder „Die Entstehung der Erde“
<b>„Modell“</b>	In den Themenbereich „Modell“ werden solche Beispiele eingeordnet die zur Modellierung von zufälligen Ereignisse verwendet werden. Es handelt sich um Beispiele die unter genauerer Betrachtung nicht zufällig sind.	„Würfeln“ oder „Gewinnzahlen beim Lotto“
<b>„Soziales“</b>	Im Themenbereich „Soziales“ sind solche Ereignisse die einem Menschen passieren. Es sind Beispiele, die in Verbindung gebracht werden mit Glück oder Pech.	„Jemanden unerwartet auf der Straße treffen“ Oder „Im Lotto gewinnen“

**Die Einteilung nach Zufallsvariable:**

Zusätzlich werden die Beispiele nach der Art der Zufallsvariable eingeteilt. Dabei spielt der Wahrscheinlichkeitsraum eine essentielle Rolle (vgl. Kapitel 3). Insgesamt kann man zwischen kontinuierlichen und diskreten Wahrscheinlichkeitsräumen unterscheiden. So kann man auch zwischen diskreten und kontinuierlichen Zufallsvariablen unterscheiden. Bei kontinuierlichen Zufallsvariablen kann man zwischen Zeit und Ort unterscheiden. Bei der Einteilung nach Zufallsvariable wird in diesem Abschnitt zwischen Diskret, Ort und Zeit unterschieden.

**Kapitel 12** | Rolle der Zufallsvariable bei Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung

Kategorie	Definition	Beispiel
„Diskret“	In diese Kategorie werden alle Beispiele die eine diskrete Zufallsvariable ohne Zeit und ohne Ortskomponente haben eingeordnet.	„Würfeln“
„Ort“	In diese Kategorie werden alle Beispiele eingeordnet die eine ortsabhängige Zufallsvariable haben.	„Sprunghöhe des Springbloss“
„Zeit“	In diese Kategorie werden alle Beispiele eingeordnet die eine zeitabhängige Zufallsvariable haben.	„Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns“

Wie man zufälliger Ereignisse modelliert, hängt häufig davon ab, was man ermitteln möchte. Viele zufällige Ereignisse kann immer auf unterschiedlichen Art und Weise wahrscheinlichkeitstheoretisch beschreiben. Fragt man sich zum Beispiel, ob die Entstehung der Erde zufällig ist, kann man dieses Ereignis mit zeitabhängiger, ortsabhängiger oder diskreter Zufallsvariable modellieren. Betrachtet man den Prozess der Entstehung so dann man einerseits, den Ort an dem die Erde entstanden ist, andererseits kann man auch den zeitlichen Verlauf als zufällig betrachten. Schließlich lässt sich die Entstehung der Erde auch als ein diskretes Ereignis modellieren. Viele Ereignisse werden in der Mathematik traditionell in einer gewissen Art und Weise modelliert, zum Beispiel „würfeln“. In der Kategorisierung wurden berücksichtigt an was Jugendliche wahrscheinlich denken, wenn sie die Zufälligkeit der Ereignisse bewerten. Nach diesem Schema kam die in der Tabelle 12-1 dargestellte Einteilung zu Stande.

<i>Beispiel</i>	<i>Raum</i>	<i>Thema</i>
Die gewürfelte Zahl	Diskret	Modell
Die Gewinnzahlen beim Lotto	Diskret	Modell
Im Lotto gewinnen	Diskret	Soziales
Die Entstehung der Erde	Zeit	Natur
Die Entstehung einer neuen (Pflanze-)Art	Diskret	Natur
Der Aufenthaltsort der Elektronen	Ort	Natur
Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns	Zeit	Natur

<i>Beispiel</i>	<i>Raum</i>	<i>Thema</i>
Jemanden unerwartet auf der Straße treffen	Zeit/Ort	Soziales
Den Zug gerade noch erwischen	Zeit/Ort	Soziales

**Tabelle 12-1:** Einteilung der von den Jugendlichen genannten Beispiele für zufällige Ereignisse nach der Art ihrer Zufallsvariable und dem Thema

Je nach Themengebiet und Zufallsvariable wurden, dann Beispiele hinzugefügt, die zwar thematisch ähnlich jedoch im Kontext variiert wurden. Es wurde zum Beispiel von „Jemanden zufällig auf der Straße treffen“ in den Interviews als zufällig genannt. Dies wurde mit Ort und Zeit klassifiziert, denn, wenn man jemanden zufällig auf der Straße trifft, befindet man sich zur richtigen Zeit am richtigen Ort. Gilt dasselbe jedoch, wenn man zur falschen Zeit am falschen Ort ist?

Zwei ähnliche Beispiele wurden in den Fragebogen eingefügt:

- **Von der Direktorin beim Rauchen erwischt werden**

Dabei handelt es sich immer noch um zwei Personen die sich zufällig treffen, jedoch wäre das treffen auf der Straße ein „glücklicher“ Zufall während beim Rauchen erwischt werden „Pech“ wäre.

- **Mit dem Flugzeug abstürzen**

In diesem Fall geht es nur um eine Person die sich am falschen Ort zur falschen Zeit befindet

Es wurden auch andere Beispiele hinzugefügt:

- **Zwei aus einer Klasse haben am selben Tag Geburtstag**

Ein Beispiel, für das man vielleicht auch im Schulunterricht schon einmal die Wahrscheinlichkeit im diskreten Wahrscheinlichkeitsraum berechnet hat.

- **Die gewürfelte Zahl mit einem gezinkten Würfel**

Würfeln wurde in den Interviews sehr häufig als Beispiel für zufällige Ereignisse genannt. Dabei blieb offen, ob dies nur für den symmetrischen/gleichverteilten Würfel gilt.

- **Der Sprungzeitpunkt und Sprunghöhe des Springbobbis**

Der Springbobbis wurden in den Interviews schon als Modell für zufällige Ereignisse genannt. Obwohl die Argumentation für die Zufälligkeit des Springbobbis ähnlich ist wie beim Würfeln, wurde der Springbobbis häufiger als nicht zufällig bewertet. Um herauszufinden, ob Jugendliche die Sprunghöhe anders beurteilen als die Sprungzeit, werden diese im Fragebogen separat abgefragt.

- **Beim Kartenspiel „gute“ Karten bekommen**

Dieses Beispiel ist ähnlich wie das Beispiel „Im Lotto gewinnen“, es handelt sich wieder um einen glücklichen Zufall.

- **Das Geschlecht des Kindes**

Passend zu den Themen Mutation und Evolution, welche im Interview von Jugendlichen genannt wurden, ist das Thema von Geschlecht des Kindes.

- **Der Ort, an dem die Regentropfen auf den Schirm auftreffen**

Es erwies sich als sehr schwierig ein Beispiel zu finden, das ähnlich wie der Aufenthaltsort des Elektrons in der Atomhülle auch aus der Natur und mit zufälligem Ort ist. Es sollte sich dabei um kein sehr komplexes Beispiel handeln, wofür ein fortgeschrittenes Physikwissen notwendig ist. Dieses Beispiel ist aus dem Themenbereich der Natur mit zufälligem Ort, das sich jedoch jeder vorstellen kann.

Die Einteilung in die Themenbereiche sowie in die Art der Zufallsvariable wurde in einem physikdidaktischen Seminar diskutiert und danach von zwei Personen erneut kodiert. Die so entstandene Liste an Beispielen eingeteilt in Themen und Raum wird in Tabelle 12-2 dargestellt.

<i>Beispiel</i>	<i>Raum</i>	<i>Thema</i>
Die gewürfelte Zahl	Diskret	Modell
Die gewürfelte Zahl mit einem gezinkten Würfel	Diskret	Modell
Der Zeitpunkt wann der Springblobb hochspringt	Zeit	Modell
Die Sprunghöhe des Springblobbs	Ort	Modell
Die Gewinnzahlen beim Lotto	Diskret	Modell
Im Lotto gewinnen	Diskret	Soziales
Beim Kartenspiel „gute“ Karten bekommen	Diskret	Soziales
Die Entstehung der Erde	Zeit/Ort	Natur
Die Entstehung einer neuen (Pflanze-)Art	Zeit/Ort	Natur
Das Geschlecht des Kindes	Diskret	Natur
Der Aufenthaltsort der Elektronen	Ort	Natur
Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns	Zeit	Natur
Jemanden unerwartet auf der Straße treffen	Zeit/Ort	Soziales

<i>Beispiel</i>	<i>Raum</i>	<i>Thema</i>
Von der Direktorin beim Rauchen erwischt werden	Zeit/Ort	Soziales
Den Zug gerade noch erwischen	Zeit/Ort	Soziales
Mit dem Flugzeug abstürzen	Zeit/Ort	Soziales
Zwei aus einer Klasse haben am selben Tag Geburtstag	Diskret	Natur
Der Ort, an dem die Regentropfen auf den Schirm auftreffen	Ort	Natur

**Tabelle 12-2:** Beispiele für zufällige Ereignisse kategorisiert nach Wahrscheinlichkeitsraum und Thema

Diese Beispiele wurden von den Jugendlichen mithilfe einer fünfstufigen Skala von „Nicht zufällig“ bis „zufällig“ bewertet. Zusätzlich wurde die Möglichkeit gegeben, eine Begründung oder eine Anmerkung zu geben. Die Abbildung 12-2 zeigt ein Beispiel für ein Ereignis und das Bewertungssystem. Mit dieser fünfstufigen Skalar soll das Ereignis auf seine Zufälligkeit bewertet werden.

Welche der folgenden Ereignisse sind zufällig für dich?	Zufällig	Eher zufällig	Keine Ahnung	Eher nicht zufällig	Nicht zufällig	Begründung/Anmerkung
Die gewürfelte Zahl	<input type="checkbox"/>					

**Abbildung 12-2:** Beispiel für ein Ereignis und das Bewertungssystem, mit dem das Ereignis auf seine Zufälligkeit bewertet werden soll.

Vor Beginn der Befragung wurde die Vorgehensweise ausführlich erklärt. Die Studie wurde von der Autorin selbst durchgeführt. Dabei wurde von ihr jedes Beispiel einzeln erklärt und die Jugendlichen wurden dann gebeten die Aussage anzukreuzen, welche für sie am ehesten zutrifft. Eine nähere Erläuterung war notwendig, da im Fragebogen Geräte verwendet werden, die vorgeführt werden müssen, wie zum Beispiel der Springblöb. Die Skala hatte dabei eine neutrale Mitte. Man gibt damit den Jugendlichen die Möglichkeit zu sagen „ich weiß es nicht, es könnte beides sein“. Außerdem wurde erklärt, dass es dabei keine richtige oder falsche Antwort gibt und nur die Einschätzung der Jugendlichen für die verschiedenen Situationen interessant ist.

## Kapitel 12 | Rolle der Zufallsvariable bei Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung

Noch etwas genauer erklärt wurden die folgenden Beispiele:

- **Die gewürfelte Zahl mit einem gezinkten Würfel:** Der gezinkte Würfel ist auch als Schwerpunktswürfel bekannt
- **Der Zeitpunkt wann der Springblobb hochspringt und seine Sprunghöhe:** Den Springblobb muss man vorzeigen
- **Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns:** kann man auch einfach radioaktiven Zerfall nennen
- **Das Geschlecht des Kindes:** bei natürlicher Schwangerschaft, um zu verhindern, dass Jugendliche an in-vitro denken
- **Jemanden unerwartet auf der Straße treffen:** Benötigt normalerweise keine Erklärung, beim Erläutern muss jedoch aufgepasst werden, dass man nicht umgangssprachlich schon „zufällig“ verwendet

Der gesamte Bewertungsbogen ist im Anhang (18.3 Fragebogen zu den Schülervorstellungsstudien 2&3) zu finden. Die Analyse der Daten wird im nächsten Abschnitt besprochen.

### 12.1.4 Stichprobe

Um eine solche Befragung mit einer möglichst großen Anzahl an Schülerinnen und Schülern durchführen zu können, wurden in dieser Studie keine Interviews mehr geführt, sondern es wurde ein zweiseitiger Fragebogen zum Ankreuzen verwendet. Bei den freiwilligen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Studie handelt es sich um Jugendliche, die das Schülerlabor S’Cool LAB am CERN besucht haben. Alle Jugendlichen waren zwischen 16 und 19 Jahre alt. Die Jugendlichen kamen von 6 verschiedenen Schule, davon waren vier Schulen deutschsprachig und eine Schule bilingual deutsch-französisch mit deutschsprachigem Physikunterricht.

Die Tabelle 12-3 zeigt eine detaillierte Auflistung der Stichprobe.

<b>Besucher- gruppe</b>	<b>Nationalität</b>	<b>Schule</b>	<b>Befragte</b>	<b>Ø Alter</b>	♂	♀
<i>Gruppe 1</i>	GER	Deutsches Gymnasium	22	16.9	10	12
<i>Gruppe 2</i>	CH	Bilinguales Gymnasium	11	17.5	1	10
<i>Gruppe 3</i>	GER	Deutsches Gymnasium	17	17.3	8	9

<i>Gruppe 4</i>	GER	Deutsches Gymnasium	18	17.9	17	1
<i>Gruppe 5</i>	GER	Deutsches Gymnasium	24	16.2	11	13
<i>Gruppe 6</i>	GER	Deutsches Gymnasium	20	17	15	5
<i>Gesamt</i>			112	17.4	64	48

**Tabelle 12-3:** Übersicht über die Stichprobe der Studie zur Rolle der Zufallsvariable

Alle Bögen wurden gleichzeitig eingesammelt und von den Jugendlichen in eine Box gelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Teilnahme anonym bleibt. Es blieb den Jugendlichen frei, leere Bewertungsbogen zurückzugeben, wenn sie nicht an der Umfrage teilnehmen wollten. Jedoch haben alle Jugendlichen den Bogen ausgefüllt.

## 12.2 Ergebnisse des Fragebogens

Da Zufall nicht eindeutig definiert ist, gibt es keine richtige oder falsche Antwort und selbst wenn man eine routinierte Statistikerin oder ein routinierter Statistiker ist, beeinflussen alltägliche Erfahrungen sowie auch Alltagssprache die Einschätzung. Tabelle 12-4 zeigt die Ergebnisse der Befragung; in der fünfstufigen Skalar. Die Anzahl der Jugendlichen, die die jeweilige Stufe gewählt haben, wird in Prozent auf eine Nachkommastelle genau, angegeben. Beispiele die als „zufällig“ bewertet wurde, wurden blau hinterlegt. Beispiele die als „nicht zufällig“ bewertet wurden, wurden gelb hinterlegt. Beispiele die nicht eindeutig zuordenbar sind wurden nicht hinterlegt.

<i>Beispiel</i>	<i>Vari- able</i>	<i>Thema</i>	<i>Zufällig</i>	<i>Eher zufällig</i>	<i>Keine Ahnung</i>	<i>Eher nicht zufällig</i>	<i>Nicht zufällig</i>
<i>Die gewürfelte Zahl</i>	<i>Diskret</i>	<i>Modell</i>	58.4%	30.4%	0%	5.6%	3.2%
<i>Die gewürfelte Zahl mit einem ge- zinkten Würfel</i>	<i>Diskret</i>	<i>Modell</i>	6.4%	8%	1.6%	34.4%	46.4%
<i>Der Zeitpunkt wann der Spring- blobb hochspringt</i>	<i>Zeit</i>	<i>Modell</i>	3.2%	12%	1.6%	40.8%	40%
<i>Die Sprunghöhe des Springblobbs</i>	<i>Ort</i>	<i>Modell</i>	4%	9.6%	3.2%	32.8%	48%

**Kapitel 12** | Rolle der Zufallsvariable bei Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung

<i>Beispiel</i>	<i>Vari- able</i>	<i>Thema</i>	<i>Zufällig</i>	<i>Eher zufällig</i>	<i>Keine Ahnung</i>	<i>Eher nicht zufällig</i>	<i>Nicht zufällig</i>
<i>Die Gewinnzahlen beim Lotto</i>	<i>Diskret</i>	<i>Modell</i>	67.2%	19.2%	1.6%	6.4%	3.2%
<i>Im Lotto gewinnen</i>	<i>Diskret</i>	<i>Soziales</i>	68.8%	17.6%	0.8%	4.8%	5.6%
<i>Beim Kartenspiel „gute“ Karten bekommen</i>	<i>Diskret</i>	<i>Soziales</i>	50.4%	36.8%	0.8%	4%	5.6%
<i>Die Entstehung der Erde</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Natur</i>	28.8%	21.6%	11.2%	16%	20%
<i>Die Entstehung einer neuen (Pflanze-)Art</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Natur</i>	16%	28%	4.8%	24%	24.8%
<i>Das Geschlecht des Kindes</i>	<i>Diskret</i>	<i>Natur</i>	36%	27.2%	4.8%	16.8%	12.8%
<i>Der Aufenthaltsort der Elektronen</i>	<i>Ort</i>	<i>Natur</i>	21.6%	20.8%	23.2%	19.2%	12.8%
<i>Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns</i>	<i>Zeit</i>	<i>Natur</i>	23.2%	9.6%	25.6%	16.8%	22.4%
<i>Jemanden unerwartet auf der Straße treffen</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	40.8%	32%	2.4%	15.2%	7.2%
<i>Von der Direktorin beim Rauchen erwischt werden</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	8.8%	21.6%	10.4%	24.8%	32%
<i>Den Zug gerade noch erwischen</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	5.6%	10.4%	3.2%	23.2%	55.2%
<i>Mit dem Flugzeug abstürzen</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	16%	18.4%	4%	31.2%	28%
<i>Zwei aus einer Klasse haben am selben Tag Geburtstag</i>	<i>Diskret</i>	<i>Soziales</i>	43.2%	35.2%	2.4%	10.4%	6.4%
<i>Der Ort, an dem die Regentropfen auf den Schirm auftreffen</i>	<i>Ort</i>	<i>Natur</i>	31.2%	24.8%	5.6%	20%	16%

**Tabelle 12-4:** Ergebnisse der Befragung zur Rolle der Zufallsvariable

Insgesamt ist es interessant, dass nur sehr selten „keine Ahnung“ angekreuzt wurde. Eine Ausnahme bilden die Beispiele „Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns“ und „Der Aufenthaltsort der Elektronen“. Bei diesen Beispielen konnten sich knapp ein Viertel aller Jugendlichen nicht entscheiden. Diese Ergebnisse werden im folgenden Paragraphen diskutiert.

## 12.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Jugendlichen sollten die Ereignisse in einer fünf-stufigen Skala bewerten. Jugendlichen sollte der Raum gegeben werden, manche Ereignisse als zufälliger als andere zu bewerten. In der Diskussion der Ergebnisse interessiert jedoch nur, ob sie ein Ereignis als zufällig oder nicht zufällig bewerten wurden. Daher wurde die Daten gebündelt und es wurde nur eine drei-stufige Skala betrachtet. Dabei wurden die Kategorien „zufällig“ und „eher zufällig“, ebenso wie „nicht zufällig“ und „eher nicht zufällig“, jeweils zu einer Kategorie zusammengefasst. Danach wurden die Ergebnisse in drei Gruppen eingeteilt:

- 1) „zufällige Ereignisse“: Es sind die Ergebnisse der Beispiele, die von der Mehrheit der Jugendlichen als zufällig bewertet wurden
- 2) „nicht zufällige Ereignisse“: Das sind die Ergebnisse der Beispiele, die von den Jugendlichen als nicht zufällig bewertet wurden.
- 3) „unbestimmte Ereignisse“: Das sind die Ergebnisse der Beispiele, bei denen sich die Jugendlichen uneinig waren.

Diese drei Gruppen werden nun besprochen.

### Zufällige Ereignisse

Einige Ereignisse wurden von einer sehr großen Anzahl der Jugendlichen als zufällig oder eher zufällig bewertet. Dazu gehört „Würfeln“ und „Lotto spielen“ aber auch jemanden unerwartet auf der Straße treffen. Die Tabelle 12-5 zeigt alle Ereignisse, die als zufällig bewertet wurden mit zugehöriger Anzahl der Jugendlichen (in Prozent) die so gewählt haben.

<b>Beispiel</b>	<b>Zufallsvariable</b>	<b>Thema</b>	<b>Zufällig</b>	<b>Nicht zufällig</b>
<i>Die gewürfelte Zahl</i>	<i>Diskret</i>	<i>Modell</i>	88.8%	8.8%
<i>Die Gewinnzahlen beim Lotto</i>	<i>Diskret</i>	<i>Modell</i>	86.4%	9.4%
<i>Im Lotto gewinnen</i>	<i>Diskret</i>	<i>Soziales</i>	86.6%	10.6%
<i>Beim Kartenspiel „gute“ Karten bekommen</i>	<i>Diskret</i>	<i>Soziales</i>	87.2%	9.6%
<i>Das Geschlecht des Kindes</i>	<i>Diskret</i>	<i>Natur</i>	63.2%	29.6%
<i>Jemanden unerwartet auf der Straße treffen</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	72.4%	22.4%
<i>Zwei aus einer Klasse haben am selben Tag Geburtstag</i>	<i>Diskret</i>	<i>Soziales</i>	78.4%	16.8%

**Kapitel 12** | Rolle der Zufallsvariable bei Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung

<i>Der Ort an dem die Regentropfen auf den Schirm auftreten</i>	<i>Ort</i>	<i>Natur</i>	<i>56%</i>	<i>36%</i>
---	------------	--------------	------------	------------

**Tabelle 12-5** Übersicht über alle als zufällig bewerteten Ereignisse

Sofort ins Auge sticht, dass alle Beispiele mit Ausnahme von „Jemanden unerwartet auf der Straße treffen“ Beispiele mit diskreter Zufallsvariable sind. Jemanden unerwartet auf der Straße treffen ist möglicherweise nicht nur wegen dem Gebrauch in der Alltagssprache, sondern auch wegen dem Wort „unerwartet“ in dieser Gruppe. Denn wenn Jugendliche gefragt wurden wie die Zufall definieren würde, beschrieben es 24 als das Unerwartete. Neben der Tatsache, dass alle anderen Beispiele diskrete Zufallsvariablen haben, sind in dieser Gruppe viele beliebte Schulbeispiele oder Beispiele die man im Alltag als zufällig beschreibt. Als Beispiele sind „Das Geschlecht des Kindes“ und „Der Ort an dem die Regentropfen auf den Schirm auftreten“ in dieser Gruppe. Beide Beispiele sind nicht so eindeutig dieser Gruppe zuzuordnen wie die anderen Beispiele dieser Gruppe. Das Beispiel mit den Regentropfen befindet sich mit 56% an der unteren Grenze zu den Beispielen bei denen sich Jugendliche uneinig sind. Es könnte durchaus auch in diese Gruppe eingeordnet werde.

**Unbestimmte Ereignisse**

Die Ereignisse, bei denen sich Jugendliche uneinig waren sind jene, bei denen ähnliche viele Jugendliche zufällig bewertet haben, wie für nicht zufällig. In der Tabelle 12-6 sind alle Ereignisse, bei denen sich Jugendliche uneinig waren, ob sie nun zufällig sind oder nicht, gelistet.

<b><i>Beispiel</i></b>	<b><i>Zufallsvariable</i></b>	<b><i>Thema</i></b>	<b><i>Zufällig</i></b>	<b><i>Nicht zufällig</i></b>
<i>Die Entstehung der Erde</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Natur</i>	<i>50.4%</i>	<i>36%</i>
<i>Die Entstehung einer neuen (Pflanze-) Art</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Natur</i>	<i>44%</i>	<i>48.8%</i>
<i>Der Aufenthaltsort der Elektronen</i>	<i>Ort</i>	<i>Natur</i>	<i>42.4%</i>	<i>32%</i>
<i>Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns</i>	<i>Zeit</i>	<i>Natur</i>	<i>39.2%</i>	<i>32.8%</i>

**Tabelle 12-6:** Übersicht über alle Ereignisse bei denen sich Jugendliche uneinig sind ober sie zufällig oder nicht zufällig sind

Es fällt auf, dass es sich in dieser Gruppe bei allen Beispielen um Ereignisse in der Natur handelt, die eine kontinuierliche Zufallsvariable haben. Für die Beispiele „Der Aufenthaltsort der Elektronen“ und „Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns“ waren sich die Jugendlichen nicht nur sehr uneinig, sondern es haben auch ungefähr ein Viertel aller Jugendlichen „keine Ahnung“ angekreuzt. Dies könnte daran liegen, dass diese Beispiele die einzigen

physikalischen Themen waren. Möglicherweise dachten die Jugendlichen, sie müssten über ein spezielles Wissen verfügen, um das Beispiel einschätzen zu können. In dieser Gruppe befinden sich auch die Beispiele „Die Entstehung der Erde“ und „Die Entstehung einer neuen (Pflanze-) Art“. Diese Beispiele unterscheiden sich grundsätzlich von den anderen, weil sie einen Prozess und kein einzelnes Ereignis beschreiben. Es könnte sein, dass die Jugendlichen sich bei diesen Beispielen deshalb uneinig sind, weil es sich dabei nicht um ein zufälliges Ereignis, sondern um mehrere zufällige Ereignisse die hintereinander passiert sind, handelt. Es wäre interessant zu sehen, wie Jugendliche „die Mutation eines Chromosoms“ bewerten würden.

### Nicht zufällige Ereignisse

Bei sechs Beispielen waren sich Jugendliche einig, dass diese nicht zufällig sind. Dabei handelt es sich um Ereignisse wie zum Beispiel um das Springen des Springblobbs oder mit dem Flugzeug abstürzen. Die Tabelle 12-7 zeigt alle Beispiele bei denen die meisten Jugendlichen „nicht zufällig“ oder „eher nicht zufällig“ angekreuzt haben.

<i>Beispiel</i>	<i>Zufallsvariable</i>	<i>Thema</i>	<i>Zufällig</i>	<i>Nicht zufällig</i>
<i>Die gewürfelte Zahl mit einem gezinkten Würfel</i>	<i>Diskret</i>	<i>Modell</i>	<i>14.4%</i>	<i>80.8%</i>
<i>Der Zeitpunkt wann der Springblobb hochspringt</i>	<i>Zeit</i>	<i>Modell</i>	<i>15.2%</i>	<i>80.8%</i>
<i>Die Sprunghöhe des Springblobbs</i>	<i>Ort</i>	<i>Modell</i>	<i>13.6%</i>	<i>80.8%</i>
<i>Den Zug gerade noch erwischen</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	<i>16%</i>	<i>78.4%</i>
<i>Von der Direktorin beim Rauchen erwischt werden</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	<i>30.4%</i>	<i>56.8%</i>
<i>Mit dem Flugzeug abstürzen</i>	<i>Zeit/Ort</i>	<i>Soziales</i>	<i>34.4%</i>	<i>59.2%</i>

**Tabelle 12-7:** Übersicht über alle Ereignisse, die von den Jugendlichen als nicht zufällig bewertet wurden

Nach den Ergebnissen der Interviewstudie zu Schülervorstellungen ist es wenig überraschend, dass ein Großteil der Jugendlichen die Beispiele zum Springblobb als nicht zufällig erachten. Auch, dass das Beispiel mit dem gezinkten Würfel als nicht zufällig bewertet wurde, ist nicht weiter verwunderlich. Dies hat wohl etwas mit der Annahme zu tun, dass zufällige Ereignisse gleichverteilt sein müssen. Erstaunlich ist jedoch, dass einige der sozialen Beispiele als nicht zufällig bewertet wurden. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen in der Interviewstudie, denn dort wurden sehr häufig Beispiele aus der sozialen Kategorie als zufällig benannt. Auffällig ist, dass die hier gelisteten sozialen Beispiele mit „Pech“ oder

„Glück“ assoziiert werden können und sie umgangssprachlich nicht als Zufall bezeichnet werden, wie es etwa der Fall, wenn man jemanden unerwartet auf der Straße trifft.

Nicht viele Jugendlichen schrieben Anmerkungen. Ein paar Jugendliche jedoch wiesen in den Anmerkungen darauf hin, dass man hier lediglich zur falschen Zeit am falschen Ort ist oder dass es eben Pech ist, wenn man mit dem Flugzeug abstürze und schließen daraus, dass es nicht zufällig wäre.

## 12.4 Zusammenfassung

Die Umfrage sollte dazu dienen, die Frage „Welche zufällige Ereignisse werden von Jugendlichen als zufällig erachtet und welche nicht?“ zu beantworten und dies ist auch gelungen. In erster Linie wiederholen Jugendlichen was sie in der Schule als zufällige Beispiele lernen. Nur wenige hinterfragen, ob nun würfeln oder Lotto spielen tatsächlich zufällig sind. Alle diese Beispiele weisen auch eine diskrete Zufallsvariable auf. Lediglich ein Beispiel mit kontinuierlicher Zufallsvariable hat es in die Liste der zufälligen Ereignisse geschafft. Dabei handelt es sich um ein Beispiel, welches im Alltag sehr häufig als Zufall benannt wird und auch von den Jugendlichen in der Interviewstudie sehr häufig als Beispiel genannt wurde.

Beispiele aus der Natur werden nur selten als zufällig bezeichnet, wobei vor allem bei Beispielen die mit Evolution zu tun haben große Uneinigkeit herrscht. Obwohl das Geschlecht eines Kindes als zufällig bewertet wurde, wurde die Entstehung einer neuen Pflanzenart gemischt bewertet. Immer wieder interessant, jedoch in dieser Studie nicht mehr überraschend ist, dass die Beispiele mit dem Springblöb als nicht zufällig beachtet werden, obwohl Würfeln als zufällig gesehen wird. Dabei ist es egal, ob es um den Sprungzeitpunkt oder um die Sprunghöhe geht. Es scheint, als würden die Beispiele, die als Modell für zufällige Ereignisse dienen, nur dann als wahrhaft zufällig erachtet werden, wenn es sich um gleichverteilte diskrete Zufallsvariablen handelt.

Beispiele mit kontinuierlichen Zufallsvariablen werden als nicht zufällig erachtet oder die Jugendlichen waren sich nicht einig. Die Schwierigkeiten mit kontinuierliche Zufallsvariablen ist durchaus bereits bekannt (Klassen et al. 1990). Ob zwischen zeitabhängigen und ortsabhängigen Zufallsvariablen tatsächlich ein Unterschied in der Bewertung besteht, ist aus den Daten nicht ersichtlich, da alle Beispiele mit einer kontinuierlichen Abhängigkeit als nicht zufällig bewertet wurden.

Ähnlich wie bei der Schülervorstellungsstudie handelt es sich bei den Befragten um Jugendliche die das CERN im Rahmen eines Schulausflugs besuchten. Dabei kann angenommen werden, dass auch diese Klassen sich durch eine engagierte Lehrperson auszeichnen. Des Weiteren sind Gruppen aus Deutschland hauptsächlich Leistungskurse die das CERN besuchen. Daher kann angenommen werden, dass die Befragten durchschnittlich interessierter an

## **Kapitel 12** | Rolle der Zufallsvariable bei Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsrechnung

Naturwissenschaften sind, als eine zufällig ausgewählte Schulklasse in Deutschland. Dies könnte einen Einfluss auf die Bewertung der Beispiele aus der Natur haben, denn Jugendliche die in die Schule schon mehr über den Aufenthaltsort des Elektrons gehört haben, würde es vielleicht eher als zufällig bewerten also solche die noch nie etwas davon gehört haben. Dies könnte auch die Uneinigkeit bei den Beispielen der Natur erklären.

Im nächsten Abschnitt wird der zweite Teil des Fragebogens diskutiert.

## 13 Schülervorstellungen zum Zerfall instabiler Atomkerne

### 13.1 Jugendliche beschreiben den radioaktiven Zerfall

Wie im Kapitel 12 erläutert besteht der Fragebogen aus zwei Teilen. In diesem Abschnitt wird der zweite Teil, welcher aus zwei offenen Fragen besteht, beschrieben.

#### 13.1.1 Stichprobe

Am zweiten Teil der Befragung nahmen Schülerinnen und Schülern von drei verschiedenen deutschsprachigen Besuchergruppen am CERN teil. Wie schon in der Schülervorstellungstudie handelt es sich bei diesen Gruppen um Schulklassen die mit einer Lehrperson oder mehreren Lehrpersonen einen Schulausflug ans CERN machen. Die folgenden vier Gruppen nahmen an der Studie teil:

- (1) Bei der Gruppe 1 handelte es sich um hauptsächlich Jugendliche mit Leistungskurs Physik. Sie hatten zur Zeit der Befragung vier Schulstunden Physik in der Woche. Insgesamt nahmen 17 Jugendliche, mit einem durchschnittlichen Alter von 17.3 Jahren, an der Klassenfahrt teil.
- (2) Bei der Gruppe 2 handelte es sich um eine Schulklasse eines beruflichen Gymnasiums mit einem vierstündigen Physikkurs, welcher keinem Leistungskurs entspricht. Die Schwerpunkte des Gymnasiums sind Elektrotechnik, Umweltchemie und Maschinenbau. An der Exkursion haben insgesamt 18 Jugendliche, mit einem durchschnittlichen Alter von 17.9 Jahren, teilgenommen.
- (3) Die Besuchergruppe 3 besteht aus Jugendlichen aus der deutschsprachigen Schweiz. Sie besuchen eine Schule mit Schwerpunkt Musik und Sport. An der Exkursion ans CERN haben Schülerinnen und Schüler teilgenommen welche das Modul EAM (Ergänzungsfach Anwendungen Mathematik) gewählt haben. An der Schule werden in der gesamten Oberstufe insgesamt nur 6 Stunde Physik unterrichtet. Üblicherweise werden diese 6 Stunden auf 3 Jahrgangsstufen mit jeweils 2 stündigen Physikkurs aufgeteilt. In der Gruppe befanden sich 7 Jugendlichen, mit einem Durchschnittsalter von 17.7 von 2 Jahrgangsstufen. Aus dieser Gruppe wurden 3 Jugendliche interviewt.
- (4) Bei der Gruppe 4 handelt es sich um Jugendliche, die ein deutsches Oberstufengymnasium für begabte, leistungsstarke und sozial engagierte Jugendliche mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Schwerpunkt besuchen.

Tabelle 13-1 zeigt eine detaillierte Übersicht der Stichprobe.

<i>Besucher- gruppe</i>	<i>Nationalität</i>	<i>Gruppen- größe</i>	♂	♀	<i>Ø Alter</i>
<i>Gruppe 1</i>	GER	17	8	9	17.3
<i>Gruppe 2</i>	GER	18	17	1	17.9
<i>Gruppe 3</i>	CH	7	6	1	17.7
<i>Gruppe 4</i>	GER	4	4	0	18
<i>Gesamt</i>		46	35	11	17.6

**Tabelle 13-1** Stichprobe der schriftlichen Befragung zu Schülervorstellungen zur Radioaktivität

### 13.1.2 Testinstrument

Im zweiten Teil wurden zwei offene Fragen gestellt. Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass die Jugendlichen die Fragen hintereinander ausgefüllt wurden und die Antworten im Nachhinein nicht geändert wurden. Daher wurde jede Frage auf eine separate Seite geschrieben und die Jugendlichen wurden aufgefordert nicht vor oder zurück zu blättern.

Es wurden also die folgenden Fragen gestellt:

**Frage 1:**

- a. *Beschreibe den radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns.*

**Frage 2:**

- a. *Was ist die Halbwertszeit und wie kommt sie zustande?*  
 b. *Stell dir vor du hast 10 instabile Atomkerne (vom selben Element) in einem Käfig gefangen. Dein Ziel ist es einen Zerfall zu beobachten. Du kannst aber nur ein kurzes Zeitintervall auswählen in welchem du die Kerne beobachten möchtest. Bitte kreuze an, welche Aussage für dich zutrifft. Du kannst auch das Feld „Keines von den oben genannten Aussagen“ wählen, dann schreibe bitte eine Aussage, die für dich zutrifft in die Box darunter.*

<i>Meine bevorzugte Beobachtungszeit wäre...</i>	
...eher früh	<input type="checkbox"/>
...eher mittig	<input type="checkbox"/>
...eher spät	<input type="checkbox"/>
Es ist egal, wann ich beobachte	<input type="checkbox"/>
Keine von den oben genannten Aussagen, sondern:	<input type="checkbox"/>
<i>Begründung deine Wahl hier:</i>	

Wie diese offenen Fragen ausgewertet wurden wird im nächsten Paragraphen erklärt.

### 13.1.3 Auswertemethodik

Die Analyse wurde wieder mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse durchgeführt (vgl. Paragraph 2.1.2). Dabei wurden im Vorhinein keine Kategorien gebildet. Es wurden zunächst alle Vorstellungen fast genau im Wortlaut wie es geschrieben wurde kodiert. Danach wurden die gebildeten Kategorien in sogenannten Netzwerken verbunden. Das Ziel war es übergeordnete Vorstellungen zu finden. Es wurde die Analysetechnik der Reduktion verwendet (vgl. Paragraph 2.1.2.1). Es wurden relevante Textstellen markiert und auf die Kernaussage reduziert. Die so gewonnenen Aussagen bilden die induktiven Kategorien mit denen das gesamte Material kodiert wird. Mit diesem Vorgehen konnten bei Analyse der offenen Fragen einige interessante Kategorien gebildet werden. Bei den Kategorien handelt es sich nun um Schülervorstellung. Die kategorisierten Aussagen sind „Als-ob“-Vorstellungen (Schecker und Duit 2018). Kodiert wurde von der Autorin selbst. Um eine möglichst hohe Reliabilität zu erreichen wurden diese Kategorien querschnittartig verglichen und gegebenenfalls angepasst. So wurde ein Kodiermanual erstellt, dieses wird in Tabelle 13-2 abgebildet. Mit dessen Hilfe wurden die Hälfte aller offenen Fragen (23 Fragebögen) von einer unabhängigen Person intercodiert ( $\kappa = 0.74$ ).

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel
<i>Der Kern zerfällt bis nicht mehr von ihm übrig ist</i>		
In Einzelteile	Die Antwort der Jugendlichen zeigt, dass sie sich den Zerfall als eine Art auseinander brechen vorstellen.	„Der Kern zerbricht in kleine Teile“ (Zeichnung von einem Puzzle bei dem ein Puzzleteil wegbricht.)

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel
Kontinuierlich	Die Antwort der Jugendlichen zeigt, dass sie sich den Zerfall als kontinuierlichen Prozess vor	„Da man nicht weiß wie lange ein Zerfallsprozess dauert. Wenn es mehrere 100 Jahre braucht, dann würde es am meisten Sinn machen in der Mitte bzw. am Ende zu gucken.“
Unklar	Die Antwort der Jugendlichen zeigt, dass sie sich vorstellen, dass der Kern zerfällt bis nicht mehr von ihm übrig ist es ist aber unklar ob kontinuierliche oder mit Bruchteilen	„Der Kern gibt immer weiter einen Teil ab bis er nicht mehr da ist“
<i>Radioaktivität ist ein Stoff</i>		
Halbwertszeit = Hälfte des Stoffes weg ist	Die Halbwertszeit wird als die Zeit definiert in der die Hälfte des radioaktiven Stoffes weg ist	„Die Halbwertszeit ist die Zeit in der die Hälfte des Stoffes weg ist“
Radioaktivität als Stoff	Radioaktivität wird also eine Art Material erklärt die ein Atomkern hat und die er aber abgeben kann	„HWZ ist die Zeit die der Stoff braucht um nur noch die Hälfte der Radioaktivität zu haben “
<i>Halbwertszeit</i>		
Halbwertszeit = Hälfte der Zerfallszeit	Die Jugendlichen definieren die Halbwertszeit als Hälfte der Zerfallszeit	„Die Halbwertszeit ist die Hälfte der Zeit in dem der instabile Atomkern zerfällt. Sozusagen "Halbzeit"“
Mitte ist die wahrscheinlichste Zerfallszeit	Die Jugendlichen denken, dass es am wahrscheinlichsten ist, dass der Zerfall in der Mitte der Zerfallszeit ist	„Es benötigt einige Zeit bis es zerfällt, somit nicht am Anfang. Am Ende wäre es schon zerfallen, weil schon viel Zeit vergangen ist“
Wahrscheinlichste Zerfallszeit	Die Jugendlichen denken, dass die Halbwertszeit, die wahrscheinlichste Zerfallszeit ist	„Der Zerfall kann jeder Zeit stattfinden aber auch nie. Es gibt einen Zeitraum in dem es wahrscheinlicher ist, dass das Teilchen zerfällt. Dieser Zeitraum (wann ist es am Wahrscheinlichsten (Halbwertszeit)) ist abhängig von dem Teilchen (welches Isotop).“
Start des Zerfalls	Die Jugendlichen definieren die Halbwertszeit als die Zeit in der der Zerfall beginnt	„Halbwertszeit ist wenn der Zerfall startet“
Grund des Zerfalls	Die Jugendlichen definieren die Halbwertszeit als den Zerfallsgrund	„Halbwertszeit ist der Grund des Zerfalls“

Tabelle 13-2: Kodiermanual zum Kodierender offenen Fragen

Die so gefundenen Kategorien werden im nächsten Abschnitt diskutiert.

### 13.2 Ergebnisse der offenen Fragen

#### 13.2.1 Vorstellung 1: Der Kern zerfällt bis nichts mehr übrig ist

Die Analyse der offenen Fragen ergab, dass mehr als die Hälfte aller befragten Jugendlichen die Vorstellung haben, dass beim Zerfall eines instabilen Atomkerns, der Kern zerfällt solange, bis nichts mehr übrig ist. Dabei ist die Vorstellung, dass er in einzelne Teile zerfällt häufiger aufgetreten (17 Jugendliche) als die Vorstellung eines kontinuierlichen Zerfallsprozesses (10 Jugendlichen). Bei neun Jugendlichen konnte aufgrund der Antworten nicht klar festgestellt werden, ob es sich um eine kontinuierliche oder eine Einzelteil Vorstellung handelt.

#### 13.2.2 Vorstellung 2: Radioaktivität als ein Stoff

Neben der Vorstellung des Zerfalls, konnte auch die Stoffvorstellung bei einigen Antworten kodiert werden. Insgesamt 11 Jugendlichen antworteten bei mindestens einer Frage als ob, sie die Stoffvorstellung hätten. Acht Jugendliche definieren die Halbwertszeit als die Zeit, in der die Hälfte des Stoffes weg ist und drei sehen Radioaktivität als einen Stoff der am Material klebt.

#### 13.2.3 Vorstellungen zur Halbwertszeit

Zur Halbwertszeit, gibt es eine Reihe unterschiedlicher Vorstellung. Die Definition der Halbwertszeit, so wie die Antworten auf die Frage, wann die Jugendliche 10 instabile Kerne beobachten würden führte zu einer Vielzahl von Unterkategorien. Neben den acht Jugendlichen, die die Halbwertszeit als die Zeit, zu der die Hälfte des Stoffes weg ist definiert haben (vgl. Paragraph 13.2.2), haben neun Jugendliche anderen Definitionen geliefert. Ähnlich wie schon in der Interviewstudie (vgl. Kapitel 8)) haben drei Jugendliche die Halbwertszeit als wahrscheinlichste Zeit genannt, zusätzlich hat eine Jugendliche oder ein Jugendlicher die Mitte als wahrscheinlichsten Zerfallszeitpunkt genannt, es konnte jedoch aufgrund der Antwort keine Schlüsse gezogen werden, ob als Mitte die Halbwertszeit gemeint war. Zwei Jugendliche haben die Halbwertszeit als die Hälfte der Zerfallszeit definiert und jeweils eine Jugendliche oder ein Jugendlicher meint die Halbwertszeit ist der Start des Zerfalls oder der Grund des Zerfalls.

Die Antworten auf jede offene Frage wurde unabhängig voneinander kodiert. Dies führt dazu, dass die Antworten einer Jugendlichen oder eines Jugendlichen den selben Code mehrmals erhalten konnten. In der Tabelle 13-3 ist abgebildet, wie oft der Code vergeben wurden und in Klammern wie viele Jugendlichen diesen Code mindestens einmal bekommen haben.

<b>Hauptkategorien</b>	<b>#codes (#SchülerInnen)</b>
<b>Der Kern zerfällt bis nichts mehr übrig ist</b>	<b>41 (26)</b>
• In Einzelteile	21 (17)
• Kontinuierlich	11 (10)
• Unklar	9 (9)
<b>Radioaktivität ist ein Stoff</b>	<b>14(11)</b>
• Halbwertszeit = Hälfte des Stoffes weg ist	9 (8)
• Radioaktivität als Charakteristik	5 (3)
<b>Halbwertszeit</b>	<b>9 (9)</b>
• Halbwertszeit = Hälfte der Zerfallszeit	2 (2)
• Mitte ist die wahrscheinlichste Zerfallszeit	1 (1)
• Halbwertszeit vs. Lebensdauer	
• Wahrscheinlichste Zerfallszeit	3 (3)
• Start des Zerfalls	1 (1)
• Grund des Zerfalls	1 (1)

**Tabelle 13-3:** Ergebnisse der offenen Fragen

#### 13.2.4 Zusammenfassung und Bewertung der offenen Fragen

Die offenen Fragen hatten das Ziel ein allgemeines Bild zur Situation der Schülervorstellungen zur Radioaktivität bei deutschsprachigen Jugendlichen zu zeichnen.

Die Studie zeigt, dass sich ein ausführliches Forschungsprojekt zur Erhebung von Schülervorstellungen zur Radioaktivität lohnt. Radioaktivität wird in deutschen Gymnasien laut Lehrplan, in der Sekundarstufe 1 unterrichtet. In der Befragung wurden Jugendliche befragt, die das CERN besuchen. Es sind also tendenziell die Schulklassen, mit besonders vielen interessierten Jugendlichen und/oder einer engagierten Physiklehrperson. Dennoch konnte lediglich ein Jugendlicher von 46 den radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns und die Halbwertszeit beschreiben.

Eine sehr häufig auftretende Vorstellung ist dabei die „Zerfallsvorstellung“, das heißt Jugendliche denken, dass der Atomkern so lange zerfällt, bis nichts mehr von ihm übrig ist. Diese Vorstellung könnte möglicherweise einen sprachlichen Ursprung haben. Die Ergebnisse der Lehr-Lern-Einheit zeigen, dass es hilfreich ist, nicht das Wort „Zerfall“ zu verwenden. In den Interviews wie auch in den offenen Fragen wird auch häufig die C14 Methode erwähnt. Diese Methode wird dann so erklärt, dass man bei älteren Dingen weniger C14 messen kann weil sich die C14 Atom mit der Zeit auflösen. Daher wird angenommen, dass auch diese Erklärung zu der Vorstellung führen könnte, dass die Atomkerne so lange zerfallen bis nicht mehr von ihnen übrig ist. Dann hätte die Vorstellungen einen unterrichtlichen Ursprung.

Eine weitere Vorstellung, die in den offenen Fragen häufig auftaucht, ist die Vorstellung, dass Radioaktivität eine Art Stoff ist. Im Paragraphen 6.2.3 wurde bereits erläutert, dass diese

## **Kapitel 13**|Schülervorstellungen zum Zerfall instabiler Atomkerne

Vorstellung möglicherweise vom sprachlichen Gebrauch „radioaktive Strahlung“ kommen könnte. In der Vorstellung gibt der Atomkern radioaktive Strahlung, also einen Teil seiner Radioaktivität, ab. In der Lehr-Lern-Einheit wird daher zunächst bewusst auf die Einführung der Strahlungsarten verzichtet.

Auch zur Halbwertszeit konnten einige Vorstellungen aufgedeckt werden. Für Jugendliche ist die Halbwertszeit der wahrscheinlichste Zerfallszeitpunkt oder Mitte des Zerfalls. Eine mögliche Erklärung könnte der Bezug zum deutschen Wort „Halbzeit“ oder der in der Physik häufig verwendeten „mittleren Lebensdauer“ sein.





## F. SCHLUSSBETRACHTUNGEN



## 14 Zentrale Erkenntnisse des Forschungsprojekts

Ein wesentliches Anliegen dieses Forschungsprojekts war es, die Bedeutung von Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall für physikalische Themen darzulegen und zu zeigen, dass auch im Physikunterricht auf die Theorien der Wahrscheinlichkeit eingegangen werden sollte.

Zum einen konnte gezeigt werden, dass aus fachlicher Sicht viele (wenn nicht zu einem gewissen Grad alle) physikalischen Themen in Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie gebracht werden können. Es konnte gezeigt werden, dass manche Schülervorstellungen, die aus der Literatur zur Wahrscheinlichkeitsrechnung bekannt ist, unabhängig vom unterrichteten Kontext sind. Insbesondere sollte daher auch beim Planen des Unterrichts neben den Schülervorstellungen zum Thema selbst auch auf Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitstheorie geachtet werden. In der Arbeit konnten kontextunabhängige Vorstellungen zu Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall erhoben werden:

- 1) Zufall gibt es nicht und ist lediglich ein Produkt von Unwissenheit
- 2) Zufall und Gesetzmäßigkeit sind nicht vereinbar

Diese Vorstellungen haben auch gewisse Gemeinsamkeiten. So kann die Vorstellung, dass Zufall keinerlei Gesetzmäßigkeit folgt als Argument gegen die Existenz von Zufall verwendet werden.

Neben den Vorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall in der Naturwissenschaft wurden auch die folgenden Vorstellungen zur Radioaktivität gefunden:

- 1) Ein instabiler Atomkern zerfällt solange, bis nichts mehr von ihm da ist
- 2) Radioaktivität ist ein Stoff
- 3) Halbwertszeit ist der wahrscheinlichste Zerfallszeitpunkt

Auf Basis der Ergebnisse dieses Forschungsprojekts erscheinen die folgende Punkte empfehlenswert:

1. Vor der Einführung von Radioaktivität sollte man das Gesetz der großen Zahlen einführen. Dies führt nicht nur dazu, dass Jugendliche die probabilistische Natur des Zerfalls von instabilen Atomkernen erkennen, sondern auch, dass sie die Natur von Wahrscheinlichkeitsrechnung an einem wahrhaft zufälligen Beispiel verstehen lernen.
2. Die zeitabhängige Wahrscheinlichkeit sollte mit verschiedenen Modellen diskutiert werden.

3. Bei der Einführung der Radioaktivität sollte zunächst der Begriff Zerfalls eines instabilen Atomkerns verwendet werden. Jugendliche verknüpfen dann die Radioaktivität mit dem Umwandlungsprozess anstatt mit der emittieren ionisierenden Strahlung.
4. Es sollte zunächst der Begriff „Umwandlung“ als alternative zum Begriff „Zerfall“ angeboten werden. Jugendlichen können dann wählen welchen Begriff sie verwenden wollen, verstehen aber den Prozess nicht als Zerfall bis nichts mehr übrig ist.
5. Das Zerfallsgesetz sollte als Ergebnis eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Vorgangs eingeführt werden. Damit können Jugendlichen die zufällige Natur des Zeitpunkts des Zerfalls eines instabilen Atomkerns besser nachvollziehen und gleichzeitig die zeitliche Wiederholung von Zufallsexperimenten besser nachvollziehen.

Die Basis dieser Empfehlungen bildet die erfolgreiche Testung der Lehr-Lern-Einheit. Die Lehr-Lern-Einheit zeigt, dass eine Einführung der Radioaktivität mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie nicht nur möglich, sondern in Hinblick auf Schülervorstellungen hilfreich ist.

## 15 Ideen zur Weiterentwicklung und Ausblick

### 15.1 Zur Lehr-Lern-Einheit

Im folgenden Paragraphen sollen Vorschläge zum weiteren Vorgehen und der Weiterentwicklung der Lehr- Lern-Einheit gemacht werden.

#### 15.1.1 Fortbildung für Lehrpersonen

Die Lehr-Lern-Einheit wurde bisher lediglich mit einzelnen Jugendlichen mit der Forscherin selbst durchgeführt. Ein nächster Schritt wäre sicherlich zu testen, ob die Lehr-Lern-Einheit auch in der Unterrichtspraxis auf Akzeptanz stößt. Dafür wäre eine Fortbildung für Lehrerinnen und Lehrer zu organisieren, mit dem Ziel, dass Lehrerinnen und Lehrer das Konzept selbst ausprobieren. Einerseits könnte dann die Einschätzung der Lehrpersonen zur Einheit erhoben werden. Andererseits könnte auch erfasst werden, ob und welche didaktischen Hinweise in dem Lehrpersonen Leitfaden zur Lehr-Lern-Einheit geben werden sollen, damit die auch von anderen Personen, außer der Forscherin durchgeführt werden kann.

Zusätzlich wäre es auch interessant die Lehr-Lern-Einheit mit einer gesamten Klasse anstatt mit einzelnen Jugendlichen zu testen.

#### 15.1.2 Erweiterung der Themenbereiche

Bei der Lehr-Lern-Einheit handelt es sich um eine Einführung zur Radioaktivität. Es wird lediglich der einfachste Fall, der einmaligen Umwandlung besprochen und es werden keine Strahlungsarten bzw. keine Emissionsvorgänge besprochen. Die Einheit lässt sich jedoch dahingehen noch erweitern. Ist das Konzept der Umwandlung einmal verstanden, kann erläutert werden, dass sich manche instabilen Atome in andere instabile Atome umwandeln und so die Zerfallsketten einführen. Ein mögliches Modell, um die Zerfallswahrscheinlichkeiten zu erklären, wäre ein Würfelexperiment. Man könnte beispielsweise sechseckige Würfel als Modell für die Mutterkerne und achteckige Würfel als Modell für die Tochterkerne verwenden. Zeigt der sechseckige Würfel zum Beispiel ein Fünf wird er durch einen achteckigen ersetzt.

Eine weitere Erweiterungsmöglichkeit bietet der am Ende der Lehr-Lern-Einheit angedeutete Übergang zu Detektoren. In der Einführung der Radioaktivität wurde zunächst auf die Verwendung von Detektoren verzichtet. Mit dem Anwendungsbeispiel 3c) wird jedoch schon die Detektion von Teilchen und somit auch ein Übergang zu Strahlungsarten gemacht.

### 15.2 Zur Erhebung der Lernendenperspektive

In der Arbeit wurden einige Schülervorstellungen zur Radioaktivität und ionisierender Strahlung zusammengefasst bzw. in Studien erhoben. Ein nächster Schritt wäre eine großflächige

## **Kapitel 15** Ideen zur Weiterentwicklung und Ausblick

Studie zur Schülervorstellung zur Radioaktivität. Insbesondere wäre es interessant zu erforschen, ob es einen Unterschied zwischen Schülervorstellungen zu mikroskopischen Prozessen (wie der Umwandlung instabiler Atomkerne) und Schülervorstellungen zu deren makroskopischen Auswirkungen (wie Halbwertszeiten) gibt.

In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufall auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu finden sind. Diese Studie wurde mit deutschsprachigen Jugendlichen durchgeführt. Es ist noch unklar, ob die Ergebnisse der Studien zu Schülervorstellungen auch auf andere Länder übertragbar sind. Ein weiterer Schritt könnte sein, die Forschung auf andere Sprachen zu erweitern. Denn es wurde gezeigt, dass Sprache gerade bei der Bedeutung von Zufall eine große Rolle spielt.

Die im Kapitel 7 erläuterte Delphi-Studie zeigt, dass auch zu anderen Themen der Physik ein Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie gemacht werden kann. Ein weiterer Forschungsansatz könnte sein, einen Überblick über Schülervorstellungen zu diesen Themen zu verfassen und aufzuzeigen, welchen Einfluss Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitstheorie haben könnten.

## 16 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ziel des Forschungsprojekts war es, eine Lehr-Lern-Einheit zur Wahrscheinlichkeit im physikalischen Kontext zu entwickeln, dies ist gelungen. Aufgrund der Literaturrecherche und der Einsicht der deutschen Lehrpläne der gymnasialen Sekundarstufe 1 wurde als Kontext die Radioaktivität gewählt. Diese ist nicht nur hinsichtlich Schülervorstellungen nur sehr wenig beforscht, die Lehrpläne zeigen auch, dass deutsche Jugendlichen etwas über den Zerfall instabiler Atomkerne in der Sekundarstufe 1 lernen (vgl. Kapitel 9). Die Arbeit wurde in sechs Abschnitte gegliedert. Sie besteht aus einer Zusammenfassung des theoretischen Hintergrunds (Abschnitt A), einer Erhebung wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen (Abschnitt B), drei Schülervorstellungsstudien (Abschnitt C und Abschnitt E), der Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit (Abschnitt D) und einer Schlussbetrachtung (Abschnitt F). In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse dieser Abschnitte kurz zusammengefasst werden.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse aus Abschnitts A) Theoretischer Hintergrund**

Im ersten Abschnitt A) zum theoretischen Hintergrund wurde das Fachwissen zu Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zufall sowie zur Radioaktivität zusammengefasst. Es wurden die Theorien aus wissenschaftlicher Sicht erläutert und ein Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeitstheorie und dem Fachwissen zur Radioaktivität hergestellt (Kapitel 3 und 5). In Kapitel 4 wurde Zufall aus verschiedenen Sichtweisen betrachtet und die Bedeutung von Zufall in der Physik besprochen. Da die Frage, welche Themen der Physik wahrscheinlichkeitstheoretischer Natur sind, noch nicht geklärt war, wurde sie im Abschnitt B) beantwortet.

Es wurden generelle Aspekte zur Schülervorstellungen diskutiert und Schülervorstellungen zu relevanten Themen zusammengefasst. Dabei wurden vier zentrale Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitstheorie gefunden.

1. Prozesse erscheinen nur deshalb zufällig, weil Menschen zu wenig Wissen oder zu wenig physische Fähigkeiten besitzen, den Prozess vollständig zu verstehen oder zu kontrollieren (Stavrou et al. 2003, Döhrmann 2005).
2. Zufall und Gesetzmäßigkeit lassen sich nicht miteinander vereinbaren (Stavrou et al. 2003, Büchter et al. 2005).
3. Für Schülerinnen und Schüler ist Zufall auf natürliche Weise gleichverteilt (Lecoutre 1992, Büchter et al. 2005).
4. Für Schülerinnen und Schüler sind zufällige Ereignisse, die kürzlich eingetreten sind, unwahrscheinlicher und jene, die länger nicht eingetreten sind, wahrscheinlicher. (Gambler's Fallacy) (Büchter et al. 2005).

## **Kapitel 16**|Zusammenfassung der Ergebnisse

Um herauszufinden, ob diese Schülervorstellungen auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu finden sind wurde zunächst herausgefunden, welche physikalische Themen Physikerinnen und Physiker im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie relevant finden.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse aus Abschnitt B) Wahrscheinlichkeitstheorie in der Physik**

Im Abschnitt B) wurde eine Liste wahrscheinlichkeitstheoretischer Themen in der Physik erhoben. Dazu wurde die Methode der Delphi-Studie verwendet. Es wurden Physikerinnen und Physiker des CERN befragt, welche Themen der Physik im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie relevant sind. Die Physikerinnen und Physiker haben entschieden, dass diese Themen wahrscheinlichkeitstheoretischer Natur sind:

- Messungen und Fehlerrechnung
- Thermische Physik
- Atom-, Kern- und Teilchenphysik
- Nicht lineare Systeme
- Elementarteilchenphysik

Die Studie bestätigte, dass Atom-, Kern- und Teilchenphysik im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie relevant ist. Die Vermutung, dass Schülervorstellungen zur Wahrscheinlichkeitstheorie auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu finden sind, konnte nun weiterverfolgt werden.

Da nur wenig Literatur zu finden ist, welche einen Zusammenhang zwischen Schülervorstellung zur Wahrscheinlichkeitstheorie und den Schülervorstellungen zur Radioaktivität untersuchen, wird eine Studie dazu durchgeführt. Diese wurde im Abschnitt C Schülervorstellungsstudie besprochen.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse aus Abschnitt C) Schülervorstellungsstudie 1**

Im Abschnitt C) der Schülervorstellungsstudie wurde geklärt, welche Vorstellung Jugendlichen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung im naturwissenschaftlichen Kontext haben. Es wurde zunächst eine semi-strukturierte Interviewstudie durchgeführt, dabei wurden diese Fragen beantwortet (Kapitel 6):

- 1) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind auch im naturwissenschaftlichen Kontext zu finden?
- 2) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung haben einen Einfluss auf das Verständnis teilchenphysikalischer Themen, wie zum Beispiel dem radioaktiven Zerfall?

- 3) Welche Schülervorstellungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind Kontextunabhängig und welche ändern sich, wenn der Kontext geändert wird?

Die Studie hat ergeben, dass Jugendlichen einige der aus Abschnitt A) zusammengefassten Vorstellungen auch im naturwissenschaftlichen Kontext äußern. Es wurde herausgefunden, dass vor allem die Vorstellungen, dass Zufall nur existiert, weil wir Menschen es nicht besser wissen und Zufall keinen Gesetzmäßigkeiten folgen kann, im naturwissenschaftlichen Kontext auch auftreten. Dabei verwenden Jugendlichen häufig Argumentationsmuster, die beide Vorstellungen vereint. Sie denken in den Naturwissenschaften folgt alles den Naturgesetzen, daher kann es in den Naturwissenschaften keinen Zufall geben. Weiter glauben sie, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Instrumente der Wahrscheinlichkeitsrechnung nur deshalb verwenden, da sie dem Phänomen noch nicht vollständig auf den Grund gekommen sind. Andere Vorstellungen wie zum Beispiel der Gleichverteilungsbias ändern sich, wenn der Kontext vom mathematischem zum naturwissenschaftlichen geändert wird. Es wurde festgestellt, dass Jugendliche bei teilchenphysikalischem Thema häufig mit einer Verteilung argumentieren bei der die Wahrscheinlichkeit in der Mitte ein Maximum erreicht. Dies weist auf einem Normalverteilungsbias im naturwissenschaftlichen Kontext hin. Zusätzlich wurde entdeckt, dass Jugendlichen Schwierigkeiten haben die Zeitabhängigkeit der Zufallsvariable zu verstehen und sie tendierten dazu, Beispiele wie den radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns als nicht zufällig zu betrachten. Es schien, als würden Beispiele mit Zeitabhängigkeit als eher nicht zufällig betrachtet. Diese Vermutung wurde in einer Studie zur Rolle der Zufallsvariable näher analysiert (Abschnitt E).

Denn Ergebnisse der vorangegangenen Studien bildeten die Basis der ersten Version der Lehr-Lern-Einheit. Diese führte zum vierten Abschnitt dieser Arbeit.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse im Abschnitt D) Entwicklung der Lehr-Lern-Einheit**

Im Abschnitt C) wurde die Lehr-Lern-Einheit entwickelt. Als Rahmentheorie wurde der Ansatz des Design-Based Research gewählt. Die Testung der Lehr-Lern-Einheit wurde mit der Methode der Akzeptanzbefragung (vgl. Paragraph 11.2.2) durchgeführt. In der Lehr-Lern-Einheit werden folgende Schlüsselideen vermittelt:

Zum Gesetz der großen Zahlen:

- (1.a) Ein einzelnes zufälliges Ereignis ist nicht vorhersehbar, viele zufällige Ereignisse folgen jedoch einer Gesetzmäßigkeit.
- (1.b) Es gibt unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die von der Definition des Ereignisses abhängen.

## **Kapitel 16** Zusammenfassung der Ergebnisse

Zum Zerfall instabiler Atomkerne

- (2.a) Der Zerfall eines instabilen Atomkerns ist kein Prozess, sondern spontan.
- (2.b) Man kann vorhersagen, wie viele instabile Atomkerne eines Elements sich in einem Zeitintervall umwandeln werden. Die Zeit, wann sich ein bestimmter Atomkern umwandelt, ist nicht vorhersagbar.

Zur Halbwertszeit:

- (3) Für eine Quelle mit einer großen Anzahl an instabilen Atomkernen gibt die Halbwertszeit die Zeit an, in der die Hälfte der instabilen Atomkerne zerfallen sind.

Außerdem umfasst sie umfasst drei Hauptteile:

1. Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie
2. Einführung zum radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns
3. Einführung der Halbwertszeit

Insgesamt wurden alle drei Hauptteile von den befragten Jugendlichen akzeptiert. Es ist ihnen gelungen die wesentlichen Punkte in eigenen Worten wiederzugeben und sie konnten die darauffolgenden Aufgaben zum größten Teil eigenständig lösen.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse im Abschnitt E) Schülervorstellungsstudien 2 & 3**

Im Abschnitt E) wurden zwei weitere Studien vorgestellt. Im Kapitel 12 wird die Rolle der Zufallsvariable näher analysiert. In der Schülervorstellungsstudie 1 wurde gefunden, dass Jugendliche Schwierigkeiten mit einer zeitabhängigen Zufallsvariable haben. Dieses Ergebnis bildete die Basis dieser Studie. In der Studie haben die Jugendlichen 18 Beispiele auf einer fünf-stufigen Skala (von zufällig bis nicht zufällig) bewertet. Die Ergebnisse der Studie waren nicht eindeutig. Es konnte nicht klar festgestellt werden, ob es einen Unterschied zwischen Beispielen mit ortabhängiger Zufallsvariable und Beispielen mit zeitabhängiger Zufallsvariable gibt.

In der dritten Schülervorstellungsstudie wurden Schülervorstellungen zur Radioaktivität erhoben. Die Jugendlichen haben zwei offene Fragen beantwortet. Einerseits haben sie den radioaktiven Zerfall beschrieben und andererseits, haben sie die Halbwertszeit erklärt. Die Studie zeigt, dass die Jugendlichen große Probleme mit beiden haben. Eine großflächige Studie zu Schülervorstellungen zur Radioaktivität erscheint sinnvoll.

## 17 Literaturverzeichnis

Allie, S., Buffler, A., Campbell, B. und Lubben, F. (1998). "First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements." International Journal of Science Education **20**(4): 447-459.

Batanero, C. (2013). Teaching and learning probability. Encyclopedia of mathematics education. S. Lerman. Heidelberg, Springer.

Batanero, C. (2015). Understanding randomness: Challenges for research and teaching. Plenary lecture. Ninth European Conference of Mathematics Education., Prague, Czech Republic.

Batanero, C., Arteaga, P., Serrano, L. und Ruiz, B. (2014). Prospective primary school teachers' perception of randomness. Probabilistic thinking: Presenting plural perspectives. E. C. B. Sriraman. New York, Springer: 345–366.

Batanero, C., Chernoff, E., Engel, J., Lee, H. und Sánchez, E. (2016). Research on Teaching and Learning Probability, Springer International Publishing.

Bereiter, C. (2002). "Design research for sustained innovation." Cognitive Studies **9**(3): 321-327.

Bernard, H. R. (2017). Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches, Rowman & Littlefield.

Bethge, K., Walter, G. und Wiedemann, B. (2008). Kernzerfälle – Radioaktivität. Kernphysik: Eine Einführung. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 221-280.

Borovcnick, M. (2011). Strengthening the role of probability within statistics curricula. Teaching Statistics in School Mathematics- Challenges for Teaching and Teacher Education. A Joint ICMI/IASE Study. C. Batanero, G. Burrill und C. Reading. New York, Springer: 71–83.

Borovcnik, M. und Kapadia, R. (2014). From puzzles and paradoxes to concepts in probability. Probabilistic thinking: presenting plural perspectives. E. J. Chernoff und B. Sriraman. New York, Springer: 35–73.

Boyes, E. und Stanisstreet, M. (1994). "Children's ideas about radioactivity and radiation: Sources, mode of travel, uses and dangers." Research in Science & Technological Education **12**(2): 145-160.

Büchter, A., Hußmann, S., Leuders, S. und Prediger, S. (2005). " ,Den Zufall im Griff? – Stochastische Vorstellungen fördern." Praxis der Mathematik in der Schule **47**(4): 1-7.

Buffler, A., Allie, S. und Lubben, F. (2001). "The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms." International Journal of Science Education **23**(11): 1137-1156.

Bühler B. und Erb R. (2010). "Zum physikalischen Weltbild von Jugendlichen, Ein Beitrag zur Erforschung von Schülervorstellungen." PdN-PhiS.

Burde, J.-P. (2018). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells Physik, Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main **Doctor**.

Cauzinille-Marmeche, E. (1985). "The Influence of" a priori" Ideas on the Experimental Approach." Science Education **69**(2): 201-211.

Chaput, B., Girard, J. C. und Henry, M. (2011). Frequentist approach: Modelling and simulation in statistics and probability teaching. Teaching Statistics in school mathematics-challenges for teaching and teacher education. G. B. C. Batanero, & C. Reading. New York, Springer: 85–95.

Coelho, S. M. und Séré, M. G. (1998). "Pupils' Reasoning and Practice during Hands-on Activities in the Measurement Phase." Research in Science & Technological Education **16**(1): 79-96.

Colclough, N. D. (2007). Trainee teachers and ionising radiation: understandings, attitudes and risk assessments. A descriptive study in one institution, University of Birmingham.

de Moivre, A. (1967). The doctrine of chances. New York, Chelsea.

Deardorff, D. L. (2001). "Introductory Physics Students' Treatment of Measurement Uncertainty."

Diamond, I. R., Grant, R. C., Feldman, B. M., Pencharz, P. B., Ling, S. C., Moore, A. M. und Wales, P. W. (2014). "Defining consensus: a systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies." Journal of clinical epidemiology **67**(4): 401-409.

Döhrmann, M. (2005). Schülervorstellung zum Begriff "Zufall". Jahrestagungsband der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik, Bielefeld, Germany.

Dudenredaktion ((o.J)). "Zufall" auf Duden online.  
URL:<https://www.duden.de/node/211469/revision/211505> (Abrufdatum: 19.8.2019).

Duit, R. (1995). "Vorstellungen und Lernen von Physik und Chemie." Plus Lucis(2): 11-18.

Dunne, P., Costich, D. und O'Sullivan, S. (1998). "Measurement of the mean lifetime of cosmic ray muons in the A-level laboratory." Physics Education **33**(5): 296.

Eijkelhof, H., Klaassen, C., Lijnse, P. und Scholte, R. (1990). "Perceived incidence and importance of lay-ideas on ionizing radiation: Results of a delphi-study among radiation-experts." Science Education **74**(2): 183-195.

Fiedler, D., Sbeglia, G. C., Nehm, R. H. und Harms, U. (2019). "How strongly does statistical reasoning influence knowledge and acceptance of evolution?" Journal of Research in Science Teaching **0**(0).

Fischbein, E. und Schnarch, D. (1997). "The evolution with age of probabilistic, intuitively based misconceptions." Journal for Research in Mathematics Education **28**: 96–105.

Fischler, H. und Schecker, H. (2018). Schülervorstellungen zu Teilchen und Wärme. Schülervorstellungen und Physikunterricht, Springer: 139-161.

Gal, I. (2005). Towards "Probability Literacy" for all Citizens: Building Blocks and Instructional Dilemmas. Exploring Probability in School: Challenges for Teaching and Learning. G. A. Jones. Boston, MA, Springer US: 39-63.

Goedhart, M. J. und Verdonk, A. H. (1991). "The development of statistical concepts in a design-oriented laboratory course in scientific measuring." Journal of Chemical Education **68**(12): 1005.

Gropengießer, H. (2005). "Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung."

Häder, M. (2009). Delphi-Befragungen: Ein Arbeitsbuch, Springer.

Heinicke, S. (2012). Aus Fehlern wird man klug. Eine Genetisch-Didaktische Rekonstruktion des "Messfehlers" Berlin, Logos-Verlag.

Hell, T. (2012). Einführung in die Stochastik. Skriptum zu den Vorlesungen Stochstik1 und Statistik U. Innsbruck.

Henriksen, E. K. und Jorde, D. (2001). "High school students' understanding of radiation and the environment: Can museums play a role?" Science Education **85**(2): 189-206.

Heuer, P. (2013). Gibt es Zufälle? . Sinnkritisches Philosophieren, De Gruyter: 311-336.

Hopf, C. (2012). "Qualitative Interviews–ein Überblick." Flick/Kardorff/Steinke (Hg.): 349-360.

Ibrahim, B., Buffler, A. und Lubben, F. (2009). "Profiles of freshman physics students' views on the nature of science." Journal of Research in Science Teaching **46**(3): 248-264.

Kaczmarek, R., Bednarek, D. und Wong, R. (1987). "Misconceptions of medical students about radiological physics." Health physics **52**(1): 106.

Kaplan, J., Fisher, D.-G. und Rogness, N.-T. (2010). "Lexical Ambiguity in Statistics: How Students Use and Define the Words: Association, Average, Confidence, Random and Spread " Journal of Statistics Education **18**: 2.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. und Komorek, M. (1997). "Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion." Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften **3**(3): 3-18.

Klaassen, C., Eijkelhof, H. und Lijnse, P. (1990). Considering an alternative approach to teaching radioactivity. Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary science education. Utrecht, Cd Press: 304-315.

Kolmogorov, A. (1950). Foundations of probability's calculation. New York, Chelsea Publishing Company

Kuckartz, U., Ebert, T., Rädiker, S. und Stefer, C. (2009). "Vertiefende Analyse: Kategorienbasierte Auswertung der qualitativen Daten." Evaluation online: Internetgestützte Befragung in der Praxis: 76-87.

Kuhn, W. (2001). Handbuch der experimentellen Physik, Sekundarstufe II.

Laplace, P. S. (1986). Essai philosophique sur les probabilités [Philosophical essay on Probabilities]. Paris, Christian Bourgois.

Lecoutre, M.-P. (1992). "Cognitive models and problem spaces in purely random situations. ." Educational Studies in Mathematics **23**: 557-568.

Lecoutre, M.-P. und Durand, L.-L. (1988). "Jugements probabilistes et modèles cognitifs: étude d'une situation aléatoire." Educational Studies in Mathematics **19**: 357-368.

Lecoutre, M.-P., Durand, L.-L. und Cordier, J. (1990). A study of two biases in probabilistic judgments: Representativeness and equiprobability.

Lubben, F. und Millar, R. (1996). "Children's ideas about the reliability of experimental data." International Journal of Science Education **18**(8).

Mayring, P. (2014). "Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution."

Millar, R. (1994). "School students' understanding of key ideas about radioactivity and ionizing radiation." Public understanding of science **3**: 53-70.

Millar, R. und Gill, J. S. (1996). "School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation." Physics Education **31**(1): 27.

Millar, R., Klaassen, K. und Eijkelhof, H. (1990). "Teaching about radioactivity and ionising radiation: an alternative approach." Physics Education **25**(6): 338.

Millar, R., Lubben, F., Got, R. und Duggan, S. (1994). "Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance." Research Papers in Education **9**(2): 207-248.

Müller, R. und Schecker, H. (2018). Schülervorstellungen zur Quanten-und Atomphysik. Schülervorstellungen und Physikunterricht, Springer: 209-224.

Müller, R. und Wiesner, H. (1998). "Vorstellungen von Lehramtsstudenten zu begrifflichen Problemen der Quantenmechanik." Didaktik der Physik. Beiträge zur Physikertagung Regensburg: 458.

Murray, A. und Hart, I. (2012). "The 'radioactive dice' experiment: why is the 'half-life' slightly wrong?" Physics Education **47**(2): 197.

Neumann, S. und Hopf, M. (2012). "Students' conceptions about 'radiation': Results from an explorative interview study of 9th grade students." Journal of Science Education and Technology **21**(6): 826-834.

Neumann, S. und Hopf, M. (2013). "Students' Ideas About Nuclear Radiation—Before and After Fukushima." Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education **9**(4): 393-404.

Niebert, K. und Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, Springer: 121-132.

Pillay, S., Buffler, A., Lubben, F. und Allie, S. (2008). "Effectiveness of a GUM-compliant course for teaching measurement in the introductory physics laboratory." European Journal of Physics **29**(3): 647.

Pollatsek, A., Konold, C. E., Well, A. D. und Lima, S. D. (1984). "Beliefs underlying random sampling. ." Memory and Cognition **12**,: 394-401.

Prather, E. (2005). "Students' beliefs about the role of atoms in radioactive decay and half-life." Journal of Geoscience Education **53**(4): 345-354.

Prather, E. E. (2001). "An investigation into what students think and how they learn about ionizing radiation and radioactivity."

Prather, E. E. und Harrington, R. R. (2001). "Student understanding of ionizing radiation and radioactivity." Journal of College Science Teaching **31**(2): 89.

Reinfried, S., Mathis, C. und Kattmann, U. (2009). "Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht." Beiträge zur Lehrerinnen-und Lehrerbildung **27**(3): 404-414.

Reinmann, G. (2005). "Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung." Unterrichtswissenschaft **33**(1): 52-69.

Riesch, W. und Westphal, W. (1975). Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung.

Rollnick, M., Zwane, S., Staskun, M., Lotz, S. und Green, G. (2001). "Improving pre-laboratory preparation of first year university chemistry students." International Journal of Science Education **23**(10): 1053-1071.

Schecker, H. und Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. Schülervorstellungen und Physikunterricht, Springer: 1-21.

Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. und Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer-Verlag.

Schurz, G. (2015). Wahrscheinlichkeit. Berlin/Boston, Walter de Gruyter GmbH.

Séré, M.-G., Journeaux, R. und Larcher, C. (1993). "Learning the statistical analysis of measurement errors." International Journal of Science Education **15**(4): 427-438.

Slama, S. (2018). Grundlagen der Quantenphysik. Experimentalphysik kompakt für Naturwissenschaftler : Mechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik, Optik & Quantenphysik. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 297-340.

Stavrou, D. und Duit, R. (2014). "Teaching and Learning the Interplay Between Chance and Determinism in Nonlinear Systems." International Journal of Science Education: 506-530.

Stavrou, D., Komorek, M. und Duit, R. (2005). Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeit. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften: 147-164.

Stavrou, D., Komorek, M. und Duit, R., . (2003). Schülervorstellungen über das Wechselspiel von Determinismus und Zufall. Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie. A. Pitton.

Volkwyn, T. S., Allie, S., Buffler, A. und Lubben, F. (2008). "Impact of a conventional introductory laboratory course on the understanding of measurement." Physical Review Special Topics - Physics Education Research **4**(1): 010108.

Wiener, G. J., Schmeling, S. M. und Hopf, M. (2015). "Can grade-6 students understand quarks? probing acceptance of the subatomic structure of matter with 12-year-olds." European Journal of Science and Mathematics Education **3**(4): 313 - 322.

Wiener, G. J., Schmeling, S. M. und Hopf, M. (2017). "Introducing 12 year-olds to elementary particles." Physics Education **52**(4): 044001.

Wiesner, H. (1996). "Verständnisse von Leistungskursschülern über Quantenphysik. Ergebnisse mündlicher Befragungen." Physik in der Schule **34**.

Wiesner, H., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M., Wilhelm, T. und Sen, A. I. (2010). "Dynamik in den Mechanikunterricht." PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

## Kapitel 17|Literaturverzeichnis

Wilhelm, T. und Hopf, M. (2014). Design-Forschung. Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, Springer: 31-42.

Woithe, J., Wiener, G. J. und Van der Veken, F. F. (2017). "Let's have a coffee with the Standard Model of particle physics!" Physics Education **52**(3): 034001.

## 18 Anhang

## 18.1 Themen zur Delphi-Studie

<b>Measurements and uncertainties</b>	
Measurements in physics	Included
Uncertainties and errors	Included
Vectors and scalars	Not included because: mathematics
<b>Mechanics</b>	
Motion	Included
Forces	Included
Work, energy and power	Included
Momentum and impulse	Included
<b>Non-linear systems</b>	Added
Non-linear dynamics	Added
chaos	Added
<b>Thermal physics</b>	Included
Thermal concepts	Included
Modelling a gas	Included
<b>Waves</b>	NOT Included: is covered in wave phenomena
Oscillations	NOT Included
Travelling waves	NOT Included
Wave characteristics	NOT Included
Wave behaviour	NOT Included
Standing waves	NOT Included
<b>Electricity and magnetism</b>	Included
Electric fields	Included
Magnetic fields	Added
Heating effect of electric currents	Not included because: Application
Electric cells	Not included because: Application
Magnetic effects of electric current	Included
<b>Circular motion and gravitation</b>	
Circular motion	Included at mechanics
Newton's law of gravitation	Included at mechanics
<b>Atomic, nuclear and particle physics</b>	
Discrete energy and radioactivity	Included: split in two separate topics
Nuclear reactions	Included: added to nuclear physics
The structure of matter	Included: elementary particle physics
<b>Energy production</b>	Not included because: Application
Energy source	Not included because: Application
Thermal energy transfer	Included at: Thermal physics
<b>Wave phenomena</b>	
Simple harmonic motion	Included
Single-slit diffraction	Included
Interference	Included
Resolution	Included
Doppler effect	Included
<b>Fields</b>	Not included because: mathematics
Describing fields	Not included because: mathematics

Fields at work	?
<b>Electromagnetic induction</b>	
Electromagnetic induction	Included at: magnetism and electricity
Power generation and transmission	Not included because: Application
Capacitance	Not included because: Application
<b>Quantum and nuclear physics</b>	
The interaction of matter with radiation	Included at atomic, nuclear and particle physics
Nuclear physics	Included at atomic, nuclear and particle physics
<b>Relativity</b>	
The beginnings of relativity	Not included because: History
Lorentz transformations	Included
Spacetime diagrams	Included
Relativistic mechanics	Included
General relativity	Included
<b>Engineering physics</b>	
Rigid bodies and rotational dynamics	Included
Thermodynamics	Included at thermal physics
Fluids and fluid dynamics	Included
Forced vibrations and resonance	Included
<b>Imaging</b>	
Introduction to imaging	Not included because: Application
Imaging instrumentation	Not included because: Application
Fibre optics	Not included because: Application
Medical imaging	Not included because: Application
<b>Astrophysics</b>	
Stellar quantities	Included
Stellar characteristics and stellar evolution	Included
Cosmology	Included
Stellar processes	Included
<b>Elementary particle physics</b>	From Michaela Oettles Delphi study
Fundamental interactions and forces	Included
Structure of matter	Included form: atomic, nuclear and particle physics
Particles in high-energy physics	Not included: is part of standard model
SRT and QM in context of particle physics, QFT	Split: Relativity has its own category Include: QM and QFT
Symmetries and conservation	Include
Particle interactions and particle decay	Included: Split: Particle interactions: included in fundamental interactions Included: particle decay
Higgs mechanism and higgs boson	Included
Standard model	Included
Cosmology and cosmic radiation, GRT	Included: Has its own category
Open questions and hypotheses	Not included

## 18.2 Interview Transkripte der Schülervorstellungsstudie

In diesen Transkripten der Interviews zur Schülervorstellungen wurde den Jugendlichen alphabetisch Namen zugewiesen.

Schülerin Anna		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allgemein</b>	B: Zufall ist für mich wenn eben was passiert was ich so jetzt nicht erwartet hätte, also für mich ich persönlich mach mir ja schon Gedanken wie jetzt bestimmte Situationen ausgehen können oder auch wie mein Leben verlaufen wird so, und da bezieht man ja auch so verschiedene (.) ja Aspekte in Betracht wie das eben sein könnte, wenn dann was ganz Unvorhergesehenes passiert dann ist das für mich eigentlich Zufall.
	<b>Würfeln</b>	<p>B: Ja so ein bisschen schon. Also man kann das ja das auch schon so mathematisch berechnen wie wahrscheinlich das ist aber es ist schon auch zufällig, so dass ich das jetzt nicht persönlich beeinflussen kann auf welche Seite das fällt. Außer ich konvertieren den Würfel irgendwie</p> <p>I: mhm du hast es gemeint man kann es mathematisch berechnen wie wahrscheinlich das ist. Was ist denn der Zusammen - also weißt du den Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Zufall?</p> <p>B: Ähm (..) ne nicht genau also ich hätte jetzt gesagt. Das eben Wahrscheinlichkeit eben die Möglichkeiten sind, dass etwas passiert aber eben nur so eine gewisse Ahnung zu welchen Fall Zufall sage ich jetzt mal eintreten kann. Aber Zufall ist ja auch wieder was wo ich so keinen Einfluss darauf hab und was dann eben passiert man kann sich dann halt die Wahrscheinlichkeit dann berechnen dass das passieren wird</p>
	<b>Springblöb</b>	<p>B: (lacht) Eigentlich nicht. Weils ja vorhersehbar ist, dass das hochspringt. (lacht)</p> <p>I: Ok. Wann, springt das hoch?</p> <p>B: (..) (lacht) das ist immer so ein bisschen , ja, abhängig. Aber ich glaube, dass das wahrscheinlich ungefähr immer zur gleichen Zeit hochspringt.</p> <p>I: Ok ungefähr? Warum nur ungefähr?</p> <p>B: Ja wahrscheinlich ist das so abhängig vom Material.?</p> <p>I: Mhm wenn ich jetzt 2 mit dem gleichen Material habe, springen die dann gleichzeitig hoch? (holt zweiten springblöb)</p> <p>B: (.....)hmmm (lacht)</p> <p>I: (stülpt zwei um)(...)</p> <p>B: also... wahrscheinlich ist das auch so (ein blöb springt hoch) (..) Ja dann vielleicht ist das ein bisschen wie man das so biegt. Ich weiß nicht ob das damit was zu tun hat.</p> <p>I: Mhm aber es ist nicht zufällig?</p> <p>B: (...) Nein für mich nicht, weil ich weiß ja dass sie, also sie werden ja zu einem bestimmten Zeitpunkt hochspringen</p> <p>I: Aber beim Würfeln weißt du ja auch dass es auf einer Seite landet.</p> <p>B: (..) Ja dass er auf einer Seite landet ist ja nicht zufällig, aber auf welcher Zahl der landet ist zufällig.</p>

<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: (...) Ja ich würde sagen schon, weil es gibt ja immer Dinge die passieren, die man nicht so richtig erklären kann. warum dass jetzt so sie (.).</p> <p>I: und wenn man sie nicht erklären kann dann ist es zufällig?</p> <p>B: Nein ich würde nicht sagen Zufall weil (..) ja das ist ja eigentlich schon so irgendwie gewählt aber man halt keine Erklärung dafür. Aber ja ich glaube halt wenn vielleicht so manchmal Dinge passieren, die jetzt nicht immer so(..)also immer so sind, zum Beispiel in der Natur so Naturkatastrophen die können ja auch zufällig sage ich mal auftreten also total ohne irgendeinen bestimmten Grund davor wenn halt so Platten anein (..) ja aneinander treffen und dann aufbrechen oder so dann entstehen ja auch Erdbeben und das wäre dann eigentlich auch so zufällig sag ich jetzt mal weil es muss ja nicht sein dass die also dass das passiert.</p> <p>I: Mhm, Ähm also Ist zufall etwas Natürliches?</p> <p>B: Ja ich würde sagen schon.</p>			
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (..) Ähm (..) Ja ich denke schon weil, ich glaube so. (..) Dieses die Ausnahme bestätigt so ein bisschen die Regel. Also das so durch Zufälle ja vielleicht auch (..) so Gesetzmäßigkeiten noch mehr so ein bisschen bestätigt werden können weil vielleicht durch die Zufälle lässt sich eben (..) lassen sich so Gesetzmäßigkeiten vielleicht auch so ein bisschen besser erforschen oder hat man sie gefunden.</p>			
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (..) schwierige Frage (lacht) ahm (...) ja auf der einen Seite ja schon, weil (..) ja ich würde sagen auf der einen Seite schon, auf der anderen Seite ist der Zerfall ja nicht zufällig, weil die Teilchen ja instabil sind. Dann ist das ja wieder so wie bei diesen Springteilen dass das eigentlich so vorhersehbar ist dass die zerfallen weil sie ja in sich nicht stabil sind, aber eben (..) ich glaube wie die zerfallen ist dann so ein bisschen zufällig.</p>			
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (...) Nein eigentlich nicht so richtig. Weil die Halbwertszeit ist ja wieder eher so eine Gesetzmäßigkeit so, dass es eben mit einer bestimmen, eben nach der bestimmten Zeit ähm zur Hälfte zerfallen ist. Und das ist ja denn mehr so eine Gesetzmäßigkeit als ein Zufall. Daher kann ich da keinen so richtigen Zusammenhang herstellen.</p> <p>I: Mhm also Gesetzmäßigkeit und Zufall die schließen sich aus?</p> <p>B: Nein nein, aber (..) aber kann ich irgendwie nicht so recht einen Zusammenhang herstellen. aber naja (...) ja.</p>			
	<b>Gedankenexperiment</b>	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>1</b></td> <td> <p>B: (...) hm (..) Ich glaube so in der (..) ungefähr in der Hälfte.</p> <p>I: Ook warum?</p> <p>B: ähmm weil ich glaube das geht schon... also das dauert schon eine gewisse Zeit bis der eben anfängt zu zerfallen. aber eben</p> <p>I: (spielt mit Springblobb und schießt B ab) Entschuldigung, lass es einfach liegen.</p> <p>B: ähm (..) ja ich glaube halt das es da dann erst so voran geht mit dem Zerfall und gegen Ende wird er dann schon ziemlich zerfallen sein</p> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>mehrere</b></td> <td> <p>B: (...)Ja dann könnt es in der hinteren. Ja eher in der zweiten Hälfte. ja irgendwie gegen Ende eher.</p> <p>I: Und wenn du zehn hast?</p> <p>B: (.....) Ja dann auch da eher so gegen Ende</p> <p>I: Wenn du 10000 hast?</p> <p>B: ohnein, ahm (.....) Ja die zerfallen ja eigentlich auch wieder alle so zu gleichen Zeit also (..) ja keine Ahnung (..) ja also auch eher ab Mitte so eher gegen (...) gegen Rest..</p> </td> </tr> </table>	<b>1</b>	<p>B: (...) hm (..) Ich glaube so in der (..) ungefähr in der Hälfte.</p> <p>I: Ook warum?</p> <p>B: ähmm weil ich glaube das geht schon... also das dauert schon eine gewisse Zeit bis der eben anfängt zu zerfallen. aber eben</p> <p>I: (spielt mit Springblobb und schießt B ab) Entschuldigung, lass es einfach liegen.</p> <p>B: ähm (..) ja ich glaube halt das es da dann erst so voran geht mit dem Zerfall und gegen Ende wird er dann schon ziemlich zerfallen sein</p>	<b>mehrere</b>
<b>1</b>	<p>B: (...) hm (..) Ich glaube so in der (..) ungefähr in der Hälfte.</p> <p>I: Ook warum?</p> <p>B: ähmm weil ich glaube das geht schon... also das dauert schon eine gewisse Zeit bis der eben anfängt zu zerfallen. aber eben</p> <p>I: (spielt mit Springblobb und schießt B ab) Entschuldigung, lass es einfach liegen.</p> <p>B: ähm (..) ja ich glaube halt das es da dann erst so voran geht mit dem Zerfall und gegen Ende wird er dann schon ziemlich zerfallen sein</p>				
<b>mehrere</b>	<p>B: (...)Ja dann könnt es in der hinteren. Ja eher in der zweiten Hälfte. ja irgendwie gegen Ende eher.</p> <p>I: Und wenn du zehn hast?</p> <p>B: (.....) Ja dann auch da eher so gegen Ende</p> <p>I: Wenn du 10000 hast?</p> <p>B: ohnein, ahm (.....) Ja die zerfallen ja eigentlich auch wieder alle so zu gleichen Zeit also (..) ja keine Ahnung (..) ja also auch eher ab Mitte so eher gegen (...) gegen Rest..</p>				

Schülerin Beate		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: hmm (...) Dinge die eben nach bestimmten Wahrscheinlichkeit passieren. Die aber keiner beeinflussen kann.
	<b>Würfeln</b>	<p>B: auch Zufall.</p> <p>I: Ist Zufall? Also wie funktioniert denn würfeln genau also</p> <p>B: Ja wenn der Würfel,(.) die sind ja meistens nie komplett perfekt gemacht. Aber wenn er theoretisch perfekt wäre dann je nach dem wie er fällt. also klar vielleicht kann man irgendwie wenn man ganz geschickt ist versuchen wenn ich ihn so (lässt denn würfel von einer geringen Höhe parallel zur Tischplatte fallen) fallen lasse dann ist es kein Zufall. Aber wenn man ihn normal fallen lässt dann ist es schon Zufall.</p> <p>I: Ok und wenn ich jetzt dass so, so, also wo kommt der Zufall jetzt ins Spiel. Also dass ist jetzt ein bisschen blöd also ich lasse den ja fallen, dann rollt er über den Tisch und dann bleibt er irgendwie liegen. Ab wann ist es zufällig?</p> <p>B: hmm Schwierig zu sagen eigentlich kann man das ja schon berechnen wie er aufkommt. Also so gesehen aus einer mechanischen Sicht betrachtet ist es dann wieder kein Zufall. Aber (...) Ja (..) eigentlich ist es kein Zufall weil wenn er irgendwie aufkommt dann fällt er in die eine oder in die andere Richtung</p> <p>I: mhm aber wenn du jetzt sagst. Also warum sagen wir dann es ist Zufall.</p> <p>B: Weil wirs eben nicht beeinflussen können</p> <p>I: mhm und wenn wir jetzt das alles beeinflussen könnten</p> <p>B: Dann wäre es denke ich kein Zufall. Also wenn man etwas gezielt beeinflussen kann dann ist es für mich kein Zufall.</p>
	<b>Springlobb</b>	<p>B: Wann es hoch springt?</p> <p>I: mhm</p> <p>B: (...) Ich denke nicht weil, es kommt bestimmt darauf an (.) wie stark man das ähm (.) umklappt. (Springlobb springt hoch)</p> <p>I: Ok und wenn ich, wenn ich die, des, ähm wenn ich zwei habe und die gleich stark umklappe, springen sie dann gleichzeitig hoch?</p> <p>B: Wahrscheinlich kann man das nicht so genau machen aber, (..) theoretisch sollte dass schon so sein. (...) (I: stülpt zwei um und legt sie auf den Tisch) wahrscheinlich kann man dass garnicht so, (...) so genau machen, als Mensch.</p> <p>I: Ok und wenn das jetzt eine Maschine machen würde?</p> <p>B: (...) Ich weiß auch nicht ob das genau genug (erster springt hoch) (...) bei dem das (..) klappt sich ja zwangsläufig irgendwann um. Jenachdem (springt hoch) (..)</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: (...) mmh(...) Ich denke schon (..) Zum Beispiel irgendwelche Mutationen oder so bei der Vererbung die sind auch meistens ja zufällig (..) so funktioniert ja eigentlich Evolution. Also ich würde jetzt schon sagen (.)</p> <p>I: Also Zufall ist etwas Natürliches?</p> <p>B: (..)Ja</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: Weiß ich nicht</p> <p>I: (lacht) Also ka- gibts-, kannst du irgendwie einen Zusammenhang her-, also dir etwas Denken? (..)Zufall und Gesetz?</p> <p>B: (...) Ähm man muss doch den Zufall immer irgendwie mit ein berechnen. Also (...) wenn ich jetzt irgendwie (..) zum Beispiel (...) wenn ich jetzt einen unebenen Würfel habe und ich berechnen das jetzt und die Wahrscheinlichkeit, dass ich jetzt vier würfel ist jetzt höher als zwei oder als andere Lösungen, dann ist es ja auch vielleicht ein bisschen Zufall oder wo er hinfällt oder so und dann kann ich das mit berücksichtigen.</p>

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: Ich glaube nicht weil der passiert ja, also ist natürlich die Frage wann und wie schnell aber. Aber ja die Atome zerfallen ja immer.</p> <p>I: mhm und wann?</p> <p>B: Nach einer gewissen Zeit</p> <p>I: I: wie ist die Zeit bestimmt?</p> <p>B: Es gibt ja diese Halbwertszeit, wo dann nur noch die Hälfte von diesen Radioaktiven übrig ist</p>		
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: mmh ich würde sagen, also die Halbwertszeit kann man ja relativ genau festlegen und deswegen kann man eigentlich relativ genau sagen, wenn ich jetzt so und so viele radioaktive ähm Atome hab oder halt ähm Verbindungen hab, dass die dann mit einer großen Sicherheit nach dem und dem Zeitpunkt zerfallen sind. Das ist dann halt schon die Frage wie genau das dann ist. Also wenn's natürlich nicht immer stimmt und das Zufall ist ob das Atom früher zerfällt oder später zerfällt dann entsteht dadurch den Zufall der da eben berücksichtigt werden muss eben eine Ungenauigkeit.</p>		
	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: Wann er halt zerfällt.</p> <p>I: ja genau und wann ist das?</p> <p>B: (schlecht zu verstehen) Halbwertszeit.</p> <p>I: Also genau an der Halbwertszeit im wesentlichen</p> <p>B: ja es muss ja nicht sein also, manchen zerfällt ja auch früher oder später. Aber ich würde es einmal da ansetzen weil es wahrscheinlich da am wahrscheinlichsten ist.</p>	
		<b>mehrere</b>	<p>B: (..) dann auch da dann ist es nämlich noch wahrscheinlicher dass einer von beiden zu der Zeit zerfällt</p> <p>I: mhm und bei hundert?</p> <p>B: auch da</p> <p>I: mhm und bei 10000?</p> <p>B: (..) auch da.</p>	

Schüler Anton		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	wenn was passiert was ich davor nicht voraussagen kann
	<b>Würfeln</b>	<p>B: (...) Naja. Also wenn man es so ganz genau betrachtet dann wahrscheinlich nicht aber ansich schon. Für uns wahrscheinlich schon.</p> <p>I: OK, Warum sagst du wenn man es ganz genau betrachtet?</p> <p>B: Ja. Wenn ich jetzt so einen schlaunen Menschen dafür hätte und der könnte dann genau berechnen wie er halt fallen würde, wenn er halt alle Unebenheiten vom Tisch und alles einberechnet dann vielleicht nicht</p> <p>I: Mhm ist, also es kann nicht zufällig sein weil man es berechnen kann?</p> <p>B: (...) Ja aber ja ja (zuckt Schultern)</p> <p>I: ja? Also Zufall kann man nicht berechnen?</p> <p>B: (...) Vielleicht die Wahrscheinlichkeiten aber den Zufall selbe, jetzt nicht. Also was genau was kommt dann danach. Das jetzt nicht.</p> <p>I: mhm Ok. Ähm. Und wenn ich jetzt so etwas habe (holt Springblobb heraus). (...) Das ist, also die Dinger. Alle haben die gekannt, das sind so. ich habe sie nicht gekannt. Das sind diese Springblobbs (stülpt einen um und legt ihn auf den Tisch)</p> <p>B: aha</p>
	<b>Springblobb</b>	<p>B: (.) (I: stülpt den blobb ein zweites Mal um) Ja auch nicht wirklich wahrscheinlich. (..)</p> <p>I: (blobb springt hoch) Warum nicht?</p> <p>B: Das kann man bestimmt auch irgendwie berechnen wann der hochspringt. und warum.</p> <p>I: Wenn man jetzt zwei hat und die ganz gleich sind, springen sie dann gleichzeitig?</p> <p>B: iija ja wenn der Tisch und alles alles gleich sind dann wahrscheinlich schon.</p> <p>I: wahrscheinlich?</p> <p>B: Ah ja ok (lacht) ja dann springen sie auch gleichzeitig. Ja</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Natur- wissenschaft</b>	<b>Natur-wis- senschaft</b>	<p>B: Atomzerfälle und so</p> <p>I: mhm sind die zufällig?</p> <p>B: Ich glaube schon.</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (...)Pfff das ist eine gute Frage. Zufall und Gesetz (..) Ja hm eher nicht oder ich weiß nicht.</p> <p>I: ok</p> <p>B: Ich kenn mich da leider nicht so gut aus.</p> <p>I: eher nicht. Warum nicht also was</p> <p>B: (...) Weil (langgezogen) wenn ich Gesetze habe nach dem das alles funktioniert dann könnte ich ja den genauen Ausgang bilden.</p> <p>I: mhm</p> <p>B: oder und wenn ich das nicht haben dann ist es eben Zufall.</p>
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioakti- ver Zerfall</b>	B: Ja es ist ja irgendwie so, dass pro Zeit zufällig irgendwelche Atome zerfallen aber dann kann man halt auch sagen wie viele zerfallen. Also von einer bestimmten Menge. Der also Erwartungswert
	<b>Halb- werts-zeit</b>	B: (...) hmm, (...) das ist ja halt wenn die, zufällig. der Zufall mal die Atome und wie lange es halt braucht bis sie zerfallen sind. Oder ich weiß es jetzt auch nicht.

	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: Ah das ist (..) Also ich will sehen wie er zerfällt. Also nicht dass er zerfällt sondern wie er zerfällt.          I: Genau          B: Das ist doch völlig egal. wo man da ist.</p>
	<b>mehrere</b>	<p>I: Ok und wenn ich 2 habe?          B: (....)Da ist es auch egal          I: Und wenn ich 10 habe?          B: (....) Dann ist es auch egal.          I: Warum ist es egal?          B: Weil das irgendwann zerfällt aber (..) des zerfällt halt (..) Ah wobei. Vielleicht ist es wenn man 10 hat oder so besser wenn man in der (...) Ach ich weiß es nicht. Ich denke es ist egal. Aber warum weiß ich nicht.          I: ok. Und wenn ich 100 habe?          B: Naja Da is es halt um so früher man dran ist halt noch wahrscheinlicher weil noch welche da sind. Das irgendeiner zerfällt weil am ende sind ja nicht mehr so viele da. Dann kann man wahrscheinlich nicht mehr so viele sehen weil nicht mehr so viele da sind.          I: Wenn man 10000 hat?          B: (..) ja dann halt auch eher am Anfang.</p>	

<b>Schüler Benedikt</b>		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Zufall ist für mich wenn etwas nicht determiniert ist also von Anfang an nicht bestimmt ist und ohne äußere Einflüsse geschieht also keine Voraussetzung einfach dafür gibt und eben keinen gängigen oder keinem festgelegtem Sinn entspringt.
	<b>Wür-feln</b>	B: Ne ich denke das kommt darauf an wie fest man ihn wirft, auf welcher Kante er zuerst landet, dann auch Sachen wie Luftwiderstand und ja das beeinflusst den alles zusätzlich also dass es kein direkter Zufall mehr meiner Ansicht nach ist.
	<b>Springblobb</b>	B: Ja ich kenne die Dinger I: (Springblobb springt hoch) hoch. B: Ja kenne ich. Ja ich denke das ist eben aber auch durch viele physikalische Kräfte beeinflusst und ich denke eben, wenn man jetzt Zufall als wirklich definiert, dass es keine Voraussetzungen gibt und dass es (.) ja man von vornherein nicht errahnen kann was da passiert letztlich ist, als Zufall bezeichnen. Aber ich wie gesagt habe eben ich denken es wird durch so viele physikalische Größen auch beeinflusst das es kein direkter Zufall ist. Das lässt sich bestimmt irgendwie auch berechnen wann das Ding hochgeht. I: Ok das heißt. Ähm nur ganz kurz noch versuchen zu wiederholen was du gesagt hast. Du meinst wir verwenden Zufall nur als etwas weil wir nicht genau wissen wie es funktioniert? B: Ja weil es sonst zu komplex wäre und für uns eigentlich auch keine Notwendigkeit hat es zu wissen und wir auch einfach das Bedürfnis nicht haben es zu wissen woraus das jetzt - warum das jetzt beispielsweise der Würfel so fällt oder so. I: mhm ok B: und das es auch einfach zu komplex ist es in dem Moment zu jetzt errechnen beispielsweise wie fest ich den Würfel werfen muss und dass es anatomisch teils nicht möglich ist ganz einfach.
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Natur-wis-senschaft</b>	B: Ich denke es gibt keine Zufälle ich denke viel man geht von Zufällen nur aus da, wie uns gestern beigebracht wurde, dass man nur 5% der Physik beispielsweise bis jetzt kennt, denk ich mal circa. Ich denke wenn man wirklich 100% Wissen hätte was meiner Ansicht nach aber einfach nicht erreichbar ist, dann könnte man alles berechnen und dann würde es auch keinen Zufall in der Naturwissenschaft geben.
	<b>Zufall und Ge-</b>	B: Ne ich denke es gibt keinen Zufall, weil aus einer Gesetzmäßigkeit lässt sich ja (.) eine Gesetzmäßigkeit sagt ja eben dass eben etwas gesetzmäßig abläuft also kann es eben kein Zufall rauskommen weil es eben doch das Gesetz etwas beeinflusse und eben den Ausgang jetzt beispielsweise des Zufallsexperiments jetzt hier so beeinflusst das es kein Zufall ist, meiner Ansicht nach. (...)
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioakti- ver Zerfall</b>	B: Ne ich denke das kommt auch auf die Strukturformel von dem Kern an. ich habe jetzt leider keine Chemie mehr. (lacht) eben ich denke das lässt sich auch alles von irgendwelchen Gesetzmäßigkeiten also Halbwertszeiten und so ableiten und ich denke das eigentlich in der Natur nicht dem Zufall jetzt entspringt.
	<b>Halb- werts-zeit</b>	B: Ne ich denke halt Halbwertszeiten entspringen auch irgendeiner Gesetzmäßigkeit. Also es hat ja jedes radioaktivstrahlende Atom eine Halbwertszeit, die auch gegeben ist und die ist ja in einem bestimmten Rahmen konstant und ich denke dass das auch wieder mit Struktur und so zusammenhängt von dem Element.

	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: Dann würde ich mir einen exponentiellen Zerfall, das ist ein exponentieller Zerfall vom Atomkern dann würde ich schauen an welcher Stelle da die Steigung dieser Zerfallskurve am Stärksten ist und dann würde ich mich da einplanen ca.</p> <p>I: Mhm du sagt es es eine exp. Zerfallskurve. Was ist eine exp. Zerfallskurve also von was?</p> <p>B: Also es zerfällt jetzt so zu einem bestimmen Zeitpunkt also wir haben ja am Anfang beispielsweise wir haben ähh 50 also ich weiß jetzt nicht genau welche Einheit Strahlung jetzt hat aber wir haben beispielsweise 50 dann zerfällt es ja in der ersten Zeitstufe auf 25 und in der nächsten auf 12,5 also wir haben einen kleinen Zerfall wo die Zeit die wir dann sehen. Also würde ich mich eher am Anfang einplanen weil wir da noch den größten Unterschied dann sehen</p>
	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>mehrere</b>	<p>B: (...) aso und beide gleichzeitig im gleichen Schrank?</p> <p>I: Nein nur einen. Also du hast beide im gleichen Käfig aber du kannst sie beide beobachten, du willst aber nur einen zerfallen sehen.</p> <p>B: dann würde ich mich am Ende eher einordnen</p> <p>I: Warum?</p> <p>B: Weil ich denke irgendein Stadiums des Kerns bin, so den endgültigen Zerfall sowie ich nicht sehe da daneben ein Kern -</p> <p>I: Ok was ist jetzt der Unterscheide zwischen einem und zwei jetzt so in deinem..</p> <p>B: Das ist eigentlich, achso das stimmt das ist eigentlich egal.</p> <p>I: Ok was ist wenn ich 10 habe?</p> <p>B: Das ist auch egal wenn sie gleichzeitig anfangen zu zerfallen (.) dann könnte ich vielleicht auch nachschauen ob sie ab einem gewissen Punkt nicht mehr zerfallen aber -</p> <p>I: Das heißt sie fangen immer genau gleichzeitig an zu zerfallen</p> <p>B: Wenn sie genau 100% gleiche Struktur haben und gleiche Rahmenbedingungen in dem Käfig dann ja. wenn sie unterschiedlich sind dann wäre es unterschiedlich eben.</p> <p>I: Ja wie unterschiedlich? (...) Große Unterschiede oder -</p> <p>B: (..) Ne, ich denke es geht nicht um große Unterschiede wenn man jetzt nur einzelne Atome betrachtet dann sind die auch fürs menschliche Auge auch kaum zu erkennen diese Unterschiede.</p>

Schüler Christian		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Ähm Zufall ist ja wenn man halt nicht genau vorsagen kann wenn man das halt nicht genau vorhersehen kann, also halt das unberechenbar.
	<b>Würfeln</b>	B: Das kann man ja nicht genau sagen weil der ist ja nicht unbedingt ideal, also es kommt ja darauf an ob alle Seiten gleich gewichtet sind - also so Zahlen wären eigentlich schon zufällig - eigentlich I: mhm das heißt aber wenn jetzt da eine Seite ein bisschen schwere ist oder so dann ändert man ja das Gleichgewicht und dann B: Eben I: Ist es dann nicht mehr zufällig? Oder ist es dann B: Dann ist es ja eigentlich nicht mehr zufällig dann wird ja die Wahrscheinlichkeit erhöht und dann.
	<b>Springblobb</b>	B: Ich glaube nicht da wir alles berechnen können. (Springblobb springt hoch) Äh was es für ein Material ist Luftdruck und so. Sollte nicht zufällig sein. I: ok und wenn ich zwei von denen habe, die ganz gleich sind also Material und Luftdruck. (holt zweiten Springblobb) also wir haben jetzt da gleiche Bedingungen und ich habe jetzt zwei von denen. Und stülpe die da gleichzeitig um (stülpt um) Versuch da gleichzeitig (legt sie auf den Tisch) B: Also ich denke wenn man es jetzt sofort sagen sollte dann wäre es zufällig, weil man es jetzt nicht genau sagen kann (einer springt hoch) wenn man beides wenn man weiß wie die beschaffen sind, dann sollte es schon I: ok B: klar es gibt jetzt einen Unterschied (zweiter springt hoch) wann die jetzt genau. Man hat ja schon gesehen dass sie jetzt nicht genau gleichzeitig hochgegangen sind also (.) I: Und woher kommt der Unterschied? B: (...) Ich denke wie stark man das halt geklappt hat
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissen-</b>	<b>Natur-wis-senschaft</b>	B: (...) Ja denke ich schon, bei den Teilchen ist es ja zufällig zum Beispiel bei dem Elektron was für einen Spin die haben. I: Mhm also Zufall ist das etwas Natürliches? B: Ja bestimmt (..)
	<b>Zufall und Ge-</b>	B: Äh muss ich mal überlegen. Ich glaube schon es sollte gleich obwohl eigentlich ja nicht, weil Zufall ist ja etwas Unberechenbares und Gesetzmäßigkeit ist ja berechenbar das gilt ja für alles - aber vielleicht ist auch der Zufall eine Gesetzmäßigkeit. ja schwer -
<b>Phase 3: Zufall in der Ra-dioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	B: Ich glaube nicht den kann man ja auch berechnen zum Beispiel bei Cäsium dauert der halt 3 Jahre, weil halt da die Halbwertszeit berechnet. Aber ich glaube das wird ja auch zuerst am Anfang halt gemessen. Also nicht unbedingt gemessen sondern man halt ich glaube irgendwo Fossilien oder so oder halt irgendwo Funde wo man das halt so sehen kann. I: Wenn - Wenn das jetzt zufällig wäre - was könnte da dann zufällig sein? B: (...) Ich denke wieviel jetzt wirklich zerfällt und ganz genau zerfällt halt das wäre vielleicht auch Zufall
	<b>Halb-wertszeit</b>	B: ähh - ich glaube, also ich meine nicht (..) aber ich denke das es für jedes Atom also halt für jede Sorte von Atom anderes ist was jetzt halt dessen Halbwertszeit ist und ich denke wenn man jetzt irgendein Teilchen in der Natur findet kann man nicht sagen das hat jetzt - also da wäre es für mich Zufall also bei einem neuen Teilchen.

<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: Ja (.) bei zehn Leuten da kann man also (..) es ist halt die Frage ob man jetzt als erstes geht, weil man halt den Anfang noch sieht oder als letzter (..) um halt dann sozusagen das Ende mitzukriegen.          I: Ok also der zerfällt die ganze Zeit?          B: ja          I: mhm ok.          B: Ich denke am Anfang wäre es sozusagen das spannendste</p>
	<b>mehrere</b>	<p>B: Wenn man zwei hat? (....) Wenn jetzt zwei in dem Käfig gefangen wären und jeder würde auch beide gleichzeitig sehen?          I: mhm und du möchtest einen sehen          B: nur einen          I: mhm          B: (..) Ja dann würde ich auch gleich am Anfang</p>

Schüler David		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Wenn etwas (.) passiert ohne dass man vorher weiß was eigentlich passieren könnte sollte
	<b>Würfeln</b>	<p>B: mhm (bejahend)                      I: Was genau ist zufällig daran?                      B: ähh die Zahl die kommt - also man weiß ja dass der Würfel fällt und eine Zahl kommen wird. Aber man weiß halt nicht welche Zahl und das ist der Zufall.                      I: Und wie funktioniert den würfeln so genau? (würfelt noch einmal)                      B: Also der Würfel fällt und rollt und einer Seite bleibt er liegen?                      I: Und wo genau ist jetzt der Zufall?                      B: Auf welcher Seite er liegen bleibt. Also vielleicht kann man das vorher irgendwie also jenachdem wie man den wirft kann man das vielleicht ausrechnen aber (..) und vorhersagen aber - so der Mensch wenn der wirft den würfel dann weiß er das eigentlich nicht                      I: mhm Und wenn des jetzt - wenn ich das jetzt vorher sagen könnte wäre es dann noch zufällig?                      B: (...) Ne ich glaube nicht                      I: Ist dann würfeln zufällig?                      B: (..) Ja (lacht)                      I: (lacht mit) Warum?                      B: (....) (lacht wieder) ne weil - weil ich ja nicht weiß auf welcher Seite er liegen bleibt.                      I: OK aber wenn du es jetzt berechnen könntest (..) - wenn du jetzt das wissen würdest?                      B: Dann könnte ich den Zufall berechnen und damit wäre es kein Zufall mehr.</p>
	<b>Springlobb</b>	<p>B: (.....) ähm (...) neee - ja keinen Ahnung. Ich glaube - ich glaube eher nicht weil man weiß dass (springt hoch) ungefähr wann er hoch springt                      I: man weiß ungefähr weiß aber                      B: aber nicht ganz genau - ja also ein bisschen Zufall ist schon dabei                      I: ok so ein bisschen Zufall aber nicht so richtig - ok also man weiß es nicht so genau oder?                      B: ja                      I: ok das heißt das könnte auch zufällig sein?                      B: (...) Ja? (...)                      I: ja? nein?                      B: ja                      I: Ok ähm was ist zufällig?                      B: (...) Wie lange äh diese Blobb Teil bis es sich entläd sage ich mal.</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwis- senschaft</b>	B: Jaaa? schon. Ich glaube ich eben halt ja ich habe da schon einmal davon gehört. Ja zum Beispiel bei Photonen beim Doppelspaltexperiment zum Beispiel ich glaube das war es zufällig welchen der beiden Spalt das Photon durch nimmt.
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (....) Ich denke irgendeinen Zusammenhang könnte ich mir schon vorstellen.                      I: Ok welchen?                      B: (...) da müsste ich länger darüber nachdenken (....) Man könnte zum Beispiel die Gesetzmäßigkeit aufstellen wann et- also in welchen Fällen Zufall existiert und das wäre ja die Gesetzmäßigkeit immer wenn man ein Photon auf ein Doppelspalt schießt immer dann existiert Zufall - also diese Gesetzmäßigkeit könnte man zum Beispiel aufstellen.</p>

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (...) Da kenne ich mich nicht so gut aus - also keine Ahnung. Also man kann ja irgendwie sagen glaube ich - wie lang der Atomkern jetzt wirklich braucht zum zerfallen also (...) Ist es ja schon irgendwie ein bisschen vorhersagbar auf jeden Fall. Aber vielleicht wenn man jetzt ins Detail gehen würde dann wäre es vielleicht nicht vorhersagbar -</p> <p>I: mhm ok das heißt</p> <p>B: aber wie gesagt da kenne ich mich nicht so gut aus.</p> <p>I: Ok das war so sein vielleicht</p> <p>B: ja</p> <p>I: ok ähm - du hast jetzt schon gesagt man kann irgendwie vorhersagen wann der zerfällt also wie lange der braucht bis der zerfällt- das hast du gesagt - das hast du hast ein bisschen angespielt auf die Halbwertszeit.</p> <p>B: genau</p> <p>I: ich weiß nicht ob des noch so (in Erinnerung ist) -</p> <p>B: mhm (bejahend)</p>
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (...) Also man kann ja die Halbwertszeit bestimmen also insofern - müsste es eigentlich kein Zufall sein - glaube ich</p> <p>I: ok mhm das heißt die Halbwertszeit ist kein Zufall also kann man auch keinen Zusammenhang herstellen oder?</p> <p>B: (...) Die Halbwertszeit... Nochmal bitte?</p> <p>I: Also du hast gesagt die Halbwertszeit ist ja nicht zufällig - das hast du vorhergesagt oder?</p> <p>B: Ja - genau</p> <p>I: ja also - und deswegen ist da kein Zusammenhang zu Zufall?</p> <p>B: (...) ja wie - wie gesagt wenn man ins Detail geht dann vielleicht - das weiß ich ja nicht.</p>

Schüler Erik		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Also Zufall ist wenn etwas nicht wirklich vorherbestimmt ist sondern ahm - ja wenn es halt verschiedene Möglichkeiten gibt mit einer unterschiedlichen Wahrscheinlichkeit. Und die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten halt eintreffen könnten.
	<b>Würfeln</b>	<p>B: Genau</p> <p>I: Wie funktioniert den würfeln genau?</p> <p>B: Also würfeln - man nimmt einen Würfel (nimmt den Würfel)ähm und (würfelt) ja wirft den Würfel halt und da kommt halt eine von diesen sechs Zahlen raus.</p> <p>I: Wo genau kommt jetzt - ist jetzt der Zufall also du sagst ich wirf den (würfelt) - dann lasse ich den fallen - dann dreht er sich am Tisch. Wo genau ist jetzt - wann ist es zufällig?</p> <p>B: Also man muss ihn vorher schüttelt damit man halt vorher nicht weiß welche Zahl jetzt kommen wird und dann ist halt im Prinzip komplett zufällig auf welcher Zahl er letzten Endes beim Würfeln landet.</p> <p>I: Das heißt wenn ich aber so mache (hält den Würfel in der flachen Hand und würfelt) und dann Würfel dann ist es aber nicht mehr zufällig?</p> <p>B: Es (..) (lacht) ist schwer - ist schwer - ahm (..) bedingt ist es schon noch zufällig allerdings ist es eher unwahrscheinlich dass er auf einen von denen beiden Seiten liegt (zeigt auf die Seite die oben liegt in der Hand und die die unten liegt und würfelt dann) na ok jetzt hats grad - erstmal wiederlegt (Würfel landet genau auf einer dieser beiden Seiten) (..) meistens ist schon bei der -</p> <p>I: ok jetzt habe ich noch etwas anderes mitgebracht (holt Springblobbs) Solche Dinger - Kennst du die zufällig?</p> <p>B: Ja die kenne ich.</p>
	<b>Springblobb</b>	<p>B: Ja ich weiß - ähm (..) es (Springblobb springt hoch) also es kommt in dem Fall darauf an wie sehr - also wie sehr man das jetzt drückt (..) also wenn (..)- es kann - also je nachdem wie man das drückt kann's sein es geht im Prinzip schon hoch bevor man es überhaupt losgelassen hat oder es braucht erst einmal eine Minute - aber a</p> <p>I: Ok und wenn ich zwei habe und die gleich fest durchdrücke und die sind gleich</p> <p>B: Ich glaube nicht dass man es gleich fest hinkriegt.</p> <p>I: Und wenn ich das gleiche</p> <p>B: Also wenn man wirklich exakt das gleich machen würde dann fliegen die glaube ich auch gleich in die Luft.</p> <p>I: Ok das heißt? Zufällig?</p> <p>B: Ähm. Wenn man nicht weiß wie es gedrückt wurde ja ansonsten nicht.</p> <p>I: Ok das heißt es ist zufällig nur dann wenn man nicht – gibt's Zufall - Gibt's Zufall? Sagen wir einmal so oder ist das nur weil man etwas nicht weiß?</p> <p>B: (..) Ne äh Zufall gibt es schon.</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: (..) das ist (lacht) (..) Die Frage ist, ist es Zufall oder hat das einen Grund warum das so ist - bzw. hat das einen Auslöser.(..) Wenn man jetzt rein auf die Naturwissenschaft geht dann könnte es schon sein dass es Zufälle gibt aber ich denke mal es ist weder beweisbar dass es Zufälle gibt sind als widerlegbar dass es Zufälle sind.</p> <p>I: Ok (..) das heißt Zufall ist das - Zufall ist das etwas Natürliches?</p> <p>B: (...) Also</p> <p>I: Gibt es den Zufall?</p> <p>B: (...) Ansich - je nach - also - jaa (..) es ist echt schwer (..) Ähm Wenn man jetzt sowas wie einen Würfel hat dann auf jeden Fall ja. Jetzt ist halt die Frage ob man jetzt den Würfel als etwas Natürliches definiert. ähm (..) Es ist halt immer Situation bezogen</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: Ähm Sie meinen das ähm es auch beim Zufall Gesetz gibt?</p> <p>I: Zum Beispiel</p> <p>B: Das ist durchaus möglich.</p> <p>I: Wie könnte so etwas ausschauen</p> <p>B: naja also bei zufälligen Ereignissen wenn man eine sehr sehr hohe Zahl an Versuchen macht. Dann kommt da meistens auch ein Ergebnis bei raus was in etwa dem Zufallswert entspricht.</p>

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: Ich vermute einmal das hängt - ähm (...) Also zum Einen es ist halt instabil das Atom und das hat sicherlich auch irgendwie einen Grund</p> <p>I: mhm ok das heißt</p> <p>B: Also es braucht halt die Möglichkeit zerfallen zu können</p> <p>I: Ok das heißt die - der Zufall ist...</p> <p>B: Wann diese Möglichkeit eintritt?</p> <p>I: Ah ok der Zufall ist nicht wann das zerfällt.(..) Also ist es der Zufall wann das zerfällt oder dass es überhaupt ein instabiler Kern ist?</p> <p>B: Das hängt denke ich einmal vom Kern ab</p> <p>I: Ok (..) Entschuldigung ich glaube ich habe es noch nicht ganz verstanden. Was ist zufällig?</p> <p>B: Zufällig ist wann sich einem Kern die Möglichkeit bietet zu zerfallen</p>	
	<b>Halb-werts-zeit</b>	<p>B: Ähm das ist im Prinzip wie beim Erwartungswert von zufälligen Ergebnissen auch eben beim Würfeln. (..) Ähm Demnach ist auch die erwartete Halbwertszeit und da ist halt sehr sehr viele Atome ist ähm sind die da normalerweise zerfallen - ähm Tritt auch die Halbwertszeit normalerweise ein</p>	
	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>I: Wann würdest du dich denn da einreihen wollen?</p> <p>B: Die Frage ist, was ist die erwartete Zeit?</p> <p>I: Mit erwarteten Zeit meinst du was?</p> <p>B: Also die Halbwertszeit oder? Oder was wird erwartet wann das zerfällt?</p> <p>I: Ok wenn ich jetzt sage die ist 4 min</p> <p>B: Ja dann würde ich mich halt probieren irgendwie so einzuordnen dass ich möglichst so im Umfeld von diesem erwarteten Wert komme.</p>
		<b>mehrere</b>	<p>B: (..) Das macht halt im Prinzip so vom also wenn man eine Minute Zeit hat zum Beobachte - ähm ja bestmöglich wäre es dann natürlich von 1.30 - 2.30.</p> <p>I: Also und wenn ich jetzt zwei Atomkerne habe zum Beobachten (Vermutung B: Glaubt wir reden über springblobbs)</p> <p>B: Die beide eine Erwartung haben-</p> <p>I: Und du möchtest nur einen sehen</p> <p>B: Achso ja gut dann -(..) dann würde sich's ja im Prinzip anbieten wenn man von diesem Mittelwert entweder eine Minute zurück oder nach vorne geht. (..) Weil dann ist eine doch recht große Wahrscheinlichkeit da dass man</p> <p>I: und wenn ich 5 habe?</p> <p>B: Dann wäre es wieder so diese halbe Minute um diese Erwartungswert herum</p> <p>I: wenn ich 10 habe?</p> <p>B: 10 wieder eine gerade Zahl also wieder von diesem Wert eine Minute vor und zurück.</p> <p>I: Wenn ich 100 habe?</p> <p>B: Wieder genau das gleiche</p> <p>I: Wenn ich 10000 habe?</p> <p>B: es wird dann vermutlich auch wieder einer in diesem Bereich zerfallen.</p> <p>I: Was ändert sich?</p> <p>B: Die Anzahl der sich in diesem Bereich zerfallenen Atom so wie halt die Wahrscheinlichkeit dafür dass in der Zeit auch wirklich einer zerfällt?</p> <p>I: Wie verändert sich die?</p> <p>B: Die wird halt immer größer.</p> <p>I: Mhm wieviele brauche ich denn damit ich sicher in der Zeit einen sehe.</p> <p>B: 100% sicher kann man sich da nicht sein.</p>

Schülerin Christina		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Zufall ist wenn was passiert ohne - (überlegt) - ohne das es irgendwie von irgendwas vorherbestimmt war. Das passiert einfach ohne dass es irgendwie davor durch irgendein anderes Wirken beeinflusst zu sein.
	<b>Würfel</b>	B: (überlegt) Ja I: Was ist daran zufällig? B: Es ist zufällig weil alle (zeigt auf Würfel) sechs Seiten vom Würfel die gleiche Wahrscheinlichkeit haben. Also außer der Würfel ist jetzt irgendwie, darf ich anfassen? I: ja B: Außer der Würfel ist jetzt halt irgendwie verfälscht. Dann wäre es kein Zufall aber so weil alle Seiten die gleiche Wahrscheinlichkeit haben, ist es Zufall I: Und was genau ist jetzt Zufall ... beim Würfel? B: (überlegt) Das... naja es könnten ja jetzt alle sechs Seiten könnten ja jetzt oben landen und der Zufall ist jetzt halt genau dass genau jetzt die Eins oben liegt. I: Ok also wenn ich jetzt so mach (würfelt) - Fünf - das ist Zufall? B: Ja
	<b>Springblöb</b>	B: Das sie springen oder das sie - ich denke das lässt sich irgendwie erklären irgendwie - also so rein aus dem - aus der - (überlegt) also ich denke, das hat was damit zu tun wie diese Dinger aufgebaut sind...also ich kenne mich damit nicht aus aber das wäre jetzt für mich - äh - wahrscheinlich eher kein Zufall - man sieht ja schon, dass es dann in sehr vielen Fällen dann doch springt und jetzt den einen - (springt) - früher oder später springt es dann schon also hätte ich jetzt gesagt dass das damit zusammenhängt wie die Dinger dann wirklich aufgebaut sind.
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	B: Ich würde einmal sagen ja. (langgezogen) (Pause) I: Ok wo? B: Vor der Frage habe ich Angst gehabt - (lacht) - Ähm - also ich denk in der Biologie - (überlegt) - ich weiß nicht wo - hmm ich muss überlegen - ähhh - ich weiß gerade nicht - also keine Ahnung - ob sich jetzt ein Atom trifft oder nicht, ich weiß nicht, ich denk das ist kann auch so Zufall sein. Ich weiß nicht ich kenne mich da jetzt nicht so gut aus aber das wäre komisch wenn das jetzt alles Schicksal wäre. Wenn das alles irgendwie vorausbestimmt wäre - sonst wären wir ja - ich denke, so rein evolutionstechnisch muss ja irgendwann mal etwas zufällig passiert sein, dass wir uns halt so weiterentwickelt haben.
	<b>Zufall und Gesetz</b>	

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (überlegt) Ich weiß ehrlich gesagt – ich habe echt nicht so das Hinterwissen da, der zerfällt – wissen sie oder wieso zerfällt der wissen Sie das? oder war das jetzt schon die Frage</p> <p>I: Das wäre die Frage</p> <p>B: Das ist – der Kern zerfällt ja einfach immer weiter so wie in – so einem – wo halt so ein Atomkraftwerk kaputt gegangen ist da zerfällt das ja immer ja irgendwie</p> <p>I: genau also man sagt ich habe einen Kern zum Beispiel Radon und der zerfällt, das heißt er sendet einen Alpha und zerfällt dann so lange bis es dann stabil ist.</p> <p>B: mhm – (überlegt) – also – (überlegt) – ob das jetzt Zufall oder Schicksal ist oder?</p> <p>I: hm ob das – ob der radioaktive Zerfall – ob das etwas Zufälliges ist.</p> <p>B: Ich denke nicht, weil das hat ja was – das hängt ja damit zusammen – mit der Struktur und wie die sich wann verändert und weil – wir altern ja auch und das ist ja auch jetzt nicht – unbedingt zufällig. Aber das ist halt weil unser Körper halt so aufgebaut ist. Deshalb denke ich das ist halt – der Atomkern ist halt so aufgebaut, dass er halt irgendwann zerfällt unter bestimmten Bedingungen.</p> <p>I: Und wann?</p> <p>B: Das ist eine gute Frage (lacht) äh ich denke mal das hat halt verschiedene Bedingungen die das beeinflussen. (.) ja (.)</p>
	<b>Halbwerts-</b>	<p>B: (..) Die Halbwertszeit war doch die Zeit wo, so die Hälfte des Stoffes zerfallen ist. (...) Ich denke nicht, dass das zufällig ist wann die Hälfte des Stoffes zerfallen ist. Das hat doch damit zu tun was es ist für ein Stoff ist und unter welchen Bedingungen das ist und ich denke (..) nicht dass das so viel miteinander zu tun hat.</p>

Schülerin Doris		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Ja für mich – ähm – also, dass mathematische sozusagen. Also wenn etwas zufällig passiert dann ist es halt eine Möglichkeit von den ganzen Wahrscheinlichkeiten und dann ist es eben mit dieser Prozentanzahl von Wahrscheinlichkeit passiert.
	<b>Würfeln</b>	B: Ja, also – immer mit – ein Sechstel Wahrscheinlichkeit (lacht) I: mhm was daran ist jetzt zufällig? Genau?(würfelt nochmal) B: Äh welche Zahl man würfelt I: mhm und wie genau ist das jetzt? Also ab wann kommt jetzt der Zufall ins Spiel? (würfelt nochmal) – Also ist es das (hat Würfel in der Hand) oder das (lässt Würfel fallen) oder was ist also - ab wann- ab wann ist es Zufall? B: (überlegt) ich glaub schon hier (macht Würfelbewegung mit der Hand)
	<b>Springblobb</b>	B: Ne (zweiter Springblobb springt) also I: Nein? also was ist – B: äh – das ist ja – also das es nach einer Zeit – also dass es so kommen muss, weil es halt nach einer Zeit eben kein – also dieser Widerstand da eben hochgeht – also halt das physikalische und dann – und dadurch dann hochgeht I: und wann? B: ... Äh das kommt und auf da Material und Zeit drauf an I: und wenn man jetzt beide gleichzeitig umstülpen? Springen sie dann gleichzeitig hoch? B: mmmhhh ne ich glaube nicht – also das ist halt schon – also ich glaube nicht dass es Zufall ist wann es halt hochspringt aber halt – so – aus einer XXXX und – ja halt so – vom Material her. Glaube ich –
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	B: mh – ja – also ich glaube schon – ähm – also – ähm ja auch gerade bei diesem – äh – äh – – äh – bei diesen Ionen bestrahl – also bei diesem Ionenstrahl – das ist ja auch den Zufall – ähm – welche Teilchen sich treffen oder dann halt kollidieren – das machen ja nicht alle sondern nur halt – das ist glaube ich schon Zufall welche sich treffen I: Und wie beschreiben wir das? Also wie beschreiben wir dir Natur? B: mhh – mit Kräften und Formeln I: Also ist Zufall jetzt etwas Natürliches? Gibt es das in der Natur? B: – – – Zufall (lange Pause) ja ich glaube schon, also auch wenn – ähhh – auch irgendwas von – beim Entstehen – ich glaube halt auch dass es halt Zufall war dass die Erde entstanden ist und da waren auch also das Zufall – ja natürlich
	<b>Zufall und Gesetz</b>	
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	B: mmhh.... Ne da gibts ja die Halbwertszeit und dann – ähm – ok also ein bisschen wahrscheinlich ist es. Da es ja immer diese Wahrscheinlichkeit – äh – nach 50 Prozent also nach der Halbwertszeit sind ja 50ig Prozent dann äh Atome zerfallen. Und weil es ist ja dann Zufall welche Atome das sind. Also –
	<b>Halbwertszeit</b>	

	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: – – – – ääähhhhh – – – – und ähm weiß man wie langs halt dann... also die Halbwertszeit oder so?</p> <p>I: (zuckt die Schultern) Sag mir die Halbwertszeit ist 4 Minuten</p> <p>B: (überlegt lange) das ein Atomkern zerfällt (überlegt lange) boooaahhh – also am Wahrscheinlichsten ich weiß nicht ob man das dann sagen kann, – ob halt irgendwas dann halt am Wahrscheinlichsten ist ein Zeitpunkt aber ich würde mich ich glaube so</p> <p>I: du kannst auch sagen es ist egal</p> <p>B: eher am Anfang also so 3 Minuten oder so</p> <p>I: 3 Minuten. Also du würdest jetzt sagen eher am Anfang. Oder du hast gesagt du weißt nicht ob man das sagen kann. Du kannst auch sagen es ist egal –</p> <p>B: Ja weil am Anfang zerfallen ja – also bis zur Halbwertszeit sind ja schon die Hälfte zerfallen – das heißt es ist halt wahrscheinlicher dass der halt am Anfang zerfällt weil ja da die meisten zerfallen.</p>
	<b>mehrere</b>	<p>B: (überlegt) mh das beide zerfallen oder dass halt einer?</p> <p>I: das du einen zerfallen siehst?</p> <p>B: Ja da würde ich mich auch eher am Anfang</p> <p>I: mhm und bei 10?</p> <p>B: bei 10 – – glaube ich auch eher am Anfang – aber – also</p> <p>I: Aber siehst du dann sicher etwas Zerfallen oder –</p> <p>B: also wenn die Halbwertszeit zum Beispiel 4 Minuten ist dann müsste ich ja – ähm – halt mit einer großen Wahrscheinlichkeit bei 4 Minuten schon 5 zerfallen sehen haben</p> <p>I: Ok ab wann siehst du denn ganz sicher – wieviele Kerne brauchst du denn dass du ganz sicher in den ersten ähm 3 Minuten etwas siehst?</p> <p>B: (überlegt) ich glaube 10 reichen da schon glaube ich.</p>	

Schüler Florian		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Ähm Wenn etwas Unerwartetes passiert. Wenn man es nicht vorher weiß.
	<b>Würfeln</b>	<p>ok also du hast schon etwas zum Würfeln (gesagt) Also würfeln ist zufällig oder? (würfelt)</p> <p>B: Ja</p> <p>I: Was ist denn daran zufällig?</p> <p>B: Ja das also wenn jetzt halt hier die Zwei kommt, dann ist es Zufall, dass halt die Zwei kommt. Es könnte ja auch es ist ja alles gleich wahrscheinlich könnte auch eine Eins kommen oder irgendwie</p> <p>I: ok ok und woher rührt der Zufall? (.) Also was genau (.) also (.) wenn ich jetzt (würfelt nochmal) welcher Teil vom Würfeln ist zufällig?</p> <p>B: Ja, das Ergebnis was kommt, die Augenzahl.</p>
	<b>Springblobb</b>	<p>B: Ne, das würde ich nicht sagen.</p> <p>I: und wenn ich zwei davon habe?</p> <p>B: wenn du was was ist zufällig? Dass die hochspringen oder wie oder wann die hochspringen?</p> <p>I: Naja das ist die Frage ist da etwas Zufälliges dabei? (lässt weitere Springblobbs springen)</p> <p>B: (.) Ja (lachend) das würde ich jetzt nicht sagen. Man spannt halt das Ding und irgendwann löst sich halt die Spannung aus und dann</p> <p>I: irgendwann? wann?</p> <p>B: Das kommt drauf an wie gut man spannt. Wenn man es nur so ein bisschen macht dann geht es ganz schnell und man es richtig durchdrückt dann dauert es halt länger.</p> <p>I: Ok und wenn ich die beide jetzt richtig durchdrücke? Sind sie dann gleichzeitig?</p> <p>B: Ne, wahrscheinlich nicht genau. (...) (überlegt)</p> <p>I: Und woran liegt das dann?</p> <p>B: (lachend) Das sind jetzt Sachen die ich jetzt überhaupt nicht weiß. Keine Ahnung welcher Gummi halt stärker ist oder es gibt sich irgendwas wie man es erklären kann wie das jetzt genau so ist Ich würde nicht sagen, dass das Zufall ist.</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	
	<b>Zufall und Gesetz</b>	

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: mh (überlegt) wenig würde ich sagen ich wüsste gerade da müsste ich jetzt mal länger überlegen da wüsste ich jetzt ganz spontan nichts</p> <p>I: Ok (.) ähm wie beschreiben wir denn die Natur. Also Naturwissenschaft beschreibt ja die Natur. Weißt du vielleicht wie wir das beschreiben?</p> <p>B: Ja halt ähm mit so Regelmäßigkeiten eigentlich so früher hat man halt noch nicht so viel gewusst und jetzt versucht man immer mehr Regelmäßigkeiten festzustellen und dann halt abzuleiten auf anderen Sachen halt.</p> <p>I: Ok und (.) Zufall ist das jetzt etwas Natürliches oder ist das etwas</p> <p>B: Also wenn es Zufall ist, dann ist es nichts Natürliches würde ich sagen.</p> <p>I: Ok</p> <p>B: Die natürlichen Sachen sind schon meistens die, die man auch erklären kann. Aber dann gibt es natürlich auch wieder viele Sachen jetzt wo man halt nicht weiß und dann sagt man halt es wäre Zufall.</p> <p>I: Ok. Das heißt was du jetzt gesagt hast war wenn man es noch nicht erklären kann dann sagt man es ist Zufall</p> <p>B: ja</p> <p>I: weil man es noch nicht erklären kann</p> <p>B: ja das stimmt schon bei manchen Sachen ja</p> <p>I: Ok und wenn man es jetzt erklären könnte?</p> <p>B: Dann wäre es kein Zufall mehr irgendwie.</p>
	<b>Halb-werts-zeit</b>	<p>B: Ähm ähm da gibt es ja auch so Exponentialgleichungen dazu also wie man das dann erklären kann also wie viel jetzt also da auch eher nicht</p>
	<b>Gedankenexperiment</b>	<p>B: Also man sieht wie der zerfällt oder wie?</p> <p>I: Genau also du hast einen Kern und ähm jeder darf eine Minute beobachten und irgendwann wird der Kern zerfallen. Die Frage ist jetzt welcher Beobachter, an welcher Stelle sieht den Zerfall?</p> <p>B: Ähm am Anfang ist es am Wahrscheinlichsten, dass er zerfällt würde ich sagen.</p> <p>I: ok warum</p> <p>B: da gibt es ja noch die da sind die wenigsten noch zerfallen</p> <p>I: du hast halt nur einen</p> <p>B: achso ja (lacht) Ja trotzdem ist es am Wahrscheinlichsten, dass er am Anfang noch zerfällt und umso länger es dann dauert vor allem halt nach der Halbwertszeit wird es halt immer unwahrscheinlicher.</p>
	<b>1 mehrere</b>	<p>B: Auch ganz am Anfang würde ich es anschauen.</p> <p>I: Und wenn du 10 hast?</p> <p>B: (..) Auch ganz am Anfang.</p> <p>I: Und wenn du 100 hast?</p> <p>B: Ich würde es immer ganz am Anfang anschauen.</p>

<b>Schüler Gerhard</b>		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Ja – zum Beispiel – das sind jetzt so viele Faktoren also jetzt praktisch alle die irgendwas bewirken das ziemlich unwahrscheinlich ist, aber was irgendwann dann halt passiert so dass ein zufälliges Ereignis wie – ähm – was können wir da als Beispiel nehmen – da fällt mir jetzt gerade kein gutes Beispiel ein – was so richtig krassen Zufall halt.
	<b>Würfeln</b>	I: Also du hast ja schon das Würfeln schon gesagt. (würfelt) Wenn ich da jetzt würfele – Was ist denn da jetzt zufällig? B: Ja, der Würfel, der bewegt sich halt auf dem Tisch, das kann man nicht beeinflussen und auf einer Seite bleibt er halt dann liegen und das ist Zufall. I: Mhm und wenn – wenn man es jetzt beeinflussen könnte? B: Das gibt es auch, die Würfel bei dem man jetzt – ja dann kann man wenn man jetzt halt im Glückspiel betreibt, dann kann man die ganzen Sechser dann praktisch einfordern.
	<b>Springblöb</b>	B: Naja, es kommt ja auch darauf an, wie stark Sie das jetzt spannen - wenn Sie nicht so fest – dass es jetzt direkt hochblöbt (zeigt auf ersten blöb) aber weiß jetzt nicht so – I: Wenn ich die jetzt beide gleichzeitig – gleichstark spanne – springen sie dann gleichzeitig? B: Es kommt auch – vielleicht klebt der Tisch auch an der einen Stelle ein bisschen mehr oder so – das wäre – ich glaube das hängt von vielen Faktoren ab, dass es jetzt nicht zu schaffen ist, dass das jetzt genau gleichzeitig hochgehen. I: Aber jetzt ist – es hat verschiedene Faktoren aber es ist nicht zufällig? B: ja
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	B: Das sind halt vor allem so – Wahrscheinlichkeiten, die man in den Naturwissenschaften berechnet, aber so richtige Zufälle - das ist jetzt schon eine schwere Frage – aber – ich glaube nicht eigentlich das das Zufall ist – I: du sagst man berechnet Wahrscheinlichkeiten – was ist denn der Unterschied zwischen Wahrscheinlichkeit und Zufall? B: Zufall – ähm – Wahrscheinlichkeit ist halt – das hängt schon miteinander Zusammen eigentlich – das würde ich jetzt einfach so sagen – ja (langgezogen) – (pause) – I: Und ähm – wie wird denn die Natur beschrieben? Wie beschreiben wir denn die Natur? B: Da gibt es ja Formeln und so - und physikalische Gesetze und dann kann man die Natur so beschreiben. I: Und ist jetzt Zufall etwas Natürliches? B: Ist auch eine schwere Frage aber – ich glaube Zufall – das passiert halt einfach so – das ist halt – ich weiß nicht was ich dazu sagen soll – (überlegt) – ja.... (weiß nicht weiter) I: Also glaubst du, dass es wenn ich jetzt würfele, dass es jetzt natürlich zufällig ist oder dass es einfach so etwas Gesteuertes ist – das man sagt ok es ist – B: Ich denke jetzt bei jetzt so einem Würfel, dass es jetzt eigentlich reiner Zufall ist eigentlich – dass es da nichts Gesteuertes gibt aber – da gibt es ja auch so Schicksal oder halt Zufall – das gibt es ja auch – aber bei so einem Würfel ist es eigentlich schon Zufall. Das sieht man ja auf dem Tisch jetzt, dass da – da ist nichts jetzt – das ist jetzt schwer zu sagen aber ich denk da jetzt an reinen Zufall eigentlich. I: Ok. Und ihr habt in der Schule wahrscheinlich schon über Radioaktivität gesprochen? B: Ja kurz.
	<b>Zufall und Gesetz</b>	

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	B: Ich kenn mich jetzt da nicht so gut aus, bei so einem Zerfall von einem Atomkern, aber - (überlegt) - ich glaube - dass das jetzt Zufall ist – also der Atomkern zerfällt ja nach einer bestimmten Zeit - aber dass das dann – also ob das jetzt Zufall ist – das weiß ich jetzt nicht –
	<b>Halbwertszeit</b>	B: ja I: Fällt dir irgendwie ein Zusammenhang ein zwischen Zufall und Halbwertszeit? Kannst du dir da irgendwie denken – Aja das könnte jetzt ein Zusammenhang sein. B: Die Halbwertszeit da wenn dann nur noch die Hälfte da ist oder I: Genau B: das ist auch – also das ist nicht immer gleich – also da sind ja auch Unterschiede. Ja – kann man jetzt auch ausrechnen wie wahrscheinlich es ist – mit welcher Zeit es zerfällt aber – Zufall – das ist auch Zufall auf eine gewisse Art – also mit Wahrscheinlichkeiten eben berechenbar I: Habe ich dich jetzt richtig verstanden – Vielleicht ist Zufall die Zeit nachdem es zerfällt – also der Zufall ist wann das zerfällt? B: mhm ja
	<b>Gedankenexperiment</b>	<p style="text-align: center;">1</p> <p>"B: Also ich möchte sehen wann er zerfällt? I: Du möchtest gerne sehen wann er zerfällt also wie er zerfällt – also musst du dir überlegen – B: Eigentlich kann er ja theoretisch, es ist egal wann – er kann ja eigentlich – ich weiß es ja nicht wann er zerfällt. Aber ich würde jetzt so spontan würde ich wahrscheinlich nicht also erster reingehen wollen, weil ich glaube nicht dass man da – wenn man da jetzt schon so einen Aufwand macht dann direkt losgeht – wahrscheinlich etwas später – aber auch nicht zu spät, vielleicht eher so Mitte – Anfang –"</p>
	<b>mehrere</b>	B: hm – ja eigentlich unverändert – I: Das heißt du sagst, man kann es nicht so ganz genau sagen – aber so Mitte Anfang – ungefähr B: mhm (stimmt zu) I: und wenn man jetzt sagt wir haben nicht mehr zwei sondern wir haben 10? B: Dann denke ich halt dann ist die Wahrscheinlichkeit halt höher dass man einen zu sehen bekommt – aber das ist meine wage jetzt – das wird jetzt wann ich da jetzt halt zuschauen wird keinen Einfluss haben. I: Und wenn jetzt nicht nur 10 sondern 10000. B: Ja dann glaube ich halt einen sehen wird wie er hochgeht – I: mhm wann? B: ich denke dass da jeder dann einen sehen wird eigentlich – bei so vielen.. I: ok – das heißt bei 10000 ist es sicher dass in jeder Minute einer zerfällt B: Ja nicht sicher, also es ist zumindest sehr unwahrscheinlich dass in einer Minute keiner hochgeht aber –

Schüler Harald		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	also meiner Meinung nach ist alles von dem davor abhängig – und Zufall ist wenns das nicht ist
	<b>WürfelIn</b>	B: Ja, also ne das ist nicht zufällig? das ist nur also meine – meine ähm Auffassungsgabe ist dafür nicht nicht groß genug um zu wissen was passiert.
	<b>Spring- blobb</b>	B: Dann wann der Zeitpunkt erreicht ist. Also was weiß ich aber dass kann man ja eigentlich auch ausrechnen I: Kommt also darauf an was für ein Material das ist – B: Ne des is ja, ne wenn man dazu alle Daten der Welt hat kann man das machen nur aber des ist ja halt ziemlich schwer
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	B: (überlegt) Also wenn – ja gut – also so gesehen – also ich weiß jetzt nicht so viel von Physik – ich bin jetzt – ich habe nicht studiert und so – aber wenn, dann in der Quantenmechanik. I: ok B: weil ich – also ich hab jetzt auch nur so Dokumentationen dazu gesehen aber so dass das elek – dass der Standort des Elektrons das man den wahrscheinlich nicht wirklich bestimmen kann I: mhm ok das heißt das ist aber dann zufällig. Also wirklich zufällig? oder ist das auch nur weil wir es nicht wissen? B: Ich persönlich denke, dass wir irgendwann so weit sein werden dass wir es ausrechnen können aber ich – also – ich kanns jetzt nicht sagen – I: ja ich will ja wissen was du persönlich denkst B: ja I: Ähm wie beschreiben wir denn die Natur, wie machen wir denn das? Also wenn ich jetzt etwas beschreiben möchte, wie mache ich denn das? B: mit Sprache I: mit sprache genau und Zufall ist dass dann etwas Natürliches? Also kann ich jetzt sagen ok das ist. B: Nein I: Nein ok B: Außer bei der Quantenmechanik ist es ....
	<b>Zufall und Ge-</b>	B: Was meinen Sie jetzt mit Gesetzmäßigkeit? I: Gesetz eigentlich einfach nur ein Naturgesetz B: Aso (überlegt) ja dass ist das Gegenteil
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	B: (überlegt) da muss ich jetzt überlegen. Wenn man – halt – wenn man es nicht kennt, kann man es eigentlich nicht sagen I: ok B: so ja I: und wenn man es nicht kennt und es nicht sagen kann, dann ist es zufällig? des ist ich versuchs nur dir B: ne es ist vielleicht aus unserem Weltbild gesehen zufällig, wie es ist, dass wissen wir nicht I: ok – und – was genau – ist jetzt in unserem Weltbild zufällig – also bei dem radioaktiven Zerfall? B: Ähm ja, wann das passiert, in welche Richtung das passiert, wie oft das passiert. – Weil wir es halt nicht bestimmen können... I: mhm und ihr habt jetzt sicher auch über Halbwertszeit gesprochen. B: ja

	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (überlegt) ja ich sehe die Parallele zur Gesetzmäßigkeit (lacht) ähh – ja – soll ich jetzt wieder mit unserem Weltbild argumentieren?          I: Du sollst von dir persönlich – wirklich was du – erzähl mir was du denkst? weil das ist das was mich interessiert.          B: Ok – äähmm die Halbwertszeit – also man hat – beobachtet etwas – nennen wirs jetzt halt einen Zufälle und – ja und da – manche Zufälle passieren halt öfters als andere Zufälle und daraus hat sich halt die Gesetzmäßigkeit ergeben – obs – aber man kann es ist keine feste Gesetz kein festes Gesetz diese Halbwertszeit – meiner Meinung nach          I: mhm und wenn man jetzt ein festes Gesetz hätte, dann –          B: ist man Gott          I: hm?          B: Dann ist man Gott          I: Dann ist man Gott, ok und wenn man – du sagst – nur um – ich versuche nochmal zu – du musst mir sagen ob das so gemeint ist oder nicht. Das heißt wenn man diese Dinge vorhersagen könnte, – oder anders der Grund warum man es nicht vorhersagen kann ist, es muss noch etwas höheres geben der des bestimmt?          B: nicht unbedingt          I: ok wir wissen nur noch nicht genau...          B: ja          I: ok wenn wir jetzt genau wissen würden? wie des funktioniert (würfelt) dann haben wir ein Gesetz – dann ist es nicht mehr zufällig?          B: (überlegt lange)          I: Ich frage dich ob das so gemeint ist oder ob du?          B: ich habe gerade den Satz nicht ganz verstanden?          I: Ok Entschuldigung. Also die Idee ist, so wie ich das verstanden habe. Ist es so, dass wenn wir alles wissen würden, (würfelt) den Vorgang ganz verstanden hätten. Könnten wir ein Gesetz dafür aufstellen und dann ist es nicht mehr zufällig.          B: (überlegt) ähm – muss kurz überlegen          I: Jaja ich lass dir deine Zeit das ist kein Problem.          B: (überlegt) Also – wenn wir alles wissen würden – also allein die Frage die Sie stellen – wir wissen nicht ob das durch ein Gesetz gedingst – äh – gesteuert wird oder durch was anderes und – ja – deswegen – ich kann sagen wenn wir alles wissen, dann wissen wir wie es geht. Ich kann nicht sagen, wenn wir alles wissen, dann ist es so</p>				
	<b>Gedankenexperiment</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td data-bbox="392 1294 456 1431" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>1</b></td> <td data-bbox="456 1294 1398 1431"> <p>B: Ich mir wünschen, das ist komplett egal, weil ich es nicht sagen kann.            I: Ok es ist egal.            B: Ja ich kann es halt nicht vorhersagen. Wenn ich es könnte würde ich mit natürlich die beste Minute oder so aussuchen.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1431 456 1724" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>mehrere</b></td> <td data-bbox="456 1431 1398 1724"> <p>B: (...) Was war das Ziel nochmal?            I: Zu sehen wie einer zerfällt.            B:Aso. (...) ne, sehe ich eigentlich keinen Unterschied            I: 10?            B: nein            I: 10000?            B: Klar umso mehr es wird ist es natürlich anders aber im Endeffekt sehe ich keinen Unterschied            I: Ok dann hast du es geschafft. ENDE</p> </td> </tr> </table>	<b>1</b>	<p>B: Ich mir wünschen, das ist komplett egal, weil ich es nicht sagen kann.            I: Ok es ist egal.            B: Ja ich kann es halt nicht vorhersagen. Wenn ich es könnte würde ich mit natürlich die beste Minute oder so aussuchen.</p>	<b>mehrere</b>	<p>B: (...) Was war das Ziel nochmal?            I: Zu sehen wie einer zerfällt.            B:Aso. (...) ne, sehe ich eigentlich keinen Unterschied            I: 10?            B: nein            I: 10000?            B: Klar umso mehr es wird ist es natürlich anders aber im Endeffekt sehe ich keinen Unterschied            I: Ok dann hast du es geschafft. ENDE</p>
<b>1</b>	<p>B: Ich mir wünschen, das ist komplett egal, weil ich es nicht sagen kann.            I: Ok es ist egal.            B: Ja ich kann es halt nicht vorhersagen. Wenn ich es könnte würde ich mit natürlich die beste Minute oder so aussuchen.</p>					
<b>mehrere</b>	<p>B: (...) Was war das Ziel nochmal?            I: Zu sehen wie einer zerfällt.            B:Aso. (...) ne, sehe ich eigentlich keinen Unterschied            I: 10?            B: nein            I: 10000?            B: Klar umso mehr es wird ist es natürlich anders aber im Endeffekt sehe ich keinen Unterschied            I: Ok dann hast du es geschafft. ENDE</p>					

Schülerin Elisabeth		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Ähm Wenn ich irgendwie sowas nicht wirklich erwarte. Also es ist wirklich so wenn es wirklich ganz anders ist als was ich wirklich erwartet habe oder so. Und eigentlich ein Ausgang von einem Ding oder einer Sache die ich nicht einmal bedacht habe.
	<b>Würfel</b>	B: Ähm (...) Jein ich glaube es kommt für mich ganz darauf an wie oft ich würfel. Weil wenn ich ein paar Mal dieselbe Zahl würfel dann ist das halt schon zufällig. Aber ja. Eigentlich ist es schon ein zufälliger Ausgang eigentlich dann aber ich glaube beim Öfteren würfeln. I: Ok warum ist es beim einzelnen nicht zufällig? B: Weil ich da erwarte also eigentlich selber einen Ausgang sehe eine von den sechs Zahlen aber ich kann ich erwarte eigentlich alle dass sie kommen können I: Und wenn du öfter würfelst, was ist dann zufällig? B: Wenn ich immer dieselbe Zahl würfel.
	<b>Springblobb</b>	B: (...) Neeiiin (langgezogen) Also ich finde nicht weil man man dreht das ja um mit der Intension dass es dann hochspringt und damit ist es ja schon ein bisschen fix und man erwartet auch dass es hochspringt weil festkleben wird es ja nicht. I: mhm und wann? B: (...) ähm (...) wie wann? Also wann es zufällig ist oder? I: Nein wann springt das hoch? B: Wenn das gerade ist wieder (zeigt auf Springblobb). Also wenn man das beobachtet dann sieht man wie das umknickt und wenn's gerade ist dann springt dann wieder hoch I: und wann ist es gerade? B: (lacht) Ähm (...) Ähhh also (..) so nach 3 Sekunden oder so was. I: OK (holt einen zweiten Springblobb) so nach 3 Sekunden schau ma einmal. (stülpt beide Springblobbs um und legt sie auf den Tisch) nehmen wir ein zweite. Die sind ja gleich (erstes Springt hoch) B: Das war nach 3 Sekunden (zeigt auf erstes) und das (zeigt auf zweites) nicht. (zweites springt hoch) Bah da erschrecke ich I: Entschuldigung B: Kein Problem I: Also die sind . es sind zwei ganz gleich warum springen die dann nicht gleichzeitig? B: ähm (..) ich glaube es ist aber auch je öfter man die verwendet desto unterschiedlicher also desto länger wird es dauern wahrscheinlich. I: Ok und wenn ich die gleichviel verwende? B: (...) Ich glaube wenn man nicht hinschaut und dass dann einfach wenn man sich einfach denkt dass das dann nach 3 Sekunden oder einmal früher oder später dann ist es wirklich zufällig aber wenn man das beobachtet und das so sieht wie das so zurückgegangen ist, dann ist es glaube ich vorhersehbar

<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: (...) (nickt) ja. (...) Schon es wird ja immer mal was neues entdeckt, was man nicht erwartet hat</p> <p>I: Also wenn man etwas neues entdeckt was man nicht erwartet dann entdeckt man das zufällig?</p> <p>B: (...) Ähm es gibt halt verschiedene ähm, ähm so verschiedene also manchmal arbeitet man ja auf etwas hin und sucht es und das ist dann für mich nicht zufällig aber, wenn man ebenso auf etwas draufstößt oder so etwas was es noch nicht erklärbar ist oder so etwas, das ist dann zufällig. Wenn man es einfach so sieht oder so</p> <p>I: mhm ähm. Gibt es Zufall denn in physikalischen Prozessen? ein physikalischer Prozess der Zufällig ist? Also abgesehen von, wenn man experimentiert und wo drauf stoßt.</p> <p>B: (...) Also wenn man nicht experimentiert. Uhm ich glaube schon (..) Ja (langgezogen) also es gibt ja immer - nein das ist dann auch mit experimentieren</p> <p>I: Du kannst ruhig ein Beispiel sagen also auch wenn es mit experimentieren zu tun hat. was dir da eingefallen ist</p> <p>B: (...) es ist doch zum Beispiel auch beim also die Bohr'schen Postulate haben ja am Anfang nicht gegolten für alle Elemente und dann ist man drauf gekommen es gilt halt nur für Wasserstoff und für Helium und der Rest ist ja. und ich glaube, das war auch irgendwie Zufall, weil man hat es gesagt, dass es stimmt und dann hat man so ausprobiert ob es für andere auch stimmt und dann hat es eben nicht gestimmt und ich glaube es war halt dann schon Zufall, dass es dann nur für Wasserstoff gestimmt und dass es genau stimmt.</p> <p>I: Und ist Zufall etwas Natürliches also was was in der Natur vorkommt?</p> <p>B: (...) Ja (langgezogen)</p> <p>I: Ja? Wo?</p> <p>B: (...) (lacht) Ja ich glaube es kommt für mich überall vor. Wenn man so darüber nachdenkt es kann auch durch Zufall neue Arten entstehen also ich glaube ja</p> <p>I: Wie ist das beim neue Arten entstehen wo ist da der Zufall wo ist es da zufällig?</p> <p>B: (...) Na es ist ja uhm (lacht) ähm ich glaube, wenn es einfach so ist wenn man das jetzt mit menschlichen Eingriffen macht oder so was und sich halt so zwei Arten kreuzen oder so was und man eine gewisse Vorstellung hat wie das dann ausschauen wird und dass dann zufällig anders ist oder so. Oder ähm zum Beispiel bei den drei Mendelschen Regeln war es ja auch so dass der ähm Gregor Mendel Pflanzen gekreuzt hat und dass dann zufällig eine andere Farbe hatte als in der Wirklich- also was er sich erwartet hat und dass ist ja auch so</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (...)hm zwischen Zufall und Gesetzmäßigkeit. Ich glaube, wenn man irgendwie etwas beweisen kann was nicht in Gesetzen beschrieben ist. Ich bin nicht sicher ob das dann als zufällig gilt dass man das so herausgefunden hat oder dass das so stimmt aber für mich wäre es irgendwie zufällig. Wenn ich ein Gesetz habe und ich draufkomme, das stimmt nicht. Oder so beim genaueren nachdenken.</p> <p>I: Kann man Zufall mit einem Gesetz beschreiben?</p> <p>B: Nein, ich glaube er kommt willkürlich vor.</p>
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (...) (lacht) (...) Ja ich gl -ja ist doch oder. Ja (langgezogen)</p> <p>I: was ist da zufällig?</p> <p>B: ahh (..) Wann es zerfällt vielleicht? Weil bei einem instabilen Atomkern ist es doch so dass es kein richtiges Zerfallgesetz gibt und dann ist es einfach so - ja das einen kann dann ähm die erste Halbwertszeit kann dann eine Sekunde sein und die nächste dann drei Jahre und dass is dann so dass halt - man schaut und dann ist das auf einmal weg</p>
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B:(..) Ich glaube, dass die Halbwertszeit durch Zufall also gesehen wurde irgendwie so dass man von einem (.) zerfallenem (.) Ding also Element oder so dass man das durch Zufall erkannt hat dass das nach so vielen Jahren sich halbiert halt. (.) Ja (langgezogen) also ich glaube es ist doch zufällig dass man die Halbwertszeit (schwerverständlich)</p>

	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: Äh hm (...) hm (.) dass ist eine schwere Frage weil das kann ja eigentlich immer passieren (...)</p> <p>I: Du sagst jetzt es kann immer passieren also ist es egal wann du rein gehst?</p> <p>B: Ja es ist ja eigentlich könnte es ja in jeder Minute zerfa- also halt in einem gewissen Maß zerfallen oder über einen längeren Zeitraum. Also ja ich glaube es ist (.) wenn man dann also ich glaube ich würde am Anfang rein gehen</p> <p>I: Am Anfang rein gehen</p> <p>B: ja</p> <p>I: Warum?</p> <p>B: Äh hm (...) weil ich - ich denke mir vielleicht kann ich dann irgendwie was Besseres sehen weil vielleicht auch noch mehr da ist und durch Zufall nicht etwas zerfallen ist schon vorher und vielleicht kann ich es dann besser vorstellen</p> <p>I: du hast immer noch nur einen einzelnen Kern</p> <p>B: ja</p>
		<b>mehrere</b>	<p>B: (...) Also da sind zwei Kerne da?</p> <p>I: Ja zwei Kerne im im und einen von beiden würdest du gerne sehen wie er zerfällt</p> <p>B: (...) (seufzt) hm (....) und sind sie vom selben Element?</p> <p>I: Sind vom selben Element</p> <p>B: (...) Ich glaube ich würde trotzdem noch am Anfang reingehen</p> <p>I: und bei 10?</p> <p>B: (...) vielleicht in der Mitte so</p> <p>I: Ok was ändert sich?</p> <p>B: (...) ähm irgendwie die Wahrscheinlichkeit dass ich das sehe oder so. Weil wenn ich mir das so denke einen kann ich eine Minute beobachten und da sehe ich es vielleicht und dann bei zwei ist es halt schon irgendwie größer die Wahrscheinlichkeit dass ich es vielleicht zerfallen sehe aber wenn man 10 hat und ich würde das dann so einschätzen dass es so wenn ich relativ in der Mitte rein gehe dass ich da vielleicht etwas sehen kann wenn es noch nicht ganz am Anfang passiert ist oder so weil einfach 10 vielleicht einen unterschiedlich langen Zerfall haben.</p> <p>I: mhm ok bei 10000?</p> <p>B: (lacht) ok da würde ich auch so wahrscheinlich so in der Mitte oder am späten Anfang rein</p> <p>I: du sagst je mehr es werden desto wahrscheinlicher ist es dass du es zerfallen siehst?</p> <p>B: ja (langgezogen) also ich stelle mir das schon so vor je mehr es sind und wenn ich sie beobachte dass ichs wenn ich vielleicht in der Mitte oder so am späten Anfange rein gehe dass ich irgendeinen dann zerfallen sehe. Weil ich die Wahrscheinlichkeit so einschätze dass die dann zerfallen würden.</p>

Schülerin Franziska		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	<p>B: Wenn etwas zufällig passiert oder irgendwie beeinflusst zu werden und also auch also es ist ganz egal was passiert es kann alles passieren.</p>
	<b>Würfeln</b>	<p>B: (lacht) Also da kann eine es kann ja irgendeine zufällige irgendeine zufällige Zahl raus kommen und also es ist nicht steuerbar oder man kann es halt nicht steuern.                      I: Und wenn man es steuern kann?                      B: Zum Beispiel so (nimmt würfel - richtet ihn so aus dass eine Seite nach untenschaut und lässt ihn von geringer Höhe fallen)                      I: so genau                      B: So oder (...) Eigentlich man kann ja - also obs dann wenn man es steuern kann zufällig ist?                      I: mhm                      B: Dann eher nicht (...)                      I: Das heißt ähm (würfelt normal) so ist es zufällig und so (macht das selbe wie B: vorhin, Würfel fällt jedoch auf eine andere Seite) nicht zufällig?                      B: Also ein normaler Würfel ist schon zufällig aber wenn man es halt so richtig steuern kann also wenn man jetzt halt würfeln zählt auch wenn man nur so (hebt würfel minimal vom Tisch) eine kleine Distanz zum Tisch habe und dann so würfelt dann wäre es nicht mehr zufällig.                      I: Und was ist wenn ich es da schon steuern kann (würfelt normal)?                      B: Dann wäre es glaube ich auch nicht zufällig.                      I: ok                      B: Weil man kann es ja steuern</p>

	<b>Springblobb</b>	<p>B: Dass es überhaupt hochblobbt oder wann das hochblobbt?          I: Fangen wir einmal an mit dass es überhaupt hochblobbt?          B: (..)hm (..) naja eigentlich ist es ja dafür gemacht dass es hoch blobbt und deshalb ist es theoretisch nicht zufällig aber es kann ja auch sein dass es zufällig eben nicht hochblobbt          I: mhm ok und dann wäre es zufällig?          B: Das es nicht funktioniert wäre zufällig          I: dass es nicht funktioniert wäre zufällig aber dass es funktioniert ist nicht zufällig?          B: genau          I: und wann es hoch blobbt?          B: Hmm (..) es kommt darauf an wie gut man dass steuern kann weil wenn man dass so richtig timen kann also wenn man es bewusst timen kann wann es dann hochblobbt. Dann ist es nicht zufällig aber wenn es immer irgendwann hochblobbt dann ist es zufällig          I: Das heißt wenn ich das jetzt einfach - ich stülp das um und ich habe zwei vom gleichen Material - ganz gleich und ich stülp die beide um und legt die auf den Tisch. (nimmt zwei Springblobb stülp beide um und legt sie auf den Tisch) Springen sie dann gleichzeitig?          B: Ich glaube nicht          I: Warum nicht?          B: Weil sie ja vielleicht (einm Springblobb springt hoch) weil sie vielleicht irgendwie anders gestülp sind und dann zufällig anders sind          I: ok ok und wenn ich zwei würfel habe?          B: Ob sie dann gleich sind          I: Ich würfel sie gleich, kommen sie dann auf die gleiche Zahl? Also ich würfel sie ganz gleich.          B: ganz gleich. nei - ich weiß garnicht. Also ich glaube eigentlich theoretisch schon eher also wenn man jetzt (zweiter Springblobb springt hoch) wenn man jetzt wirklich die selbe Art hat zum Würfeln würde es dann immer auf der selben Zahl liegen, oder?          I: Das ist die Frage obs auf der selben auf der gleichen Zahl landet wenn ich wirklich ganz gleich würfel ich würfel ganz gleich also ich kann ganz gleich würfeln.          B: Ich glaube dass da - es kann zwar sein aber ich glaube dass da immer noch ein bisschen eine Abweichung ist. deshalb würde ich nein sagen          I: ok          B: Ich glaube ja ich glabe dass da immer eine Abweichung gibt</p>
<b>Phase 2: Zufall in</b>	<b>Natur-wis- senschaft</b>	<p>ich mein man kann ja voll viel einfach mit Gesetzen beschreiben ich weiß nicht ob es Zufälle nicht gibt.</p>

	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (...) Gibt es eine Gesetzmäßigkeit für Zufall?          I: Das ist die gleiche Frage, nur anders gestellt (beide lachen)          B: Ähm (.....) Ich mein Ich weiß nicht ob dass da dazugehört dass wenn man also ich weiß nicht ob dass wirklich Naturwissenschaftlich oder mathematis - Mathematikwissenschaft ist aber so wenn man die Wahrscheinlichkeiten ausrechnet für einen Ausgang dass das ein Gesetz für Zufall ist.          I: Wie kann man Wahrscheinlichkeiten aus also wie kommen wahrsch - fragen wir anders. Was ist der Unterschied zwischen Wahrscheinlichkeit und Zufall?          B: Ähm bei Zufall kann irgendwas passieren und bei der Wahrscheinlichkeit sagt man ja für ein spezielles Event was basieren könnte.          I: Ok ist es jetzt beim Würfeln. Wenn ich jetzt einmal würfel ist dass jetzt zufällig?          B: oder wahrscheinlich? oder. Also ich glaube beides. Weil einerseits kann man ja die Wahrscheinlichkeit berechnen welche Zahl da rauskommen wird und andererseits kann man ja sagen es kommt halt irgendeine zufällige Zahl raus. Also ich würde sagen es überschneidet sich das          I: Wo ist jetzt dann der Unterschied?          B: Zwischen Zufall und Wahrscheinlichkeit? Hmm vielleicht gibt es irgendwelche Größen die man nicht mit Wahrscheinlichkeit voraussagen kann die dann nur zufällig sind          I: Ok (...) Dann nochmal zurück zu Zufall und Gesetz. Gibt es da jetzt einen Zusammenhang?          B: Zwischen Zufall und Gesetz?          I: Ja          B: Ich glaube eben das mit der Wahrscheinlichkeit dass man halt sagen kann dass ist - oh nein dass ist wieder Zufall und Wahrscheinlichkeit. Ähm aber (..) aber wenn es für den Zufall ein Gesetz geben würde dann wäre es ja kein Zufall mehr oder?          I: Das ist die Frage. Ist Zufall          B: Eigentlich nicht oder          I: immer noch zufällig wenns ein Gesetz dafür gibt?          B: Dann eher nicht oder weil. ich habe andererseits kann man es weil zufällig ist ja etwas was man nicht vorhersagen kann und wenn man aber ein Gesetz dafür hat das man es vorhersagen kann ist es ja irgendwie genau das Gegenteil von Zufall. Also dass ist irgendwie - ich weiß es nicht</p>
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (..) Äh es gibt ja die spezielle Halbwertszeit und die ist ja fix also für ein fixes Element und ich glaube nicht dass es zufällig ist weil das ja eine fixe Größe ist.          I: OK und wenn es eine fixe Größe gibt dann kann es nicht zufällig sein?          B: (..) Ich weiß nicht weil dann wäre es ja wieder nicht zufällig sondern vorhersehbar.</p>
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: Also Halbwertszeit auf ein bestimmtes Material bezogen          I: Ja genau (..) (zuckt mit den Schultern) Radon          B: Oje ähm ob dass eine zufällige Halbwertszeit ist oder?          I: Ob es da einen Zusammenhang gibt zwischen Halbwertszeit und - und Zufall.          B: (..) hm ich glaube (..) die Halbwertszeit ist ja fix die ändert sich ja nicht oder? (...)          I: (zuckt mit den Schultern)          B: (lacht) Ich mein es könnte schon sein dass es vielleicht unter unterschiedlichen Umständen es - ich weiß nicht wie das ist aber wenn wo anderes also wenn es anstatt irgendwo ist irgendwo anderes liegt dass es da Unterschiede gibt. Aber das ist ja dann auch von den äußeren Umständen gegeben und äh dann ist es ja auch kein Zufall mehr wenn ich alles einberechne oder so (..)          I: ok und wenn man das berechnen kann dann kanns nicht zufällig sein?          B: Ich weiß nicht weil dann wäre es ja wieder vorhersagbar</p>
	<b>Gedankenexperiment</b>	<p><b>1</b>          B: Ähm so kurz vor der Hälfte bei der Halbwertszeit weil da wäre er noch gerade ganz und dann wäre er nicht mehr ganz          I: Ok das heißt kurz vor her Halbwertszeit?          B: ja</p>

		<p><b>mehrere</b></p> <p>B:Und beide zerfallen?  I:Beide sind instabil genau und du möchtest sehen wie einer zerfällt.  B:(..) und sind sie gleich alt oder sind sie?  I:Sind die gleiche Material  B: ok (...) hm Naja ich glaube ich würde auch kurz vor her Halbwertszeit reingehen weil es ist ja dann wahrscheinlicher dass er zerfällt da oder? (..)  I: Ähm also du sagst es ist. Ich habe es nicht ganz verstanden es ist wahrscheinlicher wenn du zwei hast dass einer zerfällt oder es ist wahrscheinlicher kurz vor der Halbwertszeit dass sie zerfallen?  B: Ich glaube eine Kombination daraus weil wenns zwei sind ist ja die Wahrscheinlichkeit höher dass man einen sieht so was und wenn man dass so rund um die Halbwertszeit sich das anschaut dann ist ja auch die Wahrscheinlichkeit erhöht dass man das sieht und wenn ich bei zwei Kernen auch weil die wahrscheinlichkeit höher ist dass einer zerfällt oder beide auch bei der Halbwertszeit weil dann ist es ja noch wahrscheinlicher dass sie zerfallen  I:OK und wenn du 10 hast?  B:wenn ich 10 habe würde ich das gleich auch so um die Halbwertszeit  I:und wenn du 10000 hast?  B: Dann würde ich das auch aber dann gibts ja dann auch Kerne die zufrüh oder zu spät zerfallen vielleicht muss man dann nicht genau schauen vielleicht kann man dann auch ein bisschen früher oder ein bisschen später</p>
--	--	---

Schülerin Greta		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	es kann nicht irgendwie vorhergesagt werden
	<b>Würfeln</b>	<p>B:Ähm welche Zahl, also welche Zahl da oben liegt. I:OK B:Und ja also wenn der Würfel symetrisch ist dann sind alle Seiten gleich groß und dann kann eben genauso gut eine vier rauskommen wie zum Beispiel eine drei oder so I:Ab wann ist würfeln zufällig? Also ist es schon in der Hand zufällig oder wenn er über den Tisch rollt oder ab wann ist es denn zufällig? B:(..) hmm naja also es wird schon ein bisschen beeinflusst so durch die Geschwindigkeit wie schnell man es wirft oder durch die Höhe was der Würfel gefallen ist aber (..) ich denke mir jetzt mal dass kann man jetzt nicht so vorhersagen dass ich genau aus der Höhe den Würfel mit der Geschwindigkeit fallen lasse dass da dann eine Sechs rauskommt. Also alles zusammen ist irgendwie zufällig weil man dass so wenn ma jetzt halt einen Würfel hat nicht berechnen kann.Ich weiß nicht wie ich das tun soll. I: Ok und wenn man es berechnen könnte wäre es dann zufällig? B: nein. Aber ich weiß nicht ob dass beim Würfeln auch so geht aber vielleicht man sieht ja wenn man jetzt die Fläche so noch oben nimmt und denn jetzt mit 3 m/s wirft und auf 10 cm höhe kommt halt immer das selbe raus. I: Ok und wenn immer das selber rauskommt dann wäre es jetzt - B: dann wäre es nicht mehr zufällig I: ok also ist jetzt würfeln zufällig? B: Ja grundsätzlich wenn man so als Mensch ganz normal den Würfel würfelt dann ist es schon zufällig I: und wenn man es jetzt als Nicht-Mensch machen würde B: wenn mein einen Roboter jetzt so programmiert ist, so dass theoretisch immer dann eine Sechs rauskommen würde dann ist es nicht zufällig</p>
	<b>Springblobb</b>	<p>B: (..) ähm (spielt mit Springblobb) Bis zu einem gewissen Rahmen wahrscheinlich schon aber man kann das wahrscheinlich auch wieder irgendwie annähern berechnen wanns hochspringen wird. Zum Beispiel wie stark man dass do durchdrückt oder wie fest man es auf den Boden aufdrückt aber ich glaube den genauen Zeitpunkt wann es wegspringt dass ist zufällig. I:Ok und wenn ich zwei vom gleichen habe und die sind ganz gleich und ich stülp die gleich um und legt die gleich auf den Tisch (holt zweiten Springblobb, stülp beide um und legt sie auf den Tisch) springen die dann gleichzeitig? B:Wahrscheinlich nicht I:Ok wahrscheinlich? B:(...) (erster Springblobb springt hoch)</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Natur-wis- senschaft</b>	<p>B: Ähm Ja I: ja? B: Zum Beispiel bei einem Atom die Elektronen sind ja auch immer zufällig irgendwo in den Orbitalen und dass kann man auch nicht berechnen oder vorhersagen und dass ist dann glaube ich jetzt mal ist 100% zufällig</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (...) Es gibt so ähm also man kann nicht jetzt den Zufall berechnen aber man kann immer so Wahrscheinlichkeiten herausfinden. Wie wahrscheinlich es zum Beispiel ist dass das Elektron jetzt in dem Orbital ist oder dass es doch außerhalb ist also (...) wenn man viele Zufälle untersucht dann kann man halt eine Wahrscheinlichkeit herausfinden aber für ein einzelnes Elektron jetzt zum Beispiel kann man das nicht berechnen also es könnte genauso gut jetzt direkt neben dem Atomkern sein oder halt irgendwo anders.</p>

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: Ja (..)                      I: Was ist da zufällig?                      B: Ähm ja das ist auch wieder so. Grundsätzlich kann man die Halbwertszeit ausrechnen also wenn man viele radioaktive ähm Atome oder so jetzt misst dann wie lang sie durchschnittlich brauchen bis sie zerfallen aber ein Teilchen also von einem Teilchen kann man das nicht vorhersagen</p>		
	<b>Halbwertszeit</b>			
	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: Ähm irgendwann in der Mitte eher                      I: Mhm warum?                      B: (...) Ähm also zum Beispiel wenn jetzt wenn man die Halbwertszeit von dem Teilchen weiß und die ist ich weiß nicht 10 Minuten dann würde ich nach 10 Minuten rein gehen weil (..) grundsätzlich dann die meisten Atome oder eben die meisten Teilchen eben nach 10 Minuten zerfallen von dieser Substanz und deswegen könnte man sagen die Wahrscheinlichkeit ist dann am größten aber natürlich könnte das eine Teilchen jetzt irgendwann zerfallen also man weiß es ja nicht deswegen                      I: Das heißt die Wahrscheinlichkeit dass das Teilchen in der Halbwertszeit zerfällt ist höher als sonst irgendwann?                      B: (...) Ähm (lacht) (..) Ja ich denke schon weil sonst würden ja nicht mehr Teilchen in der Halbwertszeit zerfallen als sonst irgendwann aber für dass eine Teilchen kann man es eben vorher nicht vorhersagen</p>	
		<b>mehrere</b>	<p>B:(...) dann würde ich auch das gleiche machen wie bei einem Teilchen und wahrscheinlich also dann ist wahrscheinlich die Wahrscheinlichkeit höher dass ich eines von beiden beobachten kann. Weil eben zwei drinnen sind.                      I: und was ist wenn ich 10 habe?                      B: würde ich auch zu der Halbwertszeit hineingehen aber die Wahrscheinlichkeit wird halt immer höher je mehr Teilchen oder was halt drinnen sind.                      I: Ok wird die Wahrscheinlichkeit nur da höher dass die bei der Halbwertszeit zerfallen siehst oder auch sonst?                      B: auch sonst</p>	

Schüler Ivan		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allgemein</b>	<p>B: Für mich ist Zufall, das für den Menschen unberechenbare. Wenn ich als Mensch mir etwas nicht berechnen kann, dann ist dass dann der Zufall, das dass hier passiert.                      I:Und wenn du es jetzt berechnen könntest?                      B:Dann wäre es kein Zufall mehr                      I: mhm du sagst - du hast betont du als Mensch, ist Zufall nur für also gibt es Zufall nur für Menschen oder                      B:Ja ähm ich behandel das gerade in meiner vorwissenschaftlichen Arbeit mit dem Thema "Freien Wille"                      I:ok                      B:was auch irgendwie in das hineinschneidet und ich glaube dass der Zufall für uns also nur für uns existiert ja. - Jetzt vielleicht nicht nur für uns aber für uns                      I: Warum? Weil wir nicht besser wissen oder                      B: Weil wir nicht in der Lage sind diese komplexen Systeme vollwissend zu verstehen und dazu werden wir auch nicht in der Lage sein                      I: Aber wenn wir jetzt alles verstehen würden würde es keinen Zufall geben?                      B: Ähm ja</p>
	<b>Würfeln</b>	<p>B:Es ist für uns zufällig ja also es ist zufällig                      I:Das heißt für uns ist es zufällig wenn ich jetzt aber - also wo ist es zufällig also ab wann ist es zufällig?                      B: es ist zufällig solange ich es nicht berechnen kann. Ich könnte aber eine Maschine bauen, ich glaube dass gibt es sogar schon wo gewürfelt wird scheinbar zufällig aber durch genaue Berechnung - da hängen ja verschiedene Faktoren damit zusammen wie Drehung, wie stark werfen wir den Würfel wie stark ist die Rotation, wo ist am Anfang die Position -ähm und wir machen das aber nicht, wir werfen den Würfel nur, das ist für uns in unserer Situation unberechenbar unberechenbar - daher ist es Zufall.</p>
	<b>Springblobb</b>	<p>B:(lacht) ja                      I:Ist das zufällig?                      B:Wann sie springen?                      I:Zum Beispiel, ja                      B:Nein                      I:Warum nicht?                      B:Wenn man das macht, wenn ich das richtig im Kopf habe, dann entsteht hier einen gewisse Spannung und das braucht eine gewissen Zeit bis sich das quasi umstülpt und bis diese Spannung dann hoch geht                      I:mhm und wie lange dauert das?                      B: das weiß ich nicht, das ist für mich zufällig.                      I: Wenn ich jetzt zwei habe mit dem gleichen Material ganz gleich und die ganz gleich umstülpt und ich lege auf den Tisch, springen die dann gleichzeitig?                      B: Sie werden nicht genau glei - also sie werden nicht - also wenn man wirklich davon ausgeht dass sie exakt exakt den gleichen Aufbau mit zu exakt den gleichen Termin und mit genau exakt den gleichen Bedingungen dann werden sie gleichzeitig springen.                      I: Also wenns ganz ganz gleich sind dann springen die gleichzeitig                      B: ja                      I: Aber du bezweifelst dass es das gibt?                      B: ja                      I: Warum?                      B: Weil man da in absolut in eine atomare Ebene reinkommt müsst damit das komplett exakt gleich ist und das herzustellen ist unmöglich. Also das sage ich für uns Menschen ist das unmöglich</p>
<b>Phase 2: Zufall in Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: Weil weil wir uns selbst in der Naturwissenschaft nicht alles berechnen können die Naturwissenschaft ist ja nicht vollends erforscht. Sonst würde es ja keine Wissenschaftler geben. (lacht) und deshalb müssen die auch noch mit dem Zufall arbeiten weil sie sich es nicht berechnen können-</p>

	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: Ähm (...) Ich denke mit Gesetzen versuchen wir den Zufall zu verhindern und dem Zufall dagegen zu arbeiten. Wir versuchen Gesetze aufzustellen wann das springt und wann nicht (zeigt auf Springblobb) weil welche Faktoren da zusammenhängen auf welche Basis um den Zufall möglichst klein zu halten</p> <p>I: Das heißt wenn ich ein Gesetz habe ist das dann zufällig?</p> <p>B: Ich denke dass wir nie ein Gesetz haben werden, dass es so exakt - also dass jetzt eine bestimmte Situation so exakt beschreiben wird dass es kein Zufall mehr ist.</p> <p>I: Ok also wenn es ein Gesetz gibt ist es nicht mehr zufällig?</p> <p>B: Nein weil das Gesetz nicht ausreicht. Dieses Gesetz in einer Praxis bezogenen Situation wird nicht ausreichen</p> <p>I: Ok. Also ist eigentlich alles zufällig?</p> <p>B: ähm (...) Ja also es ist nie für uns ja also für uns ist um Grunde alles zufällig</p>
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: Ähm ich weiß nicht ich weiß dass es da Abweichungen gibt und dass es auch wahrscheinlich nicht berechenbar ist und dass für uns vielleicht zufällig wirkt aber meine Grundhaltung ist immer dass ich es stark bezweifel und dass ich den Zufall stark bezweifel weil was ist - der Zufall ist ja immer von etwas abhängig - dass ist meine Einstellung dazu</p> <p>I: Also der radioaktive Zerfall eines instabilen Atomkerns ist eher zufällig oder vielleicht zufällig oder nicht zufällig?</p> <p>B: Für uns ist das zufällig.</p> <p>I: Ah ok aber in Wirklichkeit nicht</p> <p>B: ja</p> <p>I: Und was ist zufällig für uns?</p> <p>B: (lacht) zufällig ist für uns wenn es unberechenbar ist für uns und wir deshalb mit dem Zufall rechnen müssen</p> <p>I: Ja aber ich meine beim radioaktiven Zerfall was ist da zufällig?</p> <p>B: Der radioaktive Zerfall ist nach eine gewissen Zeit und zufällig für uns ist wann das passiert und ja</p> <p>I: Also die - also zufällig ist wann der Zerfall passiert</p> <p>B: ja</p> <p>I: Du hast doch bestimmt auch was von der Halbwertszeit gehört</p> <p>B: ja</p>
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: Ähm Halbwertszeit ist ja glaube ich da wo die Hälfte der - dieses radioaktiven Stoffes bereits zerfallen ist. Ähm (...) das ist ja auch nur eine berechnete Zeit sozusagen - die hat sich jemand berechnen und für mich ist da auch klar ersichtlich dass es ein System hat - wenn ich eine Zeit feststellen kann wo die Hälfte zerfallen ist - auch wenn ich nicht weiß warum jetzt nur die Hälfte oder warum jetzt nur ein Teil davon. Es ist schon ein Gesetz gegen den Zufall</p> <p>I: mhm Also</p> <p>B: Also ein Gesetz eine Zahl so zusagen</p> <p>I: Also wie ist es jetzt mit dem Gesetz und dem Zufall? (lacht)</p> <p>B: (lacht) also wir Menschen versuchen immer alles zu begründen und wir machen das mit Gesetzen aber wir werden jetzt Grund ins ins Unendliche begründen und ein Gesetz ist quasi nur immer unser Versuch uns den Zufall zu erklären.</p> <p>I: Aber ist dann nicht Gesetz und Zufall gegensätzlich?</p> <p>B: Nein</p>

	<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: Also ich muss jetzt also ich muss quasi zu dem Punkt des Halbwertszeit des des Zerfall          I: Ok das ist deine Interpretation du sagst du möchtest zur Halbwertszeit reingehen?          B: Ja          I: Ok. Warum?          B: Ähm (..) Weil (..) eigentlich jetzt zur Halbwertszeit macht auch nicht wirklich Sinn aber (...) Weil die Halbwertszeit macht auch keine Aussage wie Wahrscheinlich es ist ob er zerfällt oder nicht (..) Aber deswegen zur Halbwertszeit weil die Halbwertszeit in der Zeit ist in der der Atomkern zerfällt. Also der ist in dieser Zeitspanne. Also deswegen zur Halbwertszeit weil ich quasi auf der sicheren Seite bin          I: Ok Also das heißt es gibt auch eine Zeit wo er nicht zerfallen wird. Also wo es nicht wahrscheinlich ist dass er zerfällt oder wo es gar nicht möglich ist dass er zerfällt?          B: Ähm ja für uns ja</p>
	<b>mehrere</b>		<p>B: Ich möchte den Zerfall eines sehen?          I: Genau also du hast zwei drin und du möchtest den Zerfall eines sehen          B: Dann gehe ich wieder zu gleichen Zeit rein          I: Zur gleiche Zeit ok          B: ja          I: Zerfallen die gleichzeitig?          B: ähm ist sehr unwahrscheinlich          I: ok aber es kann passieren          B: Ja es kann passieren          I: Ok was ist wahrscheinlicher?          B: Dass sie zu einer ungleichen Zeit zerfallen          I: Was ist wenn ich 10 Kerne habe?          B: Ich merk dass ich das ich zwei auf einmal. Also die teilen sich dann auf sage ich jetzt mal - dass ist das wahrscheinlichste. Dass sie sich in der Zeitspanne ungefähr aufteilen, weil es ist eben eine gewisse Wahrscheinlichkeit und ja wo ist es halt. Ich muss mich also nur in dieser Zeitspanne also sozusagen ich bin jetzt dran und schauen den beim zerfallen zu. Ähm ja          I: ok was ändert sich von einem auf 10? Also was ist der Unterschied?          B: Also wenn ich das beobachten will? Also was jetzt der Unterschied ist jetzt für mich?          I: Ja          B: Ähm dass es (..) was ändert sich (..) wie gesagt dass es wahrscheinlicher ist das in dieser Zeit er zerfällt also sonst irgendwie          I:Ok und wenn du 10000 Kerne hast?          B:Dann ist es wieder einer Steigerung          I:Also ist es noch wahrscheinlicher?          B:Ja          I:ok. Und du würdest immer zur Halbwertszeit reingehen?          B: Ja</p>

Schüler Julian		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	<p>B: Ok, was Zufall für mich ist? ähm (...) wenn (.) hm schwierige Frage. Wenn Ereignisse so passieren, wie man sichs eben nicht erwartet hat. Ähm (...) Also auf jeden Fall irgendetwas total unerwartetes (.....)</p>
	<b>Würfeln</b>	<p>B: (...) Ich meine es gibt bestimmt Methoden, dass man - ich weiß nicht - den Würfel genauso wirft dass man ihn auf eine bestimmt Kante trifft und dann äh sich irgendwie so dreht oder so dreht wie man sichs erhofft. Aber wenn man jetzt den Würfel einfach so nimmt und einfach ohne großartig darüber nachzudenken einfach den Würfel fallen lässt quasi dann wird man ihn eigentlich fast dann wird man ihn eigentlich fast immer aus einer anderen Position fallen lassen also mal so dass die drei oben ist mal so dass der Vierer oben ist mal drehe ich es mehr an mal eher weniger an und (..) ich würde es nicht (..) Zufall in dem Sinn dass es einfach nicht selber gewählt also nicht bewusst gewählt ist mit welcher Seite oben ich es abwerfe, wie sehr ich es drehe ähm es ist also beim Zeitpunkt des Abwurfs ist es eigentlich schon klar was also wenn man jetzt alles nachrechnen würde, ist klar welche Seite oben sein wird ähm (..) aber da das immer verschieden ist kommen auch immer verschiedene Zahlen halt oben zum Vorschein und (..) ich würde es jetzt nicht als Zufall so sehen ich würde sagen man selber hat jetzt keinen großartigen Einfluss darauf bzw. man bemüht sich ja auch nicht wirklich sich da jetzt wirklich etwas auszurechnen und dann wirklich eine Kleinigkeit macht dann die Überlegung wieder zunichte also es ist schon irgendwie zufällig wie man den Würfel abwirft.</p> <p>I: Ok. Also ist es zufällig, weil wir es nicht steuern wollen aber, wenn wir es steuern wollten denn wäre es nicht zufällig.</p> <p>B: Ja also, wenn wir jetzt wirklich. Also die Umsetzung ist total schwer also man kann - wenn man ein bisschen zittert oder weiß nicht was oder den Würfel einen Mikrometer ein bisschen weiter nach links auf meine Handfläche lege oder so was - ähm oder halt die Kraft kann ich jetzt auch nicht ganz genau steuern, ich will jetzt so und so viel Kraft aufwenden das kann ich jetzt nicht - das kann ich meinen Muskeln nicht sagen dass ich genau diesen Wert haben möchte - man kann sich nähern und eben vielleicht die Wahrscheinlichkeit erhöhen aber jetzt als Mensch kann man das bestimmt nicht so machen dass immer die gleiche Seite halt oben landet.</p> <p>I: ok und wenn du jetzt kein Mensch wärst?</p> <p>B: Ja also ich. Es gibt bestimmt Maschinen die immer den Würfel so werfen dass immer die gleiche Seite oben landet und die dass dann eben perfektioniert haben und (..) ja bei denen dann eben die einzelnen Faktoren perfekt abgestimmt sind und ja</p> <p>I: Ist dann Zufall (..) Also gibt es dann Zufall überhaupt?</p> <p>B: Bei einer Maschine?</p> <p>I: Also insgesamt</p> <p>B: Insgesamt? (...) Also es ist halt einfach nicht geplant aufeinander abgestimmt also es ist klar wie es dort hinkommt also (...) äh (..) Also ich würde sagen Zufall macht auf einen selber halt also den Eindruck denn man selber hat ist dann quasi der Zufall aber wie es dann zum jeweiligen Ergebnis kommt ist eigentlich (...) total nachvollziehbar und dann in dem Sinn nicht zufällig also ja</p>

	<b>Springblubb</b>	<p>B: Wie? Wann das hochspringt?          I: Ja          B: Ja das ist ja wieder das kommt halt darauf an wie stark man das einge also wie sehr man einge- wie sagt man- eingestülpt ist. Ist halt wieder ich würde sagen man könnte es theoretisch, wenn man das jetzt einfrieren könnt also die Zeit stilllegen, alles Einzelne also genau analysieren in welchem Zustand sich das Ding befindet., könnte man sich bestimmt genau ausrechnen genau zu welchem Zeitpunkt genau das in die Luft fliegt. ähm (...) Also in dem Sinn Zufall nein, weil ich würde jetzt sagen im Vorhinein schon bestimmt ist, wenn jetzt die Zeit jetzt darauf einwirkt. ähm (..) Aber wieder für uns Menschen wir können wir das jetzt nicht ganz genau jetzt so eindrücken wie wir wollen oder es gibt halt immer Abweichungen also es ist schätze ich unmöglich um also dass jetzt um den Nanometer genau einzudrücken oder ich weiß nicht und eben diese ganzen Abweichungen die wir selber nicht wirklich ähm auf die wir keinen Einfluss nehmen können lasst es dann für uns quasi zufällig erscheinen also es ist kein Zufall aber es ist - also ich würde wieder sagen es wirkt auf einen wie Zufall weil man nicht genau - weil man es nicht weiß wie sehr es eingedrückt ist aber eigentlich ist es nicht zufällig also man könnte eigentlich von Anfang an schon wissen was jetzt dazukommt und wann es dazukommt.          I: Heißt das Zufall gibt es eigentlich nur weil wir nicht alles wissen?          B: (...) Ja          I: Wenn ich jetzt zwei von den Dinger haben die sind ganz gleich komplett gleich absolute gleich und ich stülp die ganz gleich um, komplett gleich - springen sie dann gleichzeitig? (holt zweiten Springblubb und legt beide um gestülpt auf den Tisch)          B: Wenn alles exakt gleich ist also wenn sie auf der selben Stelle liegen würden also am gleichen Boden untereinander - also sollte wirklich so sein ja (erster Springblubb springt hoch) (.....) (zweiter Springblubb springt hoch)          I: Ok das hat jetzt deutlich länger gedauert warum?          B: Das hat meine Theorie zur nichte gemacht. Also ich weiß nicht aus was der Stoff aufgebaut ist und was da drinnen passiert (..) hm (....) hm eigentlich ist das eigen ich weiß nicht also ich würde sagen das liegt am Stoff selber daran ws da drinnen vor sich geht also was da drin vorgeht. baahh bah schwer (...) jetzt denke ich mir gerade eben irgendwie gibt es ja schon Zufall. bah schwer (..) also ich würde es jetzt aufs Material schieben weil ich eben nicht weiß das das Material ist was es macht was in ihm vorgeht weil es könnte jetzt auch sein weil ich mein es ist ganz bestimmt jetzt nicht zu 100% das gleiche aber ich wäre jetzt nicht davon ausgegangen dass es so stark verzögert ist. (..) Ich weiß es nicht, also ja</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B:(.....) Also wenn ich jetzt zum Beispiel an den Urknall denke. (..) Oder ähm die wie sagt man das (..) es gibt ja eine Gravitationskonstante oder halt (..) ist gibt da halt solche Werte (..) wenn die auf die Nachkommastelle nicht genau so sind wie sie jetzt oder halt wie sie sind dann wäre halt alles anders oder halt es würde vielleicht nicht so funktionieren ähm (..) dass es genau dazu gekommen ist ja würde ich jetzt eigentlich schon als Zufall betrachten oder wie Elektronen in der Atomhülle sich bewegen also ich mein ich weiß jetzt nicht ganz genau was man darüber jetzt schon alles weiß aber so wie ich das eben weiß kann man nicht genau bestimmen also das Elektron bewegt sich in der Hülle halt irgendwie aber halt jetzt nicht vorhersehbar also ich weiß es jetzt nicht genau aber ja also ich würde jetzt schon sagen dass es Zufall in der Naturwissenschaft gibt.          I:Also ist Zufall etwas Natürliches?          B: (...) Ja</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: Ähm (.....) Ich würde nein sagen also was aber nicht geht. Ich glaube das ist irgendwie klar was ich meine          I: Ok Warum? Also kannst mir ruhig deine Überlegungen erzählen. Wie gesagt es gibt ja kein richtig oder falsch da also          B: (...) Naja Gesetz sagt ja quasi so muss es sein, weil es wahr ja Gesetz und Zufall -          I: mhm (zustimmend)          B: ja also am Anfang hätte ich jetzt gesagt Zufall muss auch so sein aber mit der Zeit des Gesprächs habe dann ich meine Meinung dann doch ein bisschen geändert also ich würde jetzt doch nicht mehr sagen dass Zufall genau vorherbestimmt ist aber ähm also eben wie gesagt Gesetz ist so muss es sein und Zufall sagt so kann es sein und ich mein das sind dann halt schon verschiedene Sachen und die würde ich jetzt nicht</p>

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (...) Da muss ich jetzt ehrlich sagen ich weiß nicht genau was da jetzt genau passiert. Also ich mein - ich weiß schon halt - vielleicht dass man</p> <p>I: ähm nein erklären tu ich lieber nicht aber halt du hast einen instabilen Atomkern und</p> <p>B: der zerfällt irgendwann (gleichzeitig)</p> <p>I: der zerfällt. Genau. die Frage ist jetzt ist das zufällig?</p> <p>B: ähm. (...) Ich würde schon ja sagen. Wie gesagt ich würde wieder sagen wenn man sich jetzt Milliarden von einem bestimmten Atom anschaut und dann eben quasi den Schnitt nimmt kann man auf jedenfall sagen so ist es ungefähr aber ich bezweifle dass es bei jedem mal genau gleich ist und eben diese Abweichung kann man wieder ein Intervall festlegen würde ich sagen aber man kann nicht genau bestimmen wann es genau ist</p> <p>I: mhm ok also was ist zufällig?</p> <p>B: Der Zerfall oder was ist</p> <p>I: ja also der zerfall also der zerfall an sich oder was ist das zufällige?</p> <p>B: der Zerfall eines einzelnen Kern (schaut verwirrt)</p> <p>I: ok also dass der zerfällt oder</p> <p>B: Wann er zerfällt</p> <p>I: wann er zerfällt ok. Ihr habt auch wahrscheinlich über die Halbwertszeit gesprochen.</p> <p>B: mhm (zustimmt)</p>
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (...) hm ja also eben eh so wie ich es jetzt erklärt hab. Also die Halbwertszeit ist ja auch nicht ganz genau also so wie ich das jetzt alles verstanden habe und so wie ich das erfahren habe also nach meiner Auffassung ist es so dass es halt Zufall halt eben der Mittelwert ist und einfach der Durchschnitt aber der bestimmt jetzt nicht für jedes einzelne genau das gleiche also halt eben ungefähr aber nicht exakt würde ich sagen. Aber ich muss ehrlich sagen ich weiß es nicht ganz genau- Ich könnte rein theoretisch mehr darüber wissen aber ja es ist halt so</p> <p>I: Ja das ist ja - wie gesagt</p> <p>B: ja</p>
	<b>Gedankenexperiment</b>	<p>B: (...) oh gott (.) Und es ist nichts über den Kern bekannt oder so. Also man weiß jetzt ok irgendwann zu einer "zufälligen" zu einem zufälligen Zeitpunkt und man muss einfach einen zufälligen Zeitpunkt wählen wo man denkt das passt oder?</p> <p>I: ok also ja das ist die Frage</p> <p>B: das ist</p> <p>I: das ist die Frage</p> <p>B: Aso ok ja ich wollt nur die Frage nochmal</p> <p>I: Also die Frage ist es irgendwann für diesen einen instabilen Atomkern - ist irgendwann die Wahrscheinlichkeit sehr hoch dass man das sieht?</p> <p>B: (.....) Also ich würde sagen das kommt auf die Halbwertszeit von dem Atomkern an also wanns bei der Sorte Atom im normal Fall passiert (..)</p> <p>I: Also wenn ich jetzt sage dass die Halbwertszeit von dem Atomkern 3 Minuten ist</p> <p>B: Ok dann wenn ich weiß im Durchschnitt zuerfällt es eben nach 3 Minuten dann würde ich sagen die Wahrscheinlichkeit ist nach 3 Minuten am höchsten also dass ich halt als zweites oder drittes eben je nachdem reingehe</p> <p>I: ok</p> <p>B: ähm (..) wenn ich jetzt nichts darüber weiß wenn jetzt nur gesagt wird er wird irgendwann zerfallen, wann genau weiß man nicht und es gibt keine Wahrscheinlichkeit dazu also halt man kann ja dann auch keine Wahrscheinlichkeit irgendwie aufstellen also zu - dann (...) weiß ich nicht würde ich hal als zweites rein gehen also das ist jetzt also jetzt ohne halt der Erwartung dass das jetzt der bessere Zeitpunkt sondern ich habe jetzt einfach irgendeine Zeit genommen.</p>

1

		<p>B:Genau das gleiche oder (gleichzeitig)</p> <p>I:Ok. (...) Also die Frage ist sonst genau die gleiche</p> <p>B: Naja dann gebe ich genau die gleiche Antwort</p> <p>I: Ok ähm also es ändert sich zwischen einem und zwei nichts?</p> <p>B: Wann ich rein gehe?</p> <p>I: mhm (zustimmend)</p> <p>B: (...) ich würde vielleicht ein bisschen früher rein gehen. (...) Also ich denke mir vielleicht bei 10 Minuten also wenn ich jetzt nur einen habe würde ich mir vielleicht denken ja bei 10 Minuten ist es gut ähm wenn ich zwei habe dann würde ich mir denken ja ok da sind jetzt 5 Minuten gut (..) also halt (..) auf jeden Fall früher. Da würde ich halt sagen dass die Wahrscheinlichkeit höher ist dass es - das einer von beiden also ich meine einer von beiden muss ja früher als der andere zerfallen (...) sprich also wenn ich jetzt also der ist (nimmt Springblobbs zur Hilfe) also ich sag mal der ist (versucht um zu stülpen) ok jetzt fliegt der dann weg - (stülpt nicht um sondern legt ihn normal auf den Tisch) ok wurst der ist (...) der ist der zerfällt früher als der (zeigt auf zweiten Springblobb) und der halt logischerweise halt später. Und beim ersten Versuch hat man den der halt später zerfällt als der ähm und dann gehe ich dahin halt rein und geh wieder raus und dann geh ich wieder rein und dann ist klar dass einer von beiden wird früher zerfallen wird weil der (zeigt auf springblobb) ja früher zerfällt weil die Zeit ist eben kürzer bis einer von beiden zerfällt. Sprich ich würde schon sagen dass wenn zwei da sind dass ich früher rein gehen würde aber ja .</p> <p>I: Ok was ist wenn du 10 hast</p> <p>B: (...) Dann würde ich noch früher rein gehen. Bzw. ja - oh ja da würde ich früher rein gehen</p> <p>I: 10 000?</p> <p>B: Also ich würde halt immer früher rein gehn</p>
--	--	---

mehrere

Schülerin Hildegard		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	<p>B: (..) Eine Wahrscheinlichkeit wo abweichungen Also (...) wahrscheinlich -also (..) wenns eine höhere Wahrscheinlichkeit gibt dass es dann Abweichungen gibt, das ist für mich Zufall. Also die mit geringer Wahrscheinlichkeit dann, wenn die auftritt.</p>
	<b>Würfeln</b>	<p>B: (....)Ich glau - also nicht unbedingt. Ich weiß nicht weil das kann auch vieles entscheiden und in dem Sinne ist es ein Stück weit auch Schicksal vielleicht. (.) Weil man hat ja auch es gibt ja auch Glückskinder oder Kinder die mehr Pech haben und das kann ja nicht zufällig - also das ist ja nicht zufällig dann ausgewählt das gerade das Kind Pech hat.</p> <p>I: Ok das heißt wenn du - du sagst: es gibt Glückskinder - das heißt es ist irgendwie vorbestimmt was der Würfel macht. Was ist dann mit dir? Gibt es dann noch freien Willen?</p> <p>B: (..) hm (..) Das ist so eine Ethnische Sache ähm- man - also ich glaube es gibt. Ich weiß nicht, wenn alles vom Schicksal bestimmt ist dann gibt es ja keinen freien Willen. Aber irgendwie glaube ich haben wir den freien Willen den Weg zu entscheiden wie wir ans Ziel kommen, das Ziel ist vorbestimmt. So zu sagen</p> <p>I: Ok, wenn wie jetzt wieder zum Würfeln gehen. Das heißt beim würfeln wir wir wissen nicht was für eine Zahl da kommt ahm würdest du sagen die Zahl die da draufsteht ist dann zufällig also der Weg dorthin aber das Ergebnis dann wie zum Beispiel dann Ich gewinne im Lotto - das wäre dann Schicksal?</p> <p>B: (...) Ja</p> <p>I: Ja?</p> <p>B: Ja</p> <p>I: Ok. Das heißt aber, jetzt rein von der Technik her. Wo kommt denn der Zufall ins Spiel? (würfelt wieder) Also warum wissen wir die Zahl die da drauf nicht? Ab wann - Ab wann ist es zufällig? Also ist es da schon zufällig (schüttelt den Würfel in der Hand) oder da (lasst den Würfel fallen)?</p> <p>B: Aso ähm (....) es ist ab dem Moment (..) nicht mehr zufällig wenn wir (...) wenn wir nicht die Kontrolle haben also wenn wir etwas nicht beabsichtigt machen. Also eben unse- ren fr - unseren freien Willen so zu sagen benutzen also wenn ich den Willen hätte eine eins zu würfeln, dann könnte ich ja den Würfel so tücken oder so dass dann immer eine Eins dann auch wird</p> <p>I: Ok und das funktioniert dann immer?</p> <p>B: (...) (lacht) mit viel Zufall kommt er nicht mehr</p> <p>I: (holt gezinkten Würfel) ich habe da einen Würfel, der ist ihm so ein Trickwürfel mit einen Schwerpunkt da auf der 1 - also die Seite ist schwerer- was werde ich würfeln?</p> <p>B: Aso weil das jetzt schwerer ist - eine 1 vielleicht?</p> <p>I: Wenns schwerer ist wird das nach unten zeigen.</p> <p>B: Achso ja</p> <p>I: (würfelt) Würfel ich da jetzt immer eine sechs?</p> <p>B: Ne nicht immer</p> <p>I: Ok warum?</p> <p>B: Ja (..) weil (....) eben d (..) der ich weiß nicht (..) die Frage ist schwierig.</p> <p>I: ja aber also im Grunde weil man es nicht - trotzdem nicht vorhersagen kann genau?</p> <p>B: Ja</p> <p>I: Ok also ist es (..) Is das jetzt zufällig?</p> <p>B: (...) Das ist (..) zufällig ist es ja nur wenn die Wahrscheinlichkeit - also für mich ist ja zu- fällig nur wenn die Wahrscheinlichkeit - wenn die kleiner Wahrscheinlichkeit auftritt. Das heißt zufällig wäre für mich wenn eine andere Zahl käme.</p>

	<b>Springblobb</b>	<p>B: Nein (...) des (Springblobb springt hoch)</p> <p>I: Entschuldigung (B: erschrickt)</p> <p>B: hat ja mit einer bestimmten Kraft zu tun also ist es ja - könnte man vielleicht sogar berechnen wann das hochspringt.</p> <p>I: Ok und wenn ich jetzt zwei von denen habe die das gleiche Material haben und ich stülpe die gleich springen die dann gleichzeitig hoch?</p> <p>B: hm ne</p> <p>I: Warum nicht?</p> <p>B: (lacht) weil die in verschiedenen Lagen wahrscheinlich gestülpt oder anderes Material haben oder</p> <p>I: Und wenn die ganz die gleichen hab? Wenn ich zum Beispiel mehrmals hintereinander mache und die Zeit messe wie lange das dauert.</p> <p>B: (...) Bin ich mir nicht sicher</p> <p>//I: (holt zweiten Springblobb, erster Springblobb springt hoch)//</p> <p>B: Also das Material, also wenn das jetzt eine zum Beispiel häufiger benutzt wurde also das andere denke dass das wo häufiger benutzt wurde vielleicht elastischer ist und dass das vielleicht hineinspielt.</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: (...) Zufall wenn man etwas zufällig entdeckt also ja- aber jetzt nicht ich denke nicht dass es Zufälle in der Wissenschaft - also wenn - in der Wissenschaft gibt- keine Formel ist zufällig entstanden.</p> <p>I: Ok und ist es etwas Natürliches Zufall? Also gibt es das in der Natur?</p> <p>B: Es könnte vielleicht so eine Art von vielleicht- Ich glaube nicht ich glaube wir bezeichnen dass immer nur so als Zufall. (...) Es ist vielleicht einfach nur so vorherbestimmt in der Natur - einfach das manches passiert.</p> <p>I: Ok und warum bezeichnen wir das als Zufall?</p> <p>B: Weil wir darüber nicht so viel wissen. (...) Wahrscheinlich ist die Wissenschaft noch nicht so weit.</p> <p>I: Ok und wenn wir jetzt alles Wissen würden?</p> <p>B: Dann gibt es vielleicht keine Zufälle mehr</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (...) hm (...) ja (...) (lacht) ich weiß nicht. Eine Gesetzmäßigkeit sagt ja immer voraus was passiert und dann ist es nicht mehr zufällig deswegen - aber ja. Das ist eben wie ich gerade gesagt wahrscheinlich wird das einfach nur so genannt dass das Zufall ist. Das heißt wenn wir wirklich alles wissen würden dann gäbe es keinen Zusammenhang aber jetzt in unsere Situation wo wir noch nicht alles wissen dann gibt es so tut das ja miteinander in einer Wechselwirkung stehen oder so</p>
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (...) Ich glaube nicht.</p> <p>I: OK.</p> <p>B: Das ist so wie mit dem Material (zeigt auf Springblobb), dass das vorher vielleicht irgendwas darauf einwirkt dass das eine Zeitlang braucht.</p> <p>I: mhm</p> <p>B: und dann ist das halt vorbestimmt ist wann der zerfällt.</p>
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (...) Ich wüsste jetzt nicht welchen. Ich sehe da gerade keinen Zusammenhang.</p>
	<b>Gedankenexperiment</b>	<p>1 B: Ich glaube das wäre Zufall falls ich da drauf kommen würde. Weil ich ja nicht weiß wann der angefangen und garnicht weiß ob da drauf etwas wirkt oder welche Faktoren da halt.</p> <p>I: Du sagst du weißt nicht wann der angefangen hat. Angefangen hat mit was?</p> <p>B: Zu zerfallen</p> <p>I: Ok</p> <p>B: Und ich weiß halt nicht wie lange er braucht das heißt ich kann auch nicht.</p>

		<p><b>mehrere</b></p> <p>I: Und wenn du zwei Kerne in dem Käfig hast und du möchtest einen zerfallen sehen?</p> <p>B: Dann wäre die Wahrscheinlichkeit wahrscheinlich größer. weil (..) man hat trotzdem keine so</p> <p>I: kein Gefühl für die Zeit?</p> <p>B: Ja</p> <p>I: Mhm ok und wenn du 10 hast?</p> <p>B: (...) Dann ist es vielleicht ich weiß nicht ich glaube die Klasse ist nicht so groß. Dann könnte ich mich glaube ich irgendwo rein setzten und dann würde ich glaube ich einen trotzdem sehen wir er zerfällt.</p> <p>I:Ok und wenn du 10 000 hast?</p> <p>B: (..) dann ist es glaube ich egal.</p> <p>I: das heißt bei 10000 ist die Wahrscheinlichkeit dass du einen zerfallen siehst - dort ist sie sicher?</p> <p>B:Ja.</p> <p>I: Ja? In jeder Minute?</p> <p>B: Nicht unbedingt aber (..) (lacht) es kann ja sein dass die alle gleichschnell zerfallen. also weil wir sie gleichzeitig eingefangen haben. Dann sehe ich keinen. Aber</p>
--	--	---

Schülerin Ingrid		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Zufall ok- für mich ist dass wenn man etwas nicht vorhersehen kann also wenns einfach plötzlich sage ich jetzt mal eintritt und du halt eben auch keine Chance hast das Ende jeweils vorher vorhersagt einfach (..) verkehrt sage ich jetzt mal (lacht)
	<b>Würfeln</b>	B: (...) ja? (langgezogen) also es gibt zwar eine Wahrscheinlichkeit aber es ist trotzdem Zufall was jetzt da halt dann kommt. I: Aha ok.das heißt wenn ich da jetzt einmal würfel (würfelt) was ist zufällig? B: (...) Achso ja das würfeln an sich sag ich jetzt mal oder wie meinen Sie das jetzt? I: Das würfeln ansich ist zufällig - also was ist das zufällige, was kann ich nicht vorher - B: Ja eben auf welche Seite es halt fliegt so zu sagen. I: Und ab wann ist das zufällig- also schon da oder wenn es dann über den Tisch rollt oder wann ist das zufällig? B: So bald der Würfel die Hand verlässt (lacht) I: Ok ok so bald der Würfel die Hand verlässt dann rollt der da drüber und dann ist es zufällig. B: Ja I: Wie der dann da fällt? B: ha? I: Wie der dann - B: Genau
	<b>Springblobb</b>	B: Ja ich weiß nicht, also weniger hätt ich jetzt gesagt. Das kommt darauf an wie stark man das dann durch drückt und ich glaube wenn du das jetzt immer gleich stark machen würdest also wenn du dass jetzt immer gleich stark machen würdest dass das dann auch immer gleich lang braucht bis es hoch springt I: Ok B: Also eher weniger I: ok also eher weniger. Heißt du bist nicht ganz sicher oder B: Ja also es kann schon sein dass es weil des ja nicht immer direkt genau gleich einstellen kannst aber (..) I:mhm B:Ich glaube wenn das gehen würde wird dass immer gleich hoch springen I: Das heißt wnen ich immer das gleich Material habe und immer gleich stark durchdrücke, springts immer gleich hoch B: Ja
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Natur-wis-senschaft</b>	B:Ansich fällt mir jetzt nichts ein. Also ich denke also Naturwissenschaft das ist halt immer also so wissenschaft generell ist halt so was was halt auch beweisbar ist und so und wo dann eigentlich so Zufälle dann weniger passieren. Also dass sie vielleicht wenn man das Experiment das erste Mal durchführt dass dann irgendwas passiert mit dem man nicht gerechnet hat aber so wirklich zufällig..
	<b>Zufall und Gesetz</b>	B:Ich hätte das jetzt als das Gegenteil definiert. I:Ok B:Weil halt weil Gesetzmäßig das ist so sage ich jetzt halt mal und so trifft es dann halt ein und das ist vorhersehbar irgendwo und Zufall kann man halt nicht definierten. I: Ok B: Und das passiert einfach (lacht)
<b>Phase 3: Zufall in der Radio-</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	B: mhm I:Ist der zufällig? B:(...) Ähm ich hätte jetzt mal gesagt, dass er jetzt zerfällt ist nicht zufällig aber wann er jetzt zerfällt hätte ich jetzt als zufällig beschrieben. I:Mhm Ok. Ähm (...) Du (..) Ihr habts wahrscheinlich auch über Halbwertszeit gesprochen. B:Ja ist schon länger her aber ja I: Ja B: lacht

	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (...) Ich hätte jetzt - ja - weniger - ich hätte jetzt eher gedacht halt wenn die immer kleiner wird ja und dass halt immer zufälliger wird sag ich jetzt mal also halt je kleiner die Zeit ist desto zufälliger ist es dann es dann eintritt.</p> <p>I: Ok</p> <p>B: Oder so irgendwie</p> <p>I: ok. Je kleiner die Zeit</p> <p>B: Je höher halb- also zeit ist ja. Also auf 80 auf 40 auf 20 auf 10 und so weiter.</p> <p>I: Ok also was ist 80? (...) Also Einheit? (...) Sekunde oder Kerne oder?</p> <p>B: Achso ja sekunde habe ich vergessen</p> <p>I: Also es ist egal aber Zeiteinheit?</p> <p>B: Ja</p> <p>I: Da heißt da wird die Wahrscheinlichkeit dann kleiner? Für was?</p> <p>B: Ja die Zeit wird zwar kleiner aber die Wahrscheinlichkeit dass der Zufall sage ich jetzt mal eintritt wird dann größer.</p> <p>I: Ok und der zufall ist in dem Fall jetzt?</p> <p>B: Der Zerfall</p>
	<b>1</b>	<p>B: Also wie ich rein geh?</p> <p>I: Genau an we - wann du rein gehst.</p> <p>B: Als letztes</p> <p>I: Als letztes? Warum</p> <p>B: Also ersten weil ihn ja schon alle gesehen haben und weil ich dann mit dem größten wissen sage ich jetzt mal rein gehen kann und jetzt auch von der Zeit her dass es dann halt am längsten gedauert hat bis vielleicht was passiert ist. keine Ahnung.</p>
	<b>mehrere</b>	<p>B: Dann würde ich glaube ich in der Mitte rein</p> <p>I: in der Mitte? Ok. Warum? Also jetzt anders?</p> <p>B: Weiß ich auch nicht (lacht) Keine Ahnung. weil vielleicht dann einer schneller zerfällt als der andere und dass ich dann wenigstens einen mitbekomme. und als letztes sind vielleicht schon beide zerfallen</p> <p>I: aha ok. und wenn du 10 hast?</p> <p>B: Auch in der Mitte</p> <p>I: Ok und bei 10 000?</p> <p>B: Auch</p> <p>I: Auch in der mitte? Wie viele brauchst denn dass es sicher ist dass du einen zerfallen siehst? Egal wann du reingehst?</p> <p>B: (...)</p> <p>I: Gibts des überhaupt?</p> <p>B: Ich glaube sicher kann man das nicht sagen das ist Zufall.</p> <p>I: Also sicher kann man das nie sagen?</p> <p>B: ja kommt darauf an ob es da irgend so eine Formel oder sag ich jetzt mal gibt oder irgendwas dass es jetzt heißt dass nach so und so viel Sekunden oder Minuten zerfällt er dann vielleicht schon</p> <p>I: Ok</p> <p>B: Wenn ich jetzt keine Ahnung von dem habe, glaube ich, für mich jetzt weniger</p> <p>I: ok mhm ENDE</p>

Schülerin Julia		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	<p>B: hmm schwer zu sagen also - Zufall wenn halt irgendwas keinen bestimmten Grund hat dass das jetzt passiert sonder halt einfach aus keinen bestimmten Grund passiert. Wenns halt so etwas gibt.</p>
	<b>Würfeln</b>	<p>B: Ja. Würfeln ist zufällig (lacht) Ja ok, das wird bestimmt beeinflusst von der Art wie man das hält aber. So die Sache ansich ist ja zufällig, weil keiner geht ja hin und sagt (nimmt den würfel in die Hand) ja ich mach das jetzt so (lacht) ja ist schon zufällig. Dann wäre ja das auch wieder so was. (..) Ja es wäre jetzt nicht zwischenmenschlich aber jetzt auch nicht so naturwissenschaftlich.</p> <p>I: Ok. Ab wann ist das zufällig? (nimmt den würfel) Also ist das zufällig in meiner Hand oder wenn er (würfelt) am Tisch rollt oder wenn er auf einer Seite liegen bleibt. Also ab wann ist es zufällig? Ab wann ist es nicht mehr vorhersehbar?</p> <p>B: hmm Ich denke dass kommt darauf an also wenn. Also kommt ja erstmal darauf an obs schon in meiner Hand zufällig ist oder nicht ob ich den so bewusst irgendwie aufhebe so mit der intention ihn irgendwie dann hin zulegen oder ihn einfach irgendwie aufhebe und keine Ahnung habe wie es aussieht, dann ist es zwar nicht wirklich zufällig weil es war ja klar dass ich ihn dann so aufhebe aber ich hab das ja nicht so bewusst herbeigeführt. Wenn Sie verstehen was ich meine :)</p> <p>I: Mhm ok ja</p> <p>B: und dann beim beim würfeln ist es halt - ja es ist halt wieder so ein - jenachdem wie man das sieht - also es ist zwar nicht zufällig weil jenachdem wir man es wirft und irgendwelchen Winkeln und wie stark und so was (...) sagt das dann schon voraus Zahl da jetzt rauskommt aber (..) also so von der Aktion her ist es ja zufällig weil ich ja nicht also vielleicht hoffe ich darauf das irgendwas passiert aber ich kann das ja nicht irgendwie kontrollieren weil ich nicht weiß wies geht.</p> <p>I: mhm und wenn du wusstesch wie es geht?</p> <p>B: ja dann könnte ich ja immer das würfeln was ich eben gerade brauche, aber (..)</p> <p>I: Und wäre es dann zufällig?</p> <p>B: Ne dann wäre es nicht mehr zufällig.</p> <p>I: Ok das heißt würfeln ist zufällig weil wir es nicht besser können?</p> <p>B:(..) ja also so von der Aktion her - kann ich nicht so gut erklären was ich meine aber ja</p>
	<b>Springblobb</b>	<p>B:(lacht) das es hoch springt? Also wann es hoch springt oder dass es hochspringt?</p> <p>I: (zuckt die Schultern)</p> <p>B: Beides. Hm Ne ich glaube nicht dass das zufällig ist.</p> <p>I: Also was ist jetzt nicht zufällig? Wann oder das?</p> <p>B: Beides. Also weil es gibt ja auch schon so einen Grund weil das ist ja so ich kann das jetzt auch nicht erklären (schaut sich Springblobb genauer an) das ist ja so ähm also so von dem Material und so her ist ja so (Springblobb springt aus der Hand) ups. ist das ja nicht wirklich so verformbar und dann geht dass ja wieder in seine ursprüngliche Form zurück und das passiert ja nicht zufällig - das ist ja (...) also vorhersehbar dass das passiert und wann kann man sich auch ausrechnen und ja das (zuckt mit den Schultern) ja</p> <p>I: Ok und wenn ich jetzt zwei von denen habe und die ganz gleich aufspann und die haben das gleiche Material und sind ganz gleich, springen sie dann gleichzeitig hoch?</p> <p>B: (..) hm ja eigentlich nicht. Aber ich weiß nicht also. Ne tun sie wahrscheinlich nicht (I: holt zweiten Springblobb, spannt beide auf und legt sie auf den Tisch) (...) (einer springt hoch) (...) ähm also wenn dass das gleich Material und so ist. Also allgemein schaut dass schon so aus aber also - ich glaube immer noch nicht dass das zufällig ist weil (..) es passiert ja irgendwas das kann auch irgendeine Unstimmigkeit sein dass es irgendwie so Algorithmus nennt man das ähm und dass der halt nicht immer gleich schnell verlaufen muss halt je nachdem also</p> <p>I: mhm ok</p> <p>B: aber (zuckt mit den Schultern)</p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b></p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Naturwissenschaft</b></p>	<p>B: Also eher nicht weil des halt                      I: Eher? So das Hintertürchen noch offen lassen oder?                      B: Ja ich kann das ja nicht. (Springblobb springt hoch) ich habe mich damit auch nicht so genau befasst aber halt so allgemein. Ich könnte jetzt nicht sagen dass es das nicht geben kann, weil woher soll ich das wissen. Aber also so von dem also ich mein früher hat man oft gesagt ja das passiert zufällig aber dann kam aber irgendwie oftmals auch raus was für einen Grund dahinter es gibt und bestimmtes vorgehen Algorithmus und so. deswegen glaube ich dass es das für die anderen Dingen dann auch geben muss, weil das wäre ja komischen wenn es für manche Dingen einen Grund gibt und es wär auch komisch wenn es überhaupt keinen Grund gibt.                      I: Ok also ist Zufall etwas Natürliches? Was in der Natur vorkommt?                      B: (...) Ähm. (..) Ja (....) nee also (..) Also weiß ich ja jetzt wieder nicht ob ich das Naturwissenschaftlich oder zwischenmenschlich sehen soll.                      I: Mhm ok                      B: ne ich würde sagen Zufall ist eher was dass der Mensch so für sich kreiert hat um Dinge zu erklären die er nicht verstehen kann.</p>
	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b></p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Radioaktiver Zerfall</b></p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Halbwertszeit</b></p>		<p>B: HM schwer zu sagen wenn man es nicht kennt.                      I: ja                      B: ähm (....) Also passiert dass immer gleich schnell dass das zerfällt?                      I: ja das ist die Frage.                      B: Aso das weiß man nicht?                      I: (zuckt mit den Schultern)                      B: Aso. Naja (Nimmt die Springblobbs in die Hand) wenn man dass jetzt mit denen vergleicht dann wäre das also dann gäbe es einen Zusammenhang also dann ist die Halbwertszeit ja zufällig oder Zufall so man versteht sie nicht. Jetzt ist nur die Frage wenn sie jetzt gleichschnell also wenn jeder Atomkern jetzt gleichschnell vergleichen ähm zerfallen würde dann müsste könnte die Halbwertszeit ja nicht ja halt nicht zufällig sein.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Gedankenexperiment</b></p>		<p><b>1</b>                      B: Ähm (...) Ganz zum Schluss glaube ich                      I: Ok warum                      B: Um zusehen ob es endet und wie es endet und was da zurückbleibt und ich weiß nicht ich denken wenn man dann da sieht wie es endet dann hat man so ja klarheit darüber. Ich denke wenn man es so am Anfang sieht, sieht das so am spektakulärsten aus aber man weiß ja trotzdem nicht was danach passiert.</p>

	<b>mehrere</b>	<p>B: (.) und ich darf zweimal schauen? I: Nein nur einmal und du möchtest nur also du möchtest einen zerfallen sehen B: hmm nochmal das habe ich jetzt nicht verstanden I: mhm Also du hast einen Kern den siehst du irgendwann zerfallen und jetzt haben wir zwei Kern und jetzt von den zwei Kerne möchtest du einen zerfallen sehen B: und ich muss jetzt entscheiden welchen ich zerfallen sehen will? I: nein nein dass ist egal du musst nur entscheiden wann du reingehst dass du einen zerfallen siehst B: (..) ich verstehe die Frage irgendwie noch immer nicht also was jetzt der Unterschied ist zur vorherigen I: Das du zwei hast B: ja aber dann glaube ich erst recht am Ende oder vielleicht auch da eher in der Mitte weil wenn da aber ich weiß nicht. Also wenn der irgendwie oder wenn die so miteinander interagieren würden so irgendwie dann würden man dass wahrscheinlich so in der Mitte irgendwann sehen oder halt eben am Ende dann sieht man so was da jetzt halt so passiert ist. I: mhm ok. Bei 10 000 ? B: (zuckt mit den Schultern) ich weiß nicht irgendwo in der Mitte oder Ende.</p>
--	----------------	--

Schülerin Kathi		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: Zufall ist für mich etwas Unerwartetes. Ähm das ist einfach unabsichtlich passiert so zu sagen mit dem man nicht gerechnet hat und ja so in der Richtung
	<b>Würfeln</b>	<p>B:äh ja I:Ja? B: ja I:Was ist da zufällig? B:Äh ja die Seite die halt oben liegt- I:mhm ab wann ist es denn zufällig? Schon in der Hand oder wenn er über den Tisch rollt? Also wann B:Also ich würde sagen schon in der Hand weil da - also man tut ja so hin und her (schüttelt ihn in der Hand) und da ist ja da auch schon so - ist ja da auch schon so also dass es - ja klar man tuts da bisschen beeinflussen aber wens dann fällt - und man sieht ja auch nicht wie man es beeinflusst von dem her I: mhm und wenn man es halten würde? B: Ich glaube auch nicht dass das was verändert weil da sind ja alle Seiten gleich schwer die sind ja extra so konstruiert damit ähm die Wahrscheinlichkeit für jede Seite genau gleich groß ist.</p>
	<b>Springblöb</b>	<p>B:mhm (..) also ich denke der Moment in dem es springt ist zufällig aber der Vorgang an sich nicht I:ok das heißt der Vorgang ansich nicht aber warum ist dann der Moment zufällig? B: Weil die das ist ja so Gummigedöns und ich denke, dass das einfach unterschiedlich ist sich das bewegt und deshalb ist dann auch der Moment dann unterschiedlich wanns springt. I: mhm ok und wenn ich das heißt wenn ich zwei ganz gleiche habe und die gleich spanne und alles ganz gleich mache dann springen die Gleichzeitig? B: muss nicht sein I: ok B: weil es könnte ja sein dass trotzdem dann man eines ein bisschen weiter dann drückt oder so und irgendwie (...)</p>
<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissen-</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: (..) Ich denke schon, dass, also dass das zum Beispiel Physiker was anderes gesucht haben wie das das sie dann schließlich und endlich entdeckt haben und dass ist ja dann auch irgendwie Zufall. I: mhm ok ist Zufall etwas Natürliches? Also kommt das in der Natur vor? B: Ich denke schon I: ja? Wo? B: Ähm. Ja ich denke alles passiert aus - passiert ja irgendwie und wenn jetzt von einem Baum ein Blatt oder so fällt dann ist das ja nicht geplant oder so - das passiert halt einfach das ist dann halt dann zufällig. Jetzt fällt das Blatt - jetzt fällt am nächsten Baum das andere Blatt</p>

<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (...) Nein da gibt es doch diese Halbwertszeit oder?                      I: mhm                      B: das ist ja immer ein festgelegter Zeitraum eigentlich                      I: mhm das heißt weil der Zeitraum festgelegt ist und sozusagen ein Gesetz gibt kann es nicht zufällig sein?                      B: (...) Ich glaube es kommt darauf an inwiefern es schon erforscht wurde einfach weil ich denke als es entdeckt wurde auch dass sie darauf gewartet haben dass es zufällig auseinander fliegt und dazu konnte man diese Gesetzmäßigkeit entwickeln                      I: mhm ok das heißt man hat gesagt zufällig weil man es nicht besser gewusst hat?                      B: Ich denke am Anfang schon ja.                      I: Gilt das für andere Sachen auch dass man sagt dass es zufällig ist nur weil man nicht alles weiß?                      B: Doch das kann ich mir schon vorstellen (....)</p>
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: Ich weiß nicht die Halbwertszeit ist ja schon etwas festgelegtes so also dass es halt immer im gleichen Abstand passiert und ich weiß nicht so - wenn man halt so darüber nachdenkt dann scheint der Zufall eigentlich etwas komplett anderes zu sein aber trotzdem passiert die Halbwertszeit also klar man weiß es passiert da und da immer wieder aber es ist halt trotzdem irgendwie Zufall dass es genau da und da passiert</p>
	<b>Gedankenexperiment</b>	
	<b>1</b>	<p>B: ähm ich glaube das ist schwierig ich weiß nicht. ich glaube da gibt's also, wenn er wirklich so instabil ist glaube ich da gibts keine so richtige Zeit zu dem man sagen kann man weiß ja auch nicht wie lange der schon davor in dem Käfig war und so demnach ist das glaube ich schwierig also so eine wirklich die perfekte Zeit die - um da reinzugehen gibt es nicht.                      I: Aber eher vorher also eher früh oder spät oder mittendrin?                      B: ich werde eher mittendrin</p>
<b>mehrere</b>	<p>B: Dann ist glaube ich die Wahrscheinlichkeit höher dass man einen überhaupt siehst aber ich glaube trotzdem dass es keinen perfekten Zeitpunkt gibt um da reinzugehen weil ja mein weiß ja nicht wie lang die da schon drin sind und so und vor allem die Halbwertszeit das weiß man ja alles nicht und deswegen denke ich ist das schwierig das zu bestimmen.                      I: mhm ok und wenn ich 10 000 von den Kernen habe?                      B: Ja umso mehr es ist umso höher ist ja die Wahrscheinlichkeit und ich glaube, wenn es so ganz viele sind dann zerfällt so oft einer dass es irgendwann egal ist wann ich rein gehen. Weil so viele sind das ich gut, dass ich den einen gerade sehe ist die Frage aber ich war in dem Moment halt eben drin.                      I: und wie viele brauchen ich das ich sicher in jeder Minute einen sehe?                      B: keine Ahnung (lacht) ähm eine Million oder was.</p>	

Schüler Karl		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allgemein</b>	<p>B: (...) äähhh es gibt keinen Zufall. weil alles passiert halt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit und wenns eine Wahrscheinlichkeit gibt dann ist das kein Zufall denke ich.                      I: Ok was ist denn Wahrscheinlichkeit?                      B: ähhm (...) Die Anzahl ... naja die Wahrscheinlichkeit wie halt oder halt wie stakt es möglich ist das halt was passiert.                      I: Ok                      B: ja                      I: Und (...) wenn du jetzt (..) also wenn du jetzt die Wahrscheinlichkeit für etwas misst. Woher kommt die? Also wie errechnet sich die?                      B: Ja wenn man alles unwahrscheinliche weg macht dann hat man die Wahrscheinlichkeit</p>
	<b>Würfeln</b>	<p>B: nein ist wahrscheinlich 1 zu 6                      I: Ok das ist wahrscheinlich 1zu 6 das heißt du kannst mir sagen. wenn ich jetzt nur einmal würfeln (nimmt denn würfel in die Hand und schüttelt ihn) wo wird es hinfallen?                      B: Ja das hängt ja wieder davon ab wie stark und in welche Richtung oder meinen Sie welche Zahl?                      I: Welche Zahl?                      B: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 zu 6 oder ich kann auf jeden Fall sagen dass eine Zahl zwischen 1 und sechs kommt.                      I: Ja das ist klar aber du kannst mit nicht sagen welche da raus kommt                      B: ne                      I: Was bringt mir dann die Wahrscheinlichkeit?                      B: (.....) ähm ja man kann sich (.) ja halt alle möglichen Ereignisse da halt vorstellen und sich darauf einrichten und einstellen und (..) ja                      I: Ok ok aber es ist nicht zufällig                      B: ne                      I: es ist wahrscheinlich                      B: ja</p>
	<b>Springblobb</b>	<p>B: Ne, sie haben ja (macht Umstülpbewegung) die Aktion gemacht dass das sie das gespannt haben sag ich jetzt mal und dann ist die Reaktion dass das springt.                      I: Ok Wann?                      B: (...) ähm die Zeit. Wenn halt der Punkt gekommen ist wo es äh wieder in über die Mitte hinausgeht weiß nicht genau wann das ist                      I: ok wenn ich zwei habe die ganz gleich sind und die ganz gleich spann springen sie dann gleichzeitig?                      B: Ganz gleich kanns ja schon mal nicht sein zu 100% weil nichts ist ja ganz gleich                      I: Wenn ich immer den gleichen nimm                      B: (..) Achso ja wenn Sie es ganz genau schaffen, immer genau das selbe zu machen, dann schon                      I: schon?                      B: ja                      I: sicher                      B: (...) ja</p>

<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>B: (...) Ne                      I: Ne. Was gibt es in der Naturwissenschaft?                      B: (...) Natur. Keine Ahnung. Ähm (..) was was ich weiß nicht genau. Ich kann Ihnen jetzt ewig Bäume aufzählen ich weiß nicht genau was sie jetzt wollen                      I: Ja das war eine blöde Frage ich gebe es zu. Ahm wie beschreiben wie die Natur?                      B: (...) Hm jetzt so biologisch oder                      I: (zuckt mit den Schultern) einfach in den Naturwissenschaften wie                      B: Ja mit Bildern                      I: Mit Bildern ok und ist jetzt Zufall etwas Natürliches? Gibt es Zufall in der Natur?                      B: Ne                      I: Nein                      B: Es gibt ja immer einen Grund für irgendwas                      I: Ok jetzt hast du gesagt die sind ja nie immer 100% gleich (Springblobbs) warum nicht?                      B: Ja (..) Du meinst wenn man jetzt hier noch eins hätte (I: holt ein zweites) das kann nicht sein                      I: Warum nicht                      B: Ja wenn man jetzt aufs millionstel oder was so genau hinschaut hat der da bestimmt auch einen Kratzer und der andere nicht.                      I: Ok und warum?                      B: Weil im anderen kein Kratzer ist                      I: Und warum hat man den in den rein gemacht und nicht in den anderen?                      B: (...) Weil da - ich weiß auf was sie hinauswollen. (lacht) ähh weil davor halt eine Aktion gemacht wir und dann war die Reaktion dass halt da der Kratzer eben rein kam                      I: Und warum hat man sie gleiche Aktion nicht beim Anderen gemacht. Das wäre ja besser dann wären sie ja gleich                      B: Ich weiß was sie jetzt sagen wollen. Sie wollen dass ich sage dass es zufällig war - ähm weil er halt weils wahrscheinlicher ist dass es bei dem ist weil er bei dem näher dran stand.                      I: ok. Ich will garnichts hören es ich wills nur - ich frage mich nur Ok</p>
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B:(...) Ja ne wenn es keinen Zufall gibt dann gibt es da auch keinen Zusammenhang                      I:OK ja                      B:Oder doch wenn es Gesetz ist dann ist es schon mal kein Zufall mehr                      I:Ok also wenn es ein Gesetz gibt dann kanns nicht zufällig sein                      B:ja</p>
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktiver Zerfall</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>I:Gehen wir einmal ein bisschen in die Physik. Der radioaktive Zerfall von einem instabilen Atomkerns. Ist der zufällig?                      B: Ne</p>

	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (...) Ne immer noch nicht weil wens keinen Zufall gibt warum sollte es da einen Zusammenhang gibt.</p> <p>I: Also das heißt - du sagst- meinst du dass es Zufall prinzipiell nicht gibt - also garnicht</p> <p>B: ja</p> <p>I: ok. Also dann gibt es auch keinen Zusammenhang weil dann gibts ja des nicht</p> <p>B: ja eben</p> <p>I: ok gibt es einen Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Halbwertszeit?</p> <p>B: (...) Bestimmt irgendwie ja</p> <p>I: ok, aber warum</p> <p>B: Es gibt bestimmt irgendeine Wahrscheinlichkeit dass die Halbwertszeit bei dem Atom wenn das jetzt im Raum A und wenn eins im Raum B ist so ist.</p> <p>I: Das heißt innerhalb von den Kernen ist es. gibt es Wahrscheinlichkeiten für die Halbwertszeiten</p> <p>B: Ich weiß nicht. Ich kenne mich da jetzt nicht so gut aus.</p> <p>I: ok. Ist ja nur was du denkst. Mich interessiert ja nur was du denkst.</p> <p>B: Weil ich weiß ja nicht ob alle Kerne gleich sind auch ne dass gibt es ja nicht - also nicht</p> <p>I: ok das heißt die Halbwertszeit ändert sich für den Kern wenn sie unterschiedlich sind</p> <p>B: Ja die Halbwertszeit ist, es gibt doch da so eine Formel für die Halbwertszeit</p> <p>I: mhm</p> <p>B: Ich glaube die bleibt gleich, wenn dann spielen halt so andere Faktoren rein wos dann halt verändern, wie eben dass er Kern anders ist.</p> <p>I: Ok ok vom gleichen Material also wenn ich jetzt Radon habe zum Beispiel dann sind die Kerne vom Radon alle gleich?</p> <p>B: Irgendeiner ist bestimmt anders</p> <p>I: Ok aber die die alle gleich sind die zerfallen alle gleich?</p> <p>B: (...) Wenn sie zum exakten Zeitpunkt anfangen zu zerfallen dann ja</p> <p>I: ja?</p> <p>B: Ja</p> <p>I: Und der der nicht gleich ist der zerfällt anders</p> <p>B: ja schon</p> <p>I: wie</p> <p>B: ja keine Ahnung weiß ich nicht genau</p> <p>I: ja zu einem anderen zeitpunkt oder</p> <p>B: ich denke es mit</p> <p>I: das heißt die zerfallen alle gleichzeitig außer die paar die eben anders sind?</p> <p>B: (..) wenn sie alle gleichzeitig ja also wenn sie alle gleichzeitig zerfallen würden dann gäbe es ja irgendwann keine mehr</p> <p>I: mhm</p> <p>B: ja dann kann es eben nicht stimmen (...) ja dann zerfallen sie nicht gleichzeitig</p> <p>I: Ok warum?</p> <p>B: Weil eben wenn sie alle gleichzeitig zerfallen würden würde es irgendwann keine mehr geben und dass kann eigentlich nicht sein aber (.) ich weiß nicht ist schon komisch eigentlich (lacht) (...)</p>
<b>Gedankenexperiment</b>	<b>1</b>	<p>B: (...) Ganz am Anfang</p> <p>I: Ok warum?</p> <p>B: Weil irgendwann ist er ja irgendwann hat er ja noch seinen kompletten Zustand vorher und dann fängt er ja an zu zerfallen.- Stimmt's so?</p> <p>I: (zuckt die Schultern)</p> <p>B: Ich weiß nicht und dann sieht man ja am meisten den Übergang von normal zu zerfall und dannach ist es halt kontinuierlich bis es einfach immer gleich bleibt</p>

		<p><b>mehrere</b></p> <p>B: und sie sind verschiedenen - verschiedenen Zerfall oder I: (...) B:Das ändert ja nicht. Ich will nur einen Kern sehen? I: mhm B:Dann schau ich mir nur einen Kern an I:ok das heißt der zweite das macht keinen - also des B:ja wenn ich doch nur einen sehen will I:jaja aber wann gehst du dann rein? Bleibt dass dann gleich`wann du rein gehst? B:ja I:Ja und bei 10 000? B:Ja auch weil ich will ja nur einen anschauen da interessieren mich die anderen ja nicht I:ja aber es ist egal welchen du anschaust B:(..)ja trotzdem I: Ok B: (...)</p>
--	--	---

Schüler Lukas		
<b>Phase 1: Allgemeine Meinung</b>	<b>Zufall allge-</b>	B: (...) Zufall - oje- dass ist eine - eine Kette von Ereignissen, die halt - äh - eine geringe Wahrscheinlichkeit haben. Hätte ich jetzt gesagt - ja
	<b>Würfeln</b>	<p>B: Ich würde nicht sagen ne. I: Ok Warum? B: Außer man erwartet des ja eigentlich - dann würde ich das schon sagen. Also wenn man eine Erwartung hat und dann kommt das - so in die Richtung I: Ok also das heißt wenn du - wenn du sagst ich will jetzt eine sechs würfeln und du würfelst dann eine sechs B: dann ist es Zufall I: Dann ist es Zufall. ok und wenn du jetzt aber einfach nur würfelst und es kommt eine drei B: Dann ist es halt eine drei. I: Ok aber es beeinflusst dich nicht B:nein I:aber dass die drei da steht (...) Woher kommt das? B:(...) dass es ja eine 1/6 Wahrscheinlichkeit - ich weiß auch nicht genau. I: jaja B:ich weiß auch nicht was ich jetzt sagen soll I:Ok. Ich muss nur schnell den (würfel) wegtun, das war nämlich der gezinkte. (tauscht gezinkten Würfel mit anderen Würfel aus) B: Aso I: ok. Also ich würfel jetzt da und es kommt eine fünf. B: Ja I: Warum steht die Fünf da B: Na es könnte jetzt ja auch jede andere Zahl da stehen. Das ist jetzt halt - das ist halt eine 1/6 Wahrscheinlichkeit dass die Fünf kommt und wenn eine Sechs kommt - irgend-eine Zahl muss ja kommen so in die Richtung I: Ok und woher kommt denn die 1/6 Wahrscheinlichkeit? B: Ja es hat ja sechs Seiten der Würfel und wenn er ein guter Würfel ist dann soll ja überall die Wahrscheinlichkeit gleich groß sein. I: Ok ok und gibt es einen Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Zufall? B: Ja denke ich schon I: Ok. Wie schaut der aus? B: (lacht) (...) Aahh ich weiß nicht Zufall hat ja immer mit Wahrscheinlichkeit zutun. Das ist ja bei jedem Ereignis, dass eintritt was unerwartet ist immer beim Zufall - also unwahrscheinlich.</p>
	<b>Springlobb</b>	<p>B: Wann es hochspringt? Das ist ja von mechanischen (Springlobb springt hoch) Gesetzen auch abhängig. I:mhm B:Also nicht unbedingt man kann es berechnen würde ich sagen I:ok und Zufall kann man nicht berechnen? B:Also ich habe da selbe Theorie entwickelt. (lacht) Und zwar ist das ja so dass sich die Elektronen ich glaube wie Wellen verhalten außer man beobachten und dann suchen sie sich auch einen Punkt aus wo sie sind. Deswegen denke ich dass ziemlich viel dings also zufällig ist. Also es gibt ja auch die Theorie dass alles äh das alles Ursache - Wirkung vorherbe - also alles vorherbestimmt ist. Man kann - man hat auch selber keinen Einfluss auf alles was passiert aber das denke ich nicht, ich denke dass halt sie kleinsten Teilchen eben dass die sich eben zufällig sich eben einen Platz aussuchen und dass dadurch alles aufgebaut ist und deswegen gibt es schon Zufall ja.</p>

<b>Phase 2: Zufall in der Naturwissenschaft</b>	<b>Naturwissenschaft</b>	<p>I: Ok da hast du jetzt die nächste Frage schon ein bisschen vorweggenommen. Die Frage ob es Zufall in den Naturwissenschaften gibt?</p> <p>B:Ja (lacht)</p> <p>I:Ja und eben auch in der Physik. Das heißt Zufall ist schon etwas Natürliches?</p> <p>B:mhm (bejahend)</p>			
	<b>Zufall und Gesetz</b>	<p>B: (...) das verstehe ich nicht die Frage.</p> <p>I: Also gibt es einen Zusammenhang zwischen Zufall und Gesetz?</p> <p>B: (...) äh ne</p> <p>I: Kann man Zufall mit einem Gesetz beschreiben?</p> <p>B: Achso ähm boah mit fällt jetzt spontan nichts ein</p> <p>I: OK</p> <p>B: nein</p> <p>I: ok Aber es ist nicht komplett gegensätzlich? Zufall und Gesetz?</p> <p>B: Zufall und Gesetz? Ne</p>			
<b>Phase 3: Zufall in der Radioaktivität</b>	<b>Radioaktiver Zerfall</b>	<p>B: (...) der radioaktive</p> <p>I: Also ist da etwas zufälliges dabei?</p> <p>B: Da kenne ich mich garnicht gut aus</p> <p>I: Ok also du hast einen instabilen Kern und der zerfällt.</p> <p>B: (...) Ich kenne mich wirklich mit der Theorie nicht aus.</p> <p>I: Ok aber was glaubst du denn?</p> <p>B: hm achso hm (...) keine Ahnung ja</p> <p>I: Also die Idee ist du hast einen einzelnen Kern und irgendwann zerfällt der oder er zerfällt nicht.</p> <p>B: Achso. (...) Jetzt habe ich es verstanden. (...) Ja ich glaube schon dass das zufällig ist.</p> <p>I:Das es zerfällt oder wann?</p> <p>B:Wann er zerfällt. Also (...) Irgendwann wird es sicher mich Sicherheit zerfallen denke ich.</p>			
	<b>Halbwertszeit</b>	<p>B: (...) Also wenn man sagt dass die Kerne zufällig zerfallen dann auf jeden Fall ja.</p> <p>I: mhm ok Kannst du vielleicht einen herstellen - so spontan?</p> <p>B: Eben die, man sagt ja also die Kerne zerfallen ja von der Zeit her zufällig und deswegen bis die Hälfte der Kerne zerfallen das ist ja auch ein Zufall und da ist dann auch der Zusammenhang.</p>			
	<b>Gedankenexperiment</b>	<table border="1"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>1</b></td> <td> <p>B: ja</p> <p>I: Du kannst dir aussuchen wann du rein gehst. Wann würdest du denn gerne rein gehen um den zu zerfallen zu sehen?</p> <p>B: Das ist ja absoluter Zufall ob man den sieht da kann man jetzt ja keine bessere oder schlechtere Entscheidung treffen, deswegen kann man es auch nicht</p> <p>I: mhm also egal</p> <p>B: ja</p> </td> </tr> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>mehrere</b></td> <td> <p>B: (...) das ist, da würde ich auch sagen es ist egal (...) ich glaube schon das müsste ja egal sein</p> <p>I: ok</p> <p>B: ja</p> <p>I: und wenn du 10 000</p> <p>B: das müsste ja auch egal sein</p> <p>I: ok das ist ganz egal wann du rein gehst?</p> <p>B: ja</p> </td> </tr> </table>	<b>1</b>	<p>B: ja</p> <p>I: Du kannst dir aussuchen wann du rein gehst. Wann würdest du denn gerne rein gehen um den zu zerfallen zu sehen?</p> <p>B: Das ist ja absoluter Zufall ob man den sieht da kann man jetzt ja keine bessere oder schlechtere Entscheidung treffen, deswegen kann man es auch nicht</p> <p>I: mhm also egal</p> <p>B: ja</p>	<b>mehrere</b>
<b>1</b>	<p>B: ja</p> <p>I: Du kannst dir aussuchen wann du rein gehst. Wann würdest du denn gerne rein gehen um den zu zerfallen zu sehen?</p> <p>B: Das ist ja absoluter Zufall ob man den sieht da kann man jetzt ja keine bessere oder schlechtere Entscheidung treffen, deswegen kann man es auch nicht</p> <p>I: mhm also egal</p> <p>B: ja</p>				
<b>mehrere</b>	<p>B: (...) das ist, da würde ich auch sagen es ist egal (...) ich glaube schon das müsste ja egal sein</p> <p>I: ok</p> <p>B: ja</p> <p>I: und wenn du 10 000</p> <p>B: das müsste ja auch egal sein</p> <p>I: ok das ist ganz egal wann du rein gehst?</p> <p>B: ja</p>				

## 18.3 Fragebogen zu den Schülervorstellungsstudien 2&3

Erkennungscode:

Geschlecht: .....

Alter:.....

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Vielen Dank, dass du dich bereit erklärt hast an meiner Studie im Rahmen meiner Doktorarbeit teilzunehmen. Die Studie besteht aus drei Teilen, bitte lies dir die folgenden Anweisungen gut durch, damit du an allen drei Teilen teilnehmen kannst. Bitte lies und beantworte alle Fragen der Reihe nach und blättere nicht zurück.

Als erstes würde ich dich bitten den folgenden Fragebogen auszufüllen. Jedes Beispiel wird von mir einzeln erklärt. Bitte kreuze die Aussage an die für dich am ehesten zutrifft. Dabei gibt es keine richtige oder falsche Antwort. Mich interessiert deine Einschätzung der verschiedenen Situationen.

Nach dem Fragebogen bitte ich dich noch zwei Fragen so ausführlich wie möglich zu beantworten. Jede Frage hat eine eigene Seite, bitte lies die zweite Frage nicht bevor die erste Frage beantwortet ist und ändere deine Antwort nicht mehr nachdem du die zweite Frage gelesen hast.

Für den dritten Teil der Studie ist es wichtig, dass du dir den Erkennungscode am Anfang dieser Seite merkst. Denn während ihr Experimente im S’Cool LAB durchführt, werde ich verschiedene Schülerinnen und Schüler bitten mit mir an einem Interview teilzunehmen. Dabei werde ich die jeweiligen Schülerinnen und Schüler anhand ihres Erkennungscode aufrufen.

Die erhobenen Daten dienen ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken, werden anonymisiert und nicht öffentlich vorgeführt.

Vielen Dank,

Alexandra

**Wie gerne möchtest du an der Interviewstudie teilnehmen?**

Gar nicht

Sehr  
gerne

## Ein super kurzer Fragebogen zum Anfang

Es gibt keine einheitliche Definition von Zufall. Was heißt denn Zufall für dich?

Welche der folgenden Ereignisse sind zufällig für dich?

	Zufällig	Eher zufällig	Keine Ahnung	Eher nicht zufällig	Nicht zufällig
Die gewürfelte Zahl	<input type="checkbox"/>				
Die gewürfelte Zahl mit einem gezinkten Würfel	<input type="checkbox"/>				
Zwei aus einer Klasse haben am gleichen Tag Geburtstag	<input type="checkbox"/>				
Der Zeitpunkt wann der Springblobb hochspringt	<input type="checkbox"/>				
Die Sprunghöhe des Springblobbs	<input type="checkbox"/>				
Beim Kartenspiel „gute“ Karten bekommen	<input type="checkbox"/>				
Der Zeitpunkt des Zerfalls eines instabilen Atomkerns	<input type="checkbox"/>				

Welche der folgenden Ereignisse sind zufällig für dich?	Zufällig	Eher zufällig	Keine Ahnung	Eher nicht zufällig	Nicht zufällig
Den Zug gerade noch erwischen	<input type="checkbox"/>				
Die Gewinnzahlen beim Lotto	<input type="checkbox"/>				
Im Lotto gewinnen	<input type="checkbox"/>				
Der Aufenthaltsort der Elektronen im Atom	<input type="checkbox"/>				
Der Ort an dem die Regentropfen auf den Schirm auftreffen	<input type="checkbox"/>				
Mit dem Flugzeug abstürzen	<input type="checkbox"/>				
Von der Direktorin beim Rauchen erwischt werden	<input type="checkbox"/>				
Die Art der Wechselwirkung der Teilchen	<input type="checkbox"/>				
Das Geschlecht des Kindes	<input type="checkbox"/>				
Die Entstehung einer neuen (Pflanze-)Art	<input type="checkbox"/>				
Jemanden unerwartet auf der Straße treffen	<input type="checkbox"/>				
Die Entstehung der Erde	<input type="checkbox"/>				

**Frage 1:**

Beschreibe den radioaktiven Zerfall eines instabilen Atomkerns.

Frage 2:

a) Was ist die Halbwertszeit und wie kommt sie zustande?

b) Stell dir vor du hast 10 instabile Atomkerne (vom selben Element) in einem Käfig gefangen. Dein Ziel ist es einen Zerfall zu beobachten. Du kannst aber nur ein kurzes Zeitintervall auswählen in welchem du die Kerne beobachten möchtest. Bitte kreuze an, welche Aussage für dich zutrifft. Du kannst auch das Feld „Keines von den oben genannten Aussagen“ wählen, dann schreibe bitte eine Aussage, die für dich zutrifft in die Box darunter.

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| Meine bevorzugte Beobachtungszeit wäre...       |                          |
| ...eher früh                                    | <input type="checkbox"/> |
| ...eher mittig                                  | <input type="checkbox"/> |
| ...eher spät                                    | <input type="checkbox"/> |
| Es ist egal, wann ich beobachte                 | <input type="checkbox"/> |
| Keine von den oben genannten Aussagen, sondern: | <input type="checkbox"/> |

Begründung deine Wahl hier:

## 18.4 Transkripte zur Akzeptanzbefragung

### 18.4.1 Jugendlicher A

#### Akzeptanz 1

B: Also mit der Zeit jetzt?

I: Alles von vorne bis hinten

B: aso aha. Ja verständlich

I: Ok und du hast jetzt noch gesagt mit der Zeit jetzt? Warum streichst du das besonders raus

B: GUTE frage ähm (...) ich weiß nicht ich habe jetzt einfach so gedacht weil wir jetzt gerade vorhin das hatten vielleicht zu dem

#### Paraphrasierung 1

B: (...) Ähm zum Beispiel jetzt bei der Wahrscheinlichkeit pro Zeit untersucht man eine Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall. Zum Beispiel beim Springblobb wie oft oder ob er in einem Zeitintervall springt oder nicht und daraus kann man dann die Wahrscheinlichkeit für dieses Zeitintervall bestimmen. Ähm bei einer Wahrscheinlichkeitsverteilung sieht man die rel. Häufigkeit für ein Ereignis. Ähm. Joa in etwa so.

#### Aufgaben 1

##### 1 a)

B: Ähm. (...) man sieht hier garnicht ob der springblobb springt oder nicht. Also ist die rel Häufigkeit das er liegen bleibt oder das er springt.

I: ähm. das er liegen bleibt

B: ok das ist eher unwahrscheinlich ist weil wenn man vergleicht das die rel Häufigkeit das er liegen bleibt bei 1 bis 5 Sekunden quasi groß ist als mit 55 bis 60 sekunden also ich denke dass die Wahrscheinlichkeit zunimmt wenn man länger wartet dass er dann noch springt also das kann fast nicht sein. also das kann nicht sein.

I: Ok wir haben den Vergleich mit dem würfeln und dem Springblobb gemacht. Die Wahrscheinlichkeit pro Wurf ändert die sich pro Wurf? Ist beim zweiten mal werfen die Wahrscheinlichkeit anders als beim ersten Mal werfen?

B: nein

I: Wie glaubst du dann ist das mit der Wahrscheinlichkeit pro zeit?

B: (...) ich weiß nicht man hat so das gefühl als Mensch wenn man jetzt länger wartet wird es immer wahrscheinlicher dass es halt doch eintritt.

I: das problem mit der Zeit. Also pro Zeitintervall gibt es eine Wahrscheinlichkeit und diese Wahrscheinlichkeit ist in jedem dieser Zeitintervalle gleich. Also jedes dieser Intervalle hat die gleiche Wahrscheinlichkeit, dass das Ding springt oder nicht.

B: OK

(...)

B: Ähm Hier wahrscheinlich die größten Werte und dann umso größer die Zeitintervalle werden umso kleine relative Häufigkeit

I: mhm die Zeitintervalle sind aber alle gleich große

B: Aber hier wartet man ja zum beispiel 20 sekunden und bis 25 sekunden

I: oder nicht. Also das Zeitintervall ist 5 Sekunden also jeder Zeitintervall sind 5 Sekunden. (..) In jedem Zeitintervall hat diese Springblobb eine bestimmt Wahrscheinlichkeit zu springen oder nicht zu springen. Wenn er im ersten Zeitintervall nicht gesprungen ist, dann hat er im nächsten Zeitintervall wieder

## **Kapitel 18|Anhang**

die gleiche Springwahrscheinlichkeit. Er darf also im ersten Zeitintervall nicht gesprungen sein.  
(....)

B: dann müsst überall der gleiche Wert sein.

### **1 b)**

B: Das wäre 0.08

### **1 c)**

B: Ähm 9200 wären noch nicht gesprungen

I: Genau

## Akzeptanz 2

B: Gut

I: Ist es verständlich

B: Ja

I: ist irgendwas komisch?

B: Nein ich finde es gut

## Paraphrasierung 2

B: Also der Zerfall von Atomkern kann mit dem Springbloß verglichen werden. Bei einem Zerfall geht das Atom von einem instabilen zu einem stabilen Zustand über und dabei gibt es nur, passiert das nur einmal. Darum sollte man vielleicht das Zerfall den Namen ändern in Umformung weil das nur einmal passiert und bei einem Element da ist die Zerfallswahrscheinlichkeit gleich groß aber wenn man 2 verschiedene Elemente hat dann ist die Zerfallswahrscheinlichkeit anders also pro Element ist es anders und (..) die Zerfallswahrscheinlichkeit pro Atom ist zufällig aber man kann mit äh mit ganz vielen instabilen Atomkernen kann man dann die Zerfallswahrscheinlichkeit bestimmen

## Aufgaben 2

### 2 a)

B: Ähm 8000

I: Genau

### 2 b)

B: Kann ich das noch benutzen (Lineal)

I: Ja du kannst alles benutzen was da ist

B: (zeichnet)

I: Warum hast du jetzt mal 0.8 gerechnet?

B: Ein fünftel ist 0.2 und wenn die Zerfallswahrscheinlichkeit ein fünftel ist also 0.2 dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass es nicht zerfällt  $\frac{4}{5}$  also 0.8

I: Genau

(Taschenrechner)

I: Ok ich glaub dir das du das schaffts.

B: Ok

I: Wie würde das glaubst du weiter gehen also so tendentiell?

B: Es würde ausflachen und dann (...) würde es einen Grenzwert geben. Ähm der könnte vielleicht bei 2000 liegen

## Akzeptanz 3

B: Also jetzt zu den Springblobb ähm. eigentlich nicht so schlecht.

## Paraphrasierung 3

B: Die Halbwertszeit gibt an wann die Hälfte von einem Ding meistens Atome wann die Hälfte von einem instabilen zu einem stabilen Zustand gekommen ist

boah.. ääh Man kann die Halbwertszeit auch mit den Reißzwecken vergleichen die Reißzwecken die schon auf der flachen Seite gelandet sind lässt man liegen weil die schon von einem stabilen in einen instabilen Zustand gekommen sind. Alle anderen die noch instabil sind also auf der Seite nimmt man noch einmal und wirft und man zählt dann diese die noch nicht stabil sind oder die die stabil sind ähm man kann aber die Halbwertszeit aber auch mit den Springblobbs erklären.

## Aufgaben 3

### 3 a)

B: Ähm (rechnet) die halbwertszeit liegt zwischen 2 und 3 sekunden

I: Ok du hast jetzt einfach. Was hast du gemacht?

B: Äh ich hab zuerst die 10 000 genommen und dann die erste sekunde also mal 0.75 also der rest von einem viertel und dann habe ich die neue Anzahl die noch nicht stabil sind dann diese neue Anzahl wieder mal 0.75 dann habe ich die neue Anzahl und dann wieder diese neue Anzahl nochmal mal 0.75 und dann sehe ich das es schon unter 5000 ist

### 3 b)

B: Wie viel Atomkerne nach 3 Minuten noch da sind weil man kann jetzt zum Beispiel mit einer Zerfallswahrscheinlichkeit von einem drittel Wahrscheinlichkeit dann komm ich vielleicht schon auf die Halbwertszeit nach einer Minute aber man kann auch mit einer höheren Zerfallswahrscheinlichkeit rechnen so dass es immer noch bei einer Minute bleibt aber dann hab ich dann am Schluss bei 3 minuten weniger Atomkern die noch da sind. Oder nicht

I: Ok zeichene einmal den Graphen ein. Wie würdest du denn den Graphen zeichnen. Du hast am Anfang 10 000 und die Halbwertszeit ist eine Minute

B: (...) Also bedeutet die Zerfallswahrscheinlichkeit bei einer Minute dass es zwischen 0 minuten und 1 minuten ist oder genau bei einer Minute

I: Die halbwertszeit liegt bei einer Minute

B: Ok. (zeichnet mit Lineal)

I: Was machst du jetzt? Also du hast. Also nach 1 minute sagst du sind noch 5000 da ok und nach 2

B: Nach 2 minuten noch 2500 und nach 3 Minuten noch 1250

I: Genau

### 3 c)

B: Das ist die absolute Häufig aha ok  
I: die absolute Häufigkeit genau  
B: die absolute Häufigkeit ist wieviele Teilchen wir messen  
I: Genau  
B: (beschriftet achsen und zeichnet graphen)  
I: Ok du misst im zweiten Zeitintervall mehr?  
B: also hier sind es 50 alpha teilchen und dann sind es hier 75 nach 10 sekunden  
I: ok wenn du die messung neu startest nach 10 sekunden?  
B: Wie meinen Sie das?  
I: Also wenn du 10 sekunden misst und dann direkt danach wieder 10 Sekunden misst und die von den ersten 10 Sekunden nicht mitzählst  
B: dann wäre das 25?  
I: Ist das klar waurm?  
B: Weil man dann nur nur 50 Kerne hat die noch nicht zerfallen sind und die Halbwertszeit 10 Sekunden sind das heißt dann ist nach 10 sekunden wieder die hälfte zerfallen dann sind das 25.  
I: Genau und normalerweise gruppiert man das immer in den Intervallen. Also soviele habe ich von 0-10 gemessen und soviele habe ich von 10-20 gemessen und nicht  
B: Aha dann ist es umgekehrt.  
I: Genau. Und was wäre der Unterschied so qualitativ? Also du hast sie schon kurz angezeichnet, wie würde die Kurve ausschauen?  
B: Genau gleich wie vorhin

### 3 d)

B: Äh ist die Halbwertszeit nicht bekannt. Ok ähm. (...)  
I: Wann ist es denn am wahrscheinlichsten einen Zerfall zu sehen? Wann glaubst du denn am ehersten einen Zerfall zumind. einen?  
B: Gleich am Anfang.  
I: Ok Warum?  
B: Weil man da noch am meisten Atomkerne hat  
I: die noch zerfallen können  
B: die noch zerfallen können  
I: Ok logisch?  
B: Ja aber wenn man die Wahrscheinlichkeit äh die Halbwertszeit garnicht kennt (..) dann könnte die Halbwertszeit ja keine Ahnung 100 Jahre sein, ja ok ah ok  
I: dann würden aber trotzdem  
B: ja dann würden trotzdem mehr ja ok

#### 18.4.2 Jugendlicher B

### Akzeptanz 1

B: Nein hat Sinn gemacht, also wir - die meist - wir hatten alles schon im Mathematikunterricht und Stochastik. Deshalb eben das Beispiel mit eben der Wahrscheinlichkeit pro wurf das war das ist und allen eigentlich schon bekannt ähm Wahrscheinlichkeit pro Zeit haben wir und noch nie wirklich angeschaut. Ähm oder nicht dass ich es noch wüsste. (lacht) Aber ja doch ich fand es gut erklärt und ja.

### Paraphrasierung 1:

B: Also ähm ok. Ähm. Um zum Beispiel eine Reißzwecke oder so wenn man die wirft gibt es eine Reihe von Ereignisse, diese Ereignisse haben je eine gewissen Wahrscheinlichkeit. Diese Wahrscheinlichkeit kann man nicht direkt irgendwie ablesen oder so sondern darum geht es dann eben die Herauszufinden. Die kann man zum Beispiel von der großen Zahlen durch viele vieles Experimentieren kann man

## Kapitel 18|Anhang

sich diesen mehr und mehr genauer berechnen. (...) Hmm ja. Ja das ist eben - das war die Methode ich weiß leider nicht mehr wie die heißt. Methode pro Wurf oder für Wurf -- Wahrscheinlichkeit pro Wurf. Wahrscheinlichkeit pro Zeit, das habe ich eben noch nicht ganz verstanden aber zum Beispiel mit dem Springbloß misst man die Zeit wie lang benötigt er um zu springen dann nachher daher einen gewissen Mittelwert eben zu finden. ja (...)

Darf ich noch was fragen? Diese Wahrscheinlichkeit pro Zeit wie wird das angegeben ist dass dann pro Sekunde hat das eine Wahrscheinlichkeit von so und so viel, dass das zutrifft oder oder wird das ist das das ein effektiver Zeitwert. Sagen wir wir nehmen drei Sekunden. dann ist es einfach ein Mittelwert aus allen Spüngen?

I: Man gibt im Grunde eine Wahrscheinlichkeit- also das ist eben das gemein man sagt normalerweise beim Werfen von Würfeln das ist ein Drittel und bei der Zeit gibt man an es ist ein drittel pro sekunde zum Beispiel. Also das heißt ich kann sagen der Springbloß das wird jetzt nicht springt zu einem 1/3 pro Sekunde also in jeder Sekunde hat er ein 1/3 Wahrscheinlichkeit das er springt

B: Das wäre dann. Also übersetzt könnte man dann sagen jede Sekunde wird ein Würfel geworfen und wenn dann eben das ereignis zu trifft dann würde es stimmen.

I: Ja ok

B: Ah ok

I: Genau, das ist genau das gleich Konzept nur schwieriger deswegen nenn ich das das Probelem mit dem Zeit weil ,man eben diese Wiederholungen nicht diskret machen kann die passieren halt einfach

B: Okay

## Aufgaben 1

### 1 a)

B: Ok. Ähm also das. Es scheint, dass das irgendwie, diese relative Häufigkeit so um die so um die 0.08 so herum liegt. Also wie hast du denn also hast den immer ganz exakt gleich

I: hm

B: aber auch von Hand oder wie. Ich find es nur interessant, dass hier so eine Verschiedung ist in den ersten 15 sekunde. Ich nehme an das könnte sein, dass das eben viel durch äh ja durch minimale Änderung oder so dass das dann da eben die Auswirkung darauf hatte dass es in den ersten paar Sekunden eben direkt hochgegangen. Aber ja. Der ist 60 Sekunden liegen geblieben- Das habe ich mit meinen nie hingbracht.

I: Aso also du kennst die schon

B: Ja aber ja

### 1 b)

B: 0.08

I: Wie wäre is in 10 - 15

B: Das sagt daist es ein bisschen weniger als 0.1. Aber wie gesagt ich weiß nicht. Weil die häufigkeit pro Zeit muss ja auch ein fixer Wert also ich weiß nicht vielleicht würde ich da jetzt noch den durchschnitt oder so raufnehmen. Also so insgesamt so 0.08 .

### 1 c)

B: Oje Kopfrechnen

I: Du hast da einen Taschenrechner falls es hilft.

B: Also das soll, also das wären ja dann 800 (*andere Unterhaltung*) also eben das wären dann ähm 800 würden springen und dementsprechend werden dann 9200 nicht springen

I: Sehr gut alles perfekt verstanden.

## Akzeptanz 2

B: Ja doch finde ich gut also wir hatten das auch schon einmal im Physikunterricht und ja ich konnte einige Sachen auch noch verküpfen mit dem. Ja doch macht mich sehr Sinn in dem Gesetz der großen Zahlen eben. das man eben einen großen Haufen anschaut das nehm ich an das hat dann auch eben mit der Halbwertszeit - ja doch Halbwertszeit ich vergess da immer den Namen, in dem man sagt wie lange sind dann eben die Hälfte dieser Atome da zerfällt.

## Paraphrasierung 2

B: Ähm. Also das eben jedes Element eben zerfallskonstante oder Zerfallswahrscheinlichkeit und diese wird dann wenn man das eben zum Beispiel eben auch an großen oder mit vielen Atomen anschaut wird das dann sieht man das dann eben das man eben einen gewissen Teil im Verlauf der Zeit eben zu dieser Wahrscheinlichkeit eben zerfällt und ein einzelnes kann länger oder weniger lang dauern aber es ist halt immer noch im hintergrund diese Wahrscheinlichkeit und ähm ja ja

I: Kannst du nochmal erklären was der radioaktive Zerfall ist

B: Aso ja ähm Wo ein instabiler Atomkern in einen stabilen Zustand übergeht. Ähm ja wie beim Spring-  
blöb. Wie haben im Physikunterricht haben wir eigentlich auch ein großes Experiment gemacht oder ein aufwendiges. Ich weiß nicht mehr wie diese große Tabelle oder dieser graph heißt mit dem alpha und beta zerfall

I: Nuklidkarte?

B: ja genau. Wo wir gewürfelt haben und dann nachher von einem Nuklid bis zum nächsten über 5 verschiedene so hin und da wars dann wirklich so hin und so ja

I: Genau das wäre das wäre dann der schwierigere Fall dann denn da wirs nicht sofort stabil dann geht es zum nächsten Element über dann das nennt man dann Zerfallsketten

(....)

B: Aja genau

## Aufgaben

### 2 a)

B:Also das wären dann 2000 die umgewandelt sind 8000. ja 8000 Habe ich richtig gerechnet?

I: Ja

B: gut :)

### 2 b)

B: 10000 im ersten Zerfallen dann - stört das wenn ich den Taschenrechner nehme

I: nein den bräuchte ich wahrscheinlich auch

B: Aso. (lacht) Also (...) also beim nächsten wären dann noch 6400 dann wären wie ja da - ähm... 5120 und genau und das würd dann so eine exponential graph dann 4100 (....) oje ja jetzt habe ich den eintrag gelöscht.

## Akzeptanz 3

B: Fand ich gut doch ja. Ich fand es sehr einläuchtend

## Paraphrasierung 3

B: Also die Halbwertszeit beschreibe einfach den Zeitraum in dem die den Zeitpunkt der benötigt wird ähm dafür das all die, das die Hälfte der nuklide zerfallen also eben jetzt zum Beispiel mit den Springblobb dass eben von diesen 10000 nachher 5000 zerfallen nach 8. irgendwas sekunden

I: wie hängt das mit dem von vorher zusammen

B: Mit der Wahrscheinlichkeit für den Zerfall. eben dass es zu jeden Zeitschnitt jetzt eben für die Sekunde einen gewissen Satz von den von den Spruingblobb esben springt oder von den Nukliden eben zerfällt und ja. das es einfach darum geht wieviel benötigt die Wahrscheinlichkeit das die absolute oder nein doch die absolute - ich bin noch ein bisschen mit den Begriffen (...)

Ja ähm also einfach das die Hälfte der Nuklide zerfällt.

I: was war nochmal der Zerfall?

B: Zerfall. Wie wahrscheinlich es ist dass etwas zerfällt in einem oder jetzt wenn man es nochmal mit dem Reißzwecken mit der Wahrscheinlichkeit pro Wurf wie wahrscheinlich ist es also wenn ich zum Beispiel dass sie auf dem Kopf landet äh dass die auf der Spitzenseite landet oder auf der flachen seite oder eben zum Beispiel pro Zeit dass man eben soviele pro Zeit oder eben pro Sekunde wären zerfallen.

## Aufgaben 3

### 3 a)

B: äh ja das ist so eine sache äh- Ähm ich bin jetzt da beim überlegen ich könnte eine Funktion aufstellen und es so machen aber ich bin - also ich würde das glaube ich nicht hinbekommen. Darf ich jetzt einfach mit dem Taschenrechner.

Ich nehme jetzt einfach die 10 000 da nehme ich jetzt einfach ein  $\frac{1}{4}$  also mal 0,75 also  $\frac{3}{4}$  so viele bleiben ja noch übrig also mache ich das erstmal also das wäre der erste Zeitschritt und dann sage ich mal 0.75 und das wäre dann der zweite und jetzt noch ein 3tes mal. das wären jetzt ungefähr zwischen 2 und 3. mhm dann wäre das die halbwertszeit jetzt

### 3 b)

B: Ähm also ist im grunde genommen nicht also die Halbwertszeit ist die nicht auch eine angabe für ähm häufigkeit pro Zeit oder Wahrscheinlichkeit pro zeit das man eben sagt die also noch wahrscheinlichkeit ähm ok - nein ich sag nichts mehr

I: doch bitte

B: Gut also das ist das gleiche hier das Beispiel?

I: Ja genau da jetzt es nochmal (erklärt beispiel nochmal)

B: Ja ähm (...)doch das müsste glaub ich gehen also vom mathematischen her wenn ich zwei Punkte habe die gegeben sind jetzt hier nach einer Minute eben die 5000 habe ich 2 Punkte. Ich weiß eben nicht genau wie die exponential funktion aussehen würde. Mathematisch aber ja es wäre dann  $a$  oder  $rb$  hoch  $x$  oder  $e$  hoch  $t$  wo man dann anhand von diesen Punkten den parameter dann eben konkret herausfinden würde und dann könnte man eben für  $t$  3 minuten einsetzen. also so würde ich da machen

I: Mhm ok genau und so mit der Zeichnung wenn jetzt die HWZ eine minute beträgt und du hast noch 5000?

B: Ah wärens dann nach 2 Minuten. ah ja genau- das ist ein gutes Beispiel dann wärens nach 2 Minuten 2500 (rechnet) ja ok

I: Genau

B: Gut zu weit gedacht

### 3 c)

B: Mhm ok äh. Stimmt das den überein mit der Absoluten Häufigkeit wie viele alpha Teilchen gemessen werden? oder ist das die Frage

I: Also du kannst ja sagen die absolute Häufigkeit, hm ja es ist eine der Fragen. Wieviele alpha Teilchen messen wir denn?

B: Ich weiß nicht mehr so genau wie der Zerfall äh in den verschiedenen Teilchentypen funktioniert aber das man dann von der Anzahl der Teilchen rückschließen kann zu wieviele Nuklide zerfallen sind und daraus dann die absolute Häufigkeit ableiten kann. Jetzt äh Ich weiß es müssten also gehen es darum dass ich den Graph zeichne wieviele Alpha Teilchen man misst

I: Genau. (liest frage nochmal vor)

B: Aha

I: Und der Kern wandelt sich um in dem er ein alpha Teilchen aussendet

B: ja ja dann wäre es ebenfalls einfach so eine fallende Funktion oder nicht

I: Genau

B: OK. Ja also so irgendwie

I: Warum?

B: Weil ich zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr so viele Nuklide habe die zerfallen können und deshalb soviel neue Alpha Teilchen gemessen werden können

### 3 d)

B: Das ist die Frage die ich komplett falsch verstanden habe vorher. Ja nein ich würde da eher früh da ich auch bei einem eher kleinen Zeitraum einen eher drastischen Unterschied sehe und da weiter hinten sind vielleicht nur noch wenige - 10 Nuklide - ja jetzt in dem Beispiel eben wird vermutlich nicht passieren oder eventuell sind schon alle weg. Ja jetzt am Anfang sehe ich relativ schnell ähm ok ich habe nie so einen Zeitraum sind mit soviel Prozent schon verschwunden wenn ich schon noch wenig habe dann ist der Prozentsatz von denen ist die Veränderung dann logischerweise auch sehr klein.

I: Wo ist es denn Wahrscheinlicher?

B: wieder am Anfang

I: Was ist jetzt nochmal ein radioaktiver Zerfall

B: Wenn ein Teilchen ein instabiles Nuklid sich in ein stabiles umwandelt und dabei Teilchen also Strahlung abgibt.

I: Danke

#### 18.4.3 Jugendliche C

### Akzeptanz 1

B: Also ich finde es gut dass es ähm diese Beispiele drin hat damit man sich es auch veranschaulichen kann und trotzdem hat man die Theorie auch gerade dazu also das man zurückgreifen kann auf die Theorie und diese verknüpfen kann mit den Beispielen

I: Komisch? Unverständlich?

B: Also man muss es vielleicht zweimal durchlesen aber dann ist es eigentlich finde ich ist es sehr verständlich.

### Paraphrasierung 1

B: Mhm also die Zufälligkeit ähm man muss mehrere ähm Proben oder ja mehrere Durchführungen machen damit man eine Wahrscheinlichkeit ja eine Wahrscheinlichkeit aufstellen kann aber entweder pro Wurf also durch eine große Menge wiederholen oder auch durch ein Zeitintervall. und ja es gibt nur die Wahrscheinlichkeit an und es ist nicht dass jeder 3 dann also zum Beispiel bei denen da es ist

nicht dass jeder dritte an auf der flachen seite es ist nur eine Wahrscheinlichkeit

## Aufgaben 1

### 1 a)

B: (...)also das sind die Zeitintervall und das der Springblobb springt in den ersten 5 sekunden ist *sehr leise* über achtzig prozent (denkt nach) das ist irgendwie (denkt weiter nach) irgendwie ist das macht das nicht so sinn.

I: Warum macht es keinen Sinn

B: Erstmal weil sie die rel. Häufigkeit hat und dann wieder eins 0.1 (...) wäre das nicht 100 % das ergebnis garnicht möglich

I: Ja das stimmt aber 1 wäre 100%

B: Aha

I: also das sind 10 %

B: Aja ja (..) also sie hat die sie hat das springen lassen und dann immer die Zeit gestoppt. (...) Die meisten sind zwischen 10 bis 15 sekunden gesprungen (...)

I: dir kommt es komisch vor?

B: Ja

I: Ok warum

B: Also es ist ich kann nicht genau daraus lesen also ich weiß dass die Häufigkeit in den verschiedenen Intervallen. Also ich weiß das 0.08 also es . Also das

I: Wie ist das nochmal mit dem Springblobb und der Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall?

B: (...) Also man misst (...) man misst im Zeitintervall ob er gesprungen ist oder nicht. Also in welchem Zeitintervall er gesprungen ist oder nicht. Und dann wird das genau so gemacht und 0.08 Springblobbs sind zwischen 20 und 25 Sekunden gesprungen

I: Also die Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall könntest du die sagen?

B: Ja also 0.08 ist die Wahrscheinlichkeit dass er in diesem Zeitintervall springt

I: mhm und wie ist das denn mit der Wahrscheinlichkeit pro Wurf verändert sich die?

B: Also wenn man einfach einen Springblobb kann man ja nicht sagen also doch man weiß dass zwischen 1 und 5 sekunden ist er über 0.08 also ist die Wahrscheinlichkeit 0.08 das er springt in diesem Zeitintervall ist die Wahrscheinlichkeit das er zwischen 10 bis 14 fast 0.1 prozent

I: es kommt die komisch vor oder?

B: es hat fast viele Zeitintervalle man misst eher wie zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit das er in dieser Zeit spingt ist und dann der Vergleich was er also das er nicht springt.

I: Ok

B: (lacht unsicher)

I: Du sagt die Wahrscheinlichkeit das er springt is zu niedrig oder?

B: mhm

I: Wenn du nochmal die einzelenen Zeitintervalle durchgehst wie ist denn das mit der Wahrscheinlichkeit pro..

B: Also zwischen 10 und 15 sekunden ist die Wahrscheinlichkeit am höchsten

I: das sagt dieser graph?

B: Ich habe nicht das gefühl dass er erst nach 55 sekunden springt dann würde ich eher kleinere Intervall nehmen und nur bis 20 sekunden

I: mhm. Wie ist denn das Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall? (...) Wenn man gleich große Zeitintervall hat ändert sich die? (...) Wie ist denn das mit der Wahrscheinlichkeit pro wurf? (..) Also die wirfst den einmal und du hast eine Wahrscheinlichkeit?

B: ein sechstel

I: Und wie ist das beim nächsten Wurf?

B: Dann ist es wieder ein sechstel

I: Genau und ähnlich ist es ja auch bei der Wahrscheinlichkeit pro Zeit.

B: Ah das es nicht abhängig ist von den vorherigen Ergebnissen

I: Genau also wie müsst denn das eigentlich aussehen

B: Also es müsste eine höhere Häufigkeit sein

I: Mmhm ok

B: aha und vielleicht wenn du

I: Die Wahrscheinlichkeit pro Wurf verhält sich gleich wie die Wahrscheinlichkeit pro Zeit sind nur unterschiedliche Intervalle, der Wurf wäre ein diskretes Intervall, da müssen wir uns ein diskretes Intervall machen. Die Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall ist immer gleich

B: Aso es müsste alle 5 Sekunden die gleiche Wahrscheinlichkeit haben

I: Ist das logisch?

B: Jaaa

I: Wirklich

B: Ja,

I: Weil das ist im Grunde nur die Wiederholung weil die Zeit gibt dir nur die Wiederholung des Experiments an.

B: Ja (lacht)

**b)**

**1 c)**

B: noch nicht gesprungen.

I: mhm

B: ähm

I: du darfst den Taschenrechner verwenden wenn du

B: 9200

I: 9200 ja genau

B: Stimmt das (lacht)

I: ja genau

## Akzeptanz 2

B: Es macht Sinn wenn man es mit den Springblobbs vergleichen kann. Es ist so also so ist das so unvorstellbar weil es nicht etwas ist was man sehen kann. Deshalb ja , des hilft ja

## Paraphrasierung 2

B: Mhm also es ist nicht also zerfall ist wie das falsche Wort es ist nur eine Umwandlung von einem instabilen Atom zu einem stabilen Atom und also man weiß das es sich umwandelt wird aber man weiß nicht wann und das es in jedem Zeitintervall die gleiche Wahrscheinlichkeit ist und ja also dass es für ein Element ist es immer die gleiche Wahrscheinlichkeit also ähm verschiedene Atome haben unterschiedliche also Zerfallswahrscheinlichkeiten. Ja

I: mhm Ok.

## Aufgaben 2

### 2 a)

B: ähm 80 (...) also moment.

I: Kannst du sagen wie du es rechnet?

B: also ein Fünftel das wären 20/100 ah das sind 10 000 also 20 also 20% würden dann sich in stabile Elemente umwandeln und es ist noch 80 % übrig 8000

### 2 b)

B: (zeichnet Intervall ein) das wäre nach dem ersten Intervall noch 8000 und dann beim zweiten also die Zerfallswahrscheinlichkeit ist ja in jedem Intervall gleich also wenn es unabhängig dann wären es auch wieder 80%

I: Viele können den noch zerfallen

B: von diesen 8000

I: Am Anfng hast du 10000 dan sind

B: 2000

I: 20% zerfallen

B: Und jetzt macht man von diesen weiter und von diesen können dann auch wieder 20% zerfallen

I: Genau

B: Also dann wäre das (...) sind das dann wieder die 100%? JA (...) 100% und jetzt wollen wir nur mehr 80% haben (dreisatz rechnen) das wäre dann 100% wir wollen aber nur mehr 80 % ok dann sind es noch 600

I: jetzt hast du eine null vergessen du hast hier beim rechnen eine null vergessen

B: also 6400

I: Genau und weiter?

B: dann müsste man diese Zahl wieder durch 100 mal 80 und immer wieter

I; Genau kannst du so ungefähr einzeichnen wie das dann aussieht

B: Also ich habe nicht das gefühl dass es so runtergeht es würde dann eher so abflachen

I: Genau das würde man eine exponentielle Zerfallskurve nennen. Alles ok?

B: Ja

## Akzeptanz 3

B: Also mit diesem Diagramm. Also macht das sinn. (...) Also wenn man es so aufzeichnen kann dann ist es relativ einfach die Halbwertszeit herauszufinden aber es ist wahrscheinlich schwieriger die daten zu sammeln um dieses Diagramm zeichnen zu können.

I: Aber wenn du jetzt wissen würdest wie die Sprungwahrscheinlichkeit pro Zeit wäre?

B: also 8%

I: Wie könntest du denn die Sprungwahrscheinlichkeit hier rauslesen.

B: Also einfach wenn 50% des anfangsbestands gesprungen ist

I: das wär die Halbwertszeit?

B: ja

I: und die Sprungwahrscheinlichkeit? Wo sieht man denn die?

B: also die differenz zwischen dem Anfangsbestand und des nächsten Bestandes.

I: Genau

## Paraphrasierung 3

B: Also die Halbwertszeit zeigt also beschreibt wann ein (...) Atom oder so also die hälfte des Anfangsbestand zu stabilen Atomen geworden ist. Also wenn die hälfte des Anfangsbestandes der instabilen Atomen zu einem stabilen Atom gekommen ist und es ist die Zeit in der das passiert.

I: Wie viele Atomkerne brauchst denn glaubst dafür?

B: Atomkerne?

I: instabile Atomkerne

B: Ja 10000 (lacht)

I: (lacht) also was hat das mit dem von vorhin zu tun?

B: also da brauch ich eine Hohe Anzahl damit man das herausfinden kann

I: Warum?

B: Weil das sonst ungenau wird. Weil das ist jetzt eine Absolute Häufigkeit aber nur wenn man es in eine rel. Häufigkeit umwandeln möchte brauch man eine große Anzahl

I: Anzahl von was?

B: Anzahl von den Atomen, von instabilen Atomen

## Aufgaben 3

### 3 a)

B: Eine Zerfallswahrscheinlichkeit (liest noch einmal) Also wir haben das ist der Anfangsbestand und das Zeitintervall. müsste man da nicht noch eine Wahrscheinlichkeit haben? Ah das ist ja das ah in einer Sekunde wird ein  $1/4$  zu stabilen Atomkernen. Ok wir ziehen

I: du kannst auch etwas hinschreiben oder zeichene du musst nicht alles im kopf machen

B: 10000 ist der anfangsbestand nach einer Sekunde sind es dann nur noch 75 000

I: jetzt hast du einen null zuviel

B: 7500 und dann müsst man von hier wieder 75%

I: MhM

B: und dann wieder das nächste. Aber geht das auch irgendwie schneller?

I: Mach mal das nächste

B: ähm (rechnet) das ist schon nahe aber nicht ganz also denk ich zwischen also zwischen 2 und 3 sekunden wäre die Halbwertszeit

I: Genau

### 3 b)

B: Also bis 3 Minuten (zeichnet Intervalle) also bei eins 50... dann wäre also nach 2 Minuten wieder die Hälfte

## Kapitel 18|Anhang

I: mhm

B: nach 3 minuten wieder so

I: genau. Also wie viele wären noch

B: das wären 1250

I: Genau. Perfekt

### 3 c)

B: Also ein alpha teilchen für ein instabiles Atom?

I: Genau

(...)

B: Also dann wär das eins zu eins für 100 stabile Kerne sinds 100 alpha Teilchen

I: ja jeder instabile Atomkern sendet ein alpha Teilchen aus um stabil zu werdne

B: ok. eine Halbwertszeit von 10 sekunden. (...) Also nach dann sind es 10 sekunde sind (murmelt vor sich hin) also was für ein Zeitintervall. Also einfach das nach 10 sekunden nur noch 50 ausgesendet werden

I: Genau wie wäre das dann nach 20 Sekunden

B: Nach 20 Sekunden wären es dann wieder die Hälfte dann wären es dann 25

I: genau. Was ist dann der Unterschied zwischn dem Graphen und wenn du instabile Atomkerne zählen würdest?

B: Ah dann wären, also das wären ja dann die Alpha teilchen und die werden weniger hm. Aber es ist die asolute Häufigkeit also ich weiß jetzt nicht

I: kein problem. aber schaut die kurve anders aus?

B: also sie wäre auch exponentiell. Also wäre das die gleiche

I: genau.

### 3 d)

B: also man (räuspert sich) eigentlich braucht es ja nur am Anfang also am Anfang einen Intervall um zusehen wie viele also wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist das er stabil ist und damit könnte man dann auch ausrechnen wann die Halbwertszeit ist?

I: Genau. Wann würdest du dann reingehen Du möchtest zur der Zeit reingehen zur der es am Wahrscheinlichsten ist dass du zumindest einen siehst

B: Am anfang

I: Warum

B: Weil man dann sicher einen sehen würde und anhand von dem anfang könnte man dann weiter rechnen

I : Ok gut. Wie findest du das? Also das ganze? Ist da s verständlich oder problematisch?

B: Also es wird schon langsam also es ist schon komplex weil man eigentlich das vorher alles schon wissen muss aber ja vieles aber eigentlich interessant wenn man dann alles zusammen bringen kann. aber ja man muss viel wissen dazu.

I: Ist jetzt der radioaktive Zerfall verständlicher für dich

B: also was ich jetzt weiß ist dass es nicht eigentlich ein zerfall ist, das erklärt schon vieles. Aber ja das man daraus schon viel ableiten kann wenn man das ein bisschen versteht.

I: Ist für sich logisch der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeitsrechnung und radioaktiven Zerfall

B: ja weil es nicht anders zur gleichen zeit weil man ja weiß dass es irgendwann zu einem stabilen Atom wird aber man kann ja nicht sagen genau zu dieser Zeit

I:DANKE

## 18.4.4 Jugendlicher D

**Akzeptanz 1**

B: Also ich hab's eigentlich schon so relativ gut verstanden, also ich denke auch man kann so eine Analogie zu dem Versuch mit den Halbkugeln setzen. wenn ich halt versuche die Sprungwahrscheinlichkeit pro Zeitintervall jetzt aufzeichnen würde ich würde schon halt also halt ähnlich wie bei den Halbkugeln hat man halt die X-Achse und die y-Achse und nun wäre halt auf die x-Achse halt die Zeit und bei den Halbkugeln hatte man halt die Anzahl der korrekten Ergebnisse und halt auf der Y-Achse ah nein ich merke gerade ja man kann sogar auch so machen und auf der y-Achse halt die Wahrscheinlichkeit.

I: Ok Jetzt hast schon ein bisschen damit angefangen zusammen zufassen des ist eigentlich meine nächst Frage.

**Paraphrasierung 1**

B: Also halt also jetzt die Wahrscheinlichkeit pro Zeit. Ich bin ein bisschen nervös wegen der Kamera (reden über Kamera)

Ja bei dieser Wahrscheinlichkeit pro Zeit würde ich das halt eben so sehen also diese verschiedenen Zeitintervall sind halt auch so also sind verschiedene Ereignisse wie bei den Halbkugel hat man halt gehabt kommt es so auf oder so auf und bei den Springblobb wäre es entsprechend auch der Zeitpunkt wann dieser Springblobb halt hochspring und halt um die Wahrscheinlichkeit wann es springt herauszufinden wann es springt kann man halt analog zu den Halbkugeln vorgehen man kann oft wiederholen und dann kann man halt die Zeit stoppen wie lange es braucht bis ähm bis halt dieser Springblobb hochspringt und dann kann man halt die Ergebnisse auch in so einem Diagramm festhalten.

I: Ok. Noch einmal zufällig ist eigentlich das er oder das er eben nicht springt in der Zeit also im Grunde die Wahrscheinlichkeit die Zeit wäre die Wiederholung. Also das Zeitintervall wäre das Werfen. Also einmal hat man die Wahrscheinlichkeit pro wurf und einmal die Wahrscheinlichkeit pro Zeit. Also die Wahrscheinlichkeit ist pro Zeitintervall immer gleich aber zufällig ist das werfen also das es einmal auf der flachen Seite landet wäre jetzt das es nicht springt. OK?

B: mhm stimmt stimmt das heißt man könnte das eigentlich auch ich hab's zumindest aus der Schule gelernt kann man das nicht irgendwie auch wie so eine Bernouli gleichsetzten weil da gibt es ja auch nur 2 Ereignisse also 2 mögliche Ergebnisse. Also entweder springt es halt zu dem Zeitpunkt oder nicht

I: Ja genau

**Aufgaben 1****1 a)**

B: hm... halt was man Alexandra raten sollte das hängt ja auch ein bisschen davon ab was Alexandras Intension ist.

I: ok Ja

B: Also ich könnte die b) jetzt sehr gut beantworten, also wie wahrscheinlich es ist dass der Springblobb im Intervall 20 bis 25 spingt das kann man ja einfach aus dem Diagramm ablesen.

**1 b)**

B: Also in diesem Fall wären es halt 2 % oder eben 98% das es eben nicht spingt in diesem Intervall

I: Genau. Jetzt hast du den graphen eigentlich schon angefangen zu interpretieren. Weil du sagst hier sind die Zeitintervalle auf getragen hier ist die rel. Häufigkeit aufgetragen. Was würdest du denn jetzt sagen in den Unterschiedlichen Zeitintervallen.

**1 a)**

B: Man sieht da halt das dieser Balken bei 10 -15 Sekunden der liegt halt am Höchsten es gibt keinen

## Kapitel 18|Anhang

anderen Wert der größer ist als das

I: ergibt das Sinn?

B: Also ich würde das jetzt so interpretieren das hat die Ergebnisse von den Eigenschaften von diesem Springblobb also was ich mir jetzt gut vorstellen könnte das in diesem Fall die Alexandra sagt ja ich möchte das diese Springblobbs zu dem Intervall sehr wahrscheinlich eben hochspringen oder halt nicht und dann könnte man halt versuchen die Eigenschaften von dem Spruingblobb so zuverändern dass die Sprungwahrscheinlichkeit zu einem bestimmten gewollten Intervall halt höher ist als hier.

I: Ok

### 1 c)

B: hmmm Sprungwahrscheinlichkeit  $8/100$  pro Zeitintervall ist jetzt für die Aufgabe wichtig welches Zeitintervall das ist oder sagen wie einfach jetzt haben wir irgendein Zeitintervall genommen ist jetzt egal welches. UND da hat man die Wahrscheinlichkeit fürs springen dazu  $8\%$  ist. Wieviel Springblobb sind nach dem Zeitintervall. Hmm

Das heißt man kann das eigentlich auch aus dem Diagramm ablesen oder? oder ich weiß nicht ob ich die Aufgabe falsch verstanden habe. Ich versteh halt nicht welche Wahrscheinlichkeit ich jetzt eingeben soll weil zum einen habe ich diese Werte gegeben

I: Ja vergiss die mal

B: Es verwirrt mich halt auch ein bisschen dass hier steht Zeitintervall von 1 bis 5 soll ich dass jetzt so verstehen das in dem Zeitintervall ist die Springwahrscheinlichkeit  $8\%$ ?

I: Genau

B: Achs. Ähm. Das wären dann 9200

I: Also die Frage war jetzt ein bisschen verwirrend. Weil da, ich habe vorher kurz erklärt dass die Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall sollte ja eigentlich immer gleich sein. Was man da vielleicht schon sieht, ist dass die Wahrscheinlichkeit wenn ich vielleicht noch öfter Springblobbs springen lassen würde sich vielleicht irgendwo einpendelt bei  $8\%$  und daher kommen diese  $8\%$

B: Aso kann man das also so verstehen dass hier dieser Versuch nicht ausführlich genug durchgeführt wurde. Achso das heißt wenn ich jetzt auf die Aufgabe 1 a zurück geh kann ich Alexandra nur raten dass die diesen Versuch noch öfter durchführt

I: Also wenn man hier wieder werfen würde würde hier die Wahrscheinlichkeit für den ersten Wurf, die WK für den 2 Wurf ... und da ist es eigentlich relativ einleuchtend dass es für jeden Wurf die Wahrscheinlichkeit immer gleich sein muss und das wäre jetzt bei den Zeitintervallen genauso

B: OK

## Akzeptanz 2

B: Also ich finde auch man hat diese Überleitung ziemlich gut hinbekommen also für mich war's einfach relativ gut verständlich halt diese Analogien da herauszufinden ja

## Paraphrasierung 2

B: Hm ok. Also so wie ich es verstanden habe. Also man hat ein Atom das zerfällt und man kann halt weil es ist eigentlich ein Mikroskopische Vorgang den deshalb kann man halt diesen Vergleich mit den Springblobbs ähm also herstellen und wie das wie die Tatsache das der Zeitpunkt des sagen mal Zerfalls von den Springblobbs zufällig ist, ist es halt genauso bei Atomen. Also instabile Atome zerfallen halt und sondern ähm verschiedene Abfallprodukte sag ich mal aus und dann gehen sie in einen stabilen Zustand über und dann nicht mehr weiter. Ich weiß nicht ob ich was vergessen hab aber.

## Aufgaben 2

### 2 a)

B: Ich würde sagen 8000

I: Wie hast du es berechnet

B: Also halt ein Fünftel pro Zeitintervall also geh ich halt davon aus das nach 5 dieser Zeitintervalle, weil das summiert sich ja also halt die Wahrscheinlichkeit ein es geht nicht größer also eins und die Frage ist wie viele Atomkerne sind noch nicht zerfallen nach dem ersten Intervall das heißt in diesem Intervall gehe ich davon aus das ein Fünftel aller Atome zerfallen sind. Das heißt 4/5 sind noch nicht zerfallen. von 10 000 80% sind dann halt 8000

### 2 b)

B: (zeichnet) Ist das der beginn oder das Ende des Zeitintervalls?

I:so genau muss das nicht sein. Was machst du jetzt?

B: Also was ich aus der Aufgabe entnehme also wie viele Atomkerne sind noch da also zum Zeitpunkt null also bei  $t = 0$  habe ich dann 10 000 also noch alle Atome und da steht ja auch Aufenthaltswahrscheinlichkeit von  $1/5$  pro Zeitintervall das heißt ich geh davon aus das wenn ich ein Zeitintervall quasi nach rechts geh dann zerfällt auch  $1/5$  von dem Anfänglichen 10 000 Atomkernen. Also ich habe das auch jetzt so verstanden, dass jetzt die Menge der zerfallenen Teilchen nicht von dem Bestand davor abhängt also nur von  $t$  - also ich habe das jetzt ein bisschen schlecht erklärt also das quasi der zerfall pro Intervall bleibt immer gleich also das hängt nicht davon ab also es hängt zum Beispiel die Anzahl der zerfallenen Atome hängt zum Beispiel im Zeitintervall 3 wie viele instabile Atome noch im Zeitintervall 2 existieren

I: Warum?

B: Ich würde einfach sagen, dass das von der Aufgabe hier so vorgegeben ist

I: Es steht hier die Zerfallswahrscheinlichkeit ist  $1/5$  pro Zeitintervall. das heißt die 10000 das hast du richtig berechnet und....

B: Asoo JAAA verdamt also doch ok gut dann habe ich jetzt

I: Ok gut ist es klar

B: Ja gut ich habe es verstanden. Es hängt also doch vom Bestand ab

I: Ja warum?

B: Weil halt einfach aus einer gewissen Menge von instabilen Atomen der Bruchteil der zerfallenen Atome davon immer gleich ist. das heißt das wäre dann doch eine hyperbel dann. na gut das heißt da hab ich 6400 und dann  $0.8$  zum quadrat ...

I: Genau ist schon ok.

B: Ja das geht dann so weiter

## Akzeptanz 3

B: HM ja ich hab's eigentlich aus wieder relativ gut nachvollziehen können. Also ich denke es kommt halt auch ein bisschen davon, dass ich das schon öfter in der Schule gemacht habe deswegen fällt mir das auch leichter die Verbindung herzustellen

## Paraphrasierung 3

B: hm Also die Halbwertszeit beschreibt halt einfach nur die Zeit bei dem ein Anfangsbestand von instabilen Atome das sich dieser dann halbiert hat. Also kann in ein Koordinatensystem einzeichnen und man hat halt die Menge der nicht instabilen Atome und dann halt noch dann halt über der Zeit sieht halt wie eine exponentiell Funktion aus die halt gegen null strebt und dann muss man halt daraus ablesen zu welchem Zeitpunkt ist noch die Hälfte der anfänglichen instabilen Atome veranden äh zerfallen und genau.

I: Sind die Atome dann weg?

B: die sind stabil also die sind nicht weg, sondern in einen stabilen Zustand übergegangen.

I: Genau und wie hängt das mit dem Gesetz der großen Zahlen zusammen?

B: Man muss halt auf dieses das Gesetz der großen Zahlen zugreifen weil ähm wenn man zum Beispiel mit also man kann's ja auch analog mit Springblobb mal realisieren und dann zum Beispiel nur einen Springblobb nimmt dann ist der halt einfach nach einem bestimmten Zeitpunkt in einen stabilen Zustand übergegangen und das würde dann einen relativ ungenauen Ergebnis liefern und ähm halt weil die Springblobb haben so eine gewissen Wahrscheinlichkeit pro Zeit in einen stabilen Zustand überzugehen und daher muss man das halt auch mit entsprechend sehr vielen Springblobb durchführen.

## Aufgaben 3

### 3 a)

B: (rechnet leitet dich formel her) 3,4 sekunden

### 3 b)

B: Ok gut das heißt ich habe hier den Zeitpunkt 1 dann habe ich erstmal diese beiden Punkte. Ich gehe jetzt einfach wieder davon aus 10 000 Atomkerne am Anfang. (liest) Das sieht wieder so aus ähm muss ich es berechnen? Oder muss ich nur sagen wie ich da vorgehen würde. Ich würde halt einfach so vorgehen also ich habe ein Funktion die ist unbekannt also man weiß quasi nicht die Basis also man hat  $a \cdot b$  von  $x$ .  $a$  ist gegeben, weil  $a$  ist der Anfangsbestand das wären 10 000 in dem Fall das heißt man könnte dann ein Gleichungssystem aufstellen wo man halt  $x$  einsetzt. Also man hat ja zwei Punkte gegeben. das heißt wir haben 10000 ja ok gut. ähm. nein ich merke gerade wir brauchen eigentlich nur eine Unbekannte das heißt  $n$  gut

I: Wenn nach 1 Minute 5000 hast wie viele hast du denn nach 2

B: buuh jetzt habe ich es gemerkt wegen der ganzen Nervosität die Basis ist einfach ein halb das heißt ich muss einfach ein halb hoch 3 nehmen und bekomme ein Achtel. Während ich es gerechnet habe, habe ich es gemerkt.

I: Du hast es einfach ein bisschen zu kompliziert gedacht. Weil worauf ich hinaus wollte ist dass die Halbwertszeit natürlich auch für die die hier noch nicht zerfallen sind gilt

### 3 c)

B: hm ich les es mir nochmal durch. (liest laut) Hmm cih würde da halt wieder mit einer rechnung vorgehen. Man hat halt die Halbwertszeit die liegt bei 10 Sekunden und dann könnte man halt wieder eine Funktion aufstellen und dann schaut man halt einfach halt nur die Differenzen zwischen den jeweiligen. Also wenn man halt zum Beispiel von null bis eins geht dann schaut man halt um wieviel hat sich der bestand verringert und dementsprechend auch so viele alpha Teilchen ausgesendet wurden

I: Mach das einmal in dem Zeitintervall 0-10 wie viele misst man denn?

B: Ja hmm also man kanns ja nicht ableiten weil - doch kann man, man kann es eigentlich schon ableiten also man leitet die Funktion ab und dann muss man es entsprechend. ich weiß nicht ob man es umkehren kann oder nicht. ich bin gerade in den Gedanken verfangen gerade.

I: Du hast jetzt schon sehr viele richtige sachen gesagt.

B: Also ich kann auch jeden Fall sagen nach 10 sekunden misst man ich muss halt immer noch die Anzahl der alpha Teilchen pro Zeiteinheit - also wieviel alpha teilchen habe ich halt bis zu dem Zeiteinheit gemessen. Einzeichnen kann ichs es wäre 50 halt nach 10 sekunden

I: Genau das was ich wissen will. mach amal ander Zeitintervalle. Also mach einmal da 10 und da 100 oder so

B: Also bei 10 sind wir da (50) und dann haben wir bei 20 75

I: Wir messen nur von 10 bis 20

B: ah nur von 10 bis 20

I: Also wir geben uns Zeitintervalle vor 0-10 , 10-20 ---

B: (zeichnet richtig)

I: Genau

B: Ich habe gerade wieder da integral davon genommen deshalb habe ich 75 hingeschrieben

I: Das ist ganz ok. Was ist denn jetzt der Unterschied wenn man die Alpha Teilchen oder wenn man die instabilen Kerne aufzeichnen würde?

B: Also bei den instabilen Kernen also bei diesem Diagramm mit den instabilen Kernen da hat man halt die insgesamt noch vorhandenen instabilen Atome pro Zeitintervall festgehalten. Hier nimmt man halt hier trägt man quasi nur ein wie viele Alpha Teilchen man in diesem spezifschen Zeitintervall jetzt ermittelt hat.

I: Und wenn man jetzt die zwei kurven vergleichen würde?

B: Also vom aussehen her sind die absolute gleich. Sie sind halt auch wieder exponential

I: Genau

### 3 d)

B: Also ich persönlich würde die direkt am Anfang das beobachten, weil quasi die Anzahl der zerfallenen Atome hängt ja auch vom Bestand ab und halt direkt am Anfang hat man natürlich noch die meisten Atome vorhanden das heißt man kann quasi in einem Zeitintervall die meisten Zerfälle beobachten

I: Hast du noch Fragen?

B: nein alles klar

I: Danke

#### 18.4.5 Jugendlicher E

### Akzeptanz 1

B: Ähm an sich ganz gut. Ich bin ein bisschen von diesem Diagramm. Das verstehe ich nicht ganz weil wenn. Das sind jetzt die verschiedenen Zeitintervalle oder wie

I: Nein. Wir schauen ein einzelnes Zeitintervall an

B: Und das ist dann die Wahrscheinlichkeit

I: Genau. also im Grunde das gleiche Diagramm wie mit dem Werfen und hier haben wir die Wahrscheinlichkeit dass es springt und hier dass es nicht springt.

B: Ja ansonsten. Dann habe ich das verstanden. Ich habe hier nur irgendwie an Zeit gedacht das war dann ein bisschen...

I: Mhm

B: Aber ja sonst

I: Ist alles verständlich?

B: Ja ich glaube schon

I: Ist irgendwas neues dabei

B: Ja ich habe das so noch nie so gehört mit dem Zeitintervall aber ansich liegt es ja nahe irgendwie das man das auch so machen kann

13.32

### Paraphrasierung 1

B: Ja ok ich kann es versuchen. Wenn man halt so zum Beispiel würfel oder ne halbkugel wirft dann ist es ja eigentlich klar dass man dann zählt wie die wahrscheinlichkeit pro wurf ist, aber das geht eben so nicht weil das ja abhängig von der Zeit ist. Und dann muss man halt schauen wie teilt man das da ein. und dann sozudagen also man nimmt halt Zeitintervall und schaut halt wie wahrscheinlich ist es dass es in dem Zeitintervall hochspringt und das kann man dann auch einfach ähnlich wie da machen, dass man halt einfach die Zeit misst und das öfters wiederholt und dann schaut man halt nach welche Zeit es immer hochgesprungen ist dann kann man das halt dann später aufstellen

I: Genau und wie geht nochmal das GdgZ?

B: Das je größer die Anzahl der Versuche ist desto genau kann man dann halt auch praktisch die Wahrscheinlichkeit bestimmen. Ja wenn man jetzt zum Beispiel Fünfmal das Ding hier wirft dann kann man zwar erstmal eine Wk aufstellen aber je öfter man das wirft und dann halt schaut wie genau es landet desto genau kann man halt dann auch vorhersagen

I Mhm ok

15.08

### Aufgaben 1

#### 1 a)

B: Ähm also man sieht hier praktisch die rel Häufigkeit wie oft das hochspringt oder ich schau es mir erst mal an (...)

Ja praktisch und hier unten erstmal die verschiedenen Zeitintervalle dargestellt. und (probiert mit einem Springblobb) Ok ähm ja

I: dich hat es verwundert dass es so lange dauert ok

B: ja mich hats irgendwie . ja dass es von 55 bis 60 aber vielleicht interpretier ich das irgendwie falsch aber äh ich glaub das muss doch eigentlix heißen wie oft das praktisch. was heir praktisch die Wahrscheinlichkeit ist dass es in dieser Zeit hochspringt. das ist so gleichverteilt ist find ich. Ich hätte jetzt eigentlich gedacht es würde hier kopmplett hoch sein und

I: ja dass die Wahrscheinlichkeit abnimmt. ja also du hast gesagt du wunderst dich dass es so gleichverteilt ist. Also du würdest sagen das ist gleichverteilt.

B: nein nicht gleich aber ähnlich. aber wenn ich das jetzt richtig interpretiert heißt das ja eigentlich dass die wahrscheinlichkeit dass es in diesem Zeitintervall zwischen 10 bis 15 sekunden nachdem man das praktisch losgelassen hat hochspringt, das dafür die wahrscheinlichkeit 0,1 ist und deswegen ja deswegen ja und ich habe es jetzt eben 3mal gesehen und es ist eigentlich immer sogar noch weniger als in den ersten paar sekunden hochgesprungen. Deshalb wundert es mich dass es auch noch bei 55 - 60 sekunden das eine Wahrscheinlichkeit von 0,08 hat das es da hochspringt. Würde ich eigentlich sagen da ist die Wahrscheinlichkeit fast null

I: Was ist denn die relative Häufigkeit?

B: von den 1000 (...)

I: also du hast da immer von Wahrscheinlichkeit gesprochen und das ist vollkommen richtig ich möchte dich nicht da jetzt verunsichern

nur die rel. Häufigkeit berechnet man sich ja wie?

B: Dadurch dass man eben zählt und das dann durch die 1000 teilt.

I: Ja im ersten Fall weil da sind ja noch 1000 da.

B: Aso

I: Ich muss natürlich die Wahrscheinlichkeit dafür berechnen dass die die in dem intervall noch nicht

gesprungen sind hochspringen.

B: Das die (...) Können sie es nochmal sagen

I: Ja. Das ist die Wahrscheinlichkeit, dass die die im Intervall 55-60 Sekunden noch liegen springen. Also die Sprungwahrscheinlichkeit wäre ja in diesem Intervall

B: Aber die sind doch hintereinander.

I: Ja genau dann muss ich eben zählen wie viele schaffen es bis zum Intervall 50 und wieviele springen dann in dem Intervall

B: OK Ja

I: Und pro Zeitintervall wissen wir muss die Wahrscheinlichkeit fürs springen immer gleich sein

B: Ahh ja

I: du warst also schon ganz richtig mit deiner Annahme das das gleichverteilt sein sollte. Das ist da ein bisschen unterschiedlich woran könnte das liegen

B: Naja gut es ist ja immer ein bisschen zufällig eigentlich. Wahrscheinlich wenn man das jetzt 10 000 mal machen würde wäre das nicht so unregelmäßig

I: Genau. Ist es klarer?

B: Ein bisschen ja. Vielleicht also die Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall dass es hochspringt ist immer gleich aber habe ich das richtig verstanden dass man praktisch denn jetzt so auflegt und dann zählt man die Zeit.

Ok dann versteh ich, also jetzt. Vielleicht ich hab glaube ich ein bisschen ein Problem mit dem, dass die pro Zeitintervall immer gleich ist. Ich würde eher sagen dass die Wahrscheinlichkeit in den früheren Zeitintervallen viel größer ist.

I: Weil die Zeit ja einfach vergeht und du natürlich intuitiv sagen würdest am Anfang springen die

B: Ok.

22.47

**1 b)**

B: 8%

**1 c)**

B: 10 000 - 800 oder? (nimmt den Taschenrechner) 9200

I: Genau

Fragen?

B: Ne erstmal nicht

## Akzeptanz 2

B: Ist gut. Ich glaub also nochmal kruz eine Frage: Also gibt es auch welche die mehrmals zerfallen weil sie jetzt vom einfachsten Fall

I: Genau. (erklärt Zerfallketten)

B: Ok dann ist klar.

I: Ist auch der zusammenhang sprungwahrscheinlichkeit und zerfallswahrscheinlichkeit klar.

B: Ja das ist sehr anschaulich ja

## Paraphrasierung 2

B: Ja also praktisch kann man das hier mit dem Springblobb relativ gut dadrauf übertragen auf den radioaktiven Zerfall. Ähm praktisch an sich ist es zufällig wann so ein Kern zerfällt also man kann halt sagen das hier ist der instabile zustand und man weiß halt praktisch früher oder später wird es hochgehen und dann ist es halt stabil und dann passiert dann erstmal nichts mehr und das ist genauso beo dem Atom jetzt jedenfalls erstmal bei dieser einfachen version die wir uns anschauen. die sind instabil und wir wissen irgendwann werden sie zerfall und in ein stabiles atom praktisch sich umwandeln. und man kann ich das auch mit dem GdgZ anschauen wieviele ungefähr im Schnitt das passiert. Also praktisch pro Zeitintervall ist die Wahrscheinlichkeit immer gleich

I: Genau super.

## Aufgaben 2

### 2 a)

B: 80 000

I: Mehr als vorher

B: Äh 8000 sorry (lacht)

I: Genau wie hast du es berechnet

B: Praktisch 1000- 1/5 mal 1000 praktisch die im ersten Zeitintervall schon zefallen sind.

### 2 b)

B: Mhm man hat also hier die 10000 und hier dann die 8000 und jetzt müssen wir nochmal schauen weil jetzt eben nur noch 8000 da sind also praktisch  $8000 - 1/5 * 8000$  ist dann 6400 (zeichnen)

I: Ganu kannst du dir ungefähr vorstellen wie das dann für die nächsten Intervalle sein wird?

B: Ja es wird dann ungefähr so, also dass es dann irgendwie so annähert

I: Weißt du wie so eine Kurve heißt

B: Wusste ich bestimmt mal

I: Das nennt man exponential. Aber ist nicht so wichtig. Wo kann man denn jetzt da die Wahrscheinlichkeit ablesen?

B: (...) Ja praktisch, man muss ja (...) man muss praktisch die beiden vergleichen. Praktisch wieviele pro Zeitintervall hier abgenommen haben und rechnet dann sie  $2000 / 10000$  und hier dann die 8000 durch die was auch immer hier

I: Genau es geht um den abstand hier

B: Ja genau

I: Perfekt verstanden

## Akzeptanz 3

B: Ja einleuchtend

I: ist irgendetwas komisch irgendwas?

B: Nö das ist alles klar

38:37

## Paraphrasierung 3

B: Ja also praktisch die Halbwertszeit ist die Zeit nach dem praktisch jenachdem sagen wei jetzt erstmal für den Springblobb ähn die hälfte der Ursprunglich da gewesenen Springblobbs sich umgewandelt bzw hochgenagen sind und ja also praktisch denn wenn man diese Halbwertszeit jetzt dann geht man für das nächste Zeitintervall wieder aus von dem Wert also wenn man da jetzt zum Beispiel hat die HWZ ist 8,2 dann geht man jetzt nochmal 8,2 rüber dann hat sich dann praktisch dieser wert hier halbiert.

I: Genau sehr gut. Und wie hängt das jetzt nochmal mit dem GdgZ zusammen?

B:hm.. naja das ist. Das ist ja eine Verteilung jetzt also dass man die 10 000 hat das ist ja eine ziemlich große Zahl deswegen kann man das jetzt so vorhersagen dass jetzt praktisch die HWZ wird jetzt da die Anzahl an instabilen Atomkernen dann insgesamt halbiert haben aber wenn man jetzt halt nicht so viele hat dann kann man das dann eigentlich so nicht sagen weil weniger man da dann hat desto mehr ist es praktisch vom Zufall abhängig wann jetzt dieser eine Hochgeht oder nicht

40.23

## Aufgaben 3

### 3 a)

B: Praktisch ich muss ja schaun wann haben wir 5000 hm. also wenn in einer Sekunde dann haben wir nach der ersten Sekunde 7500 oder dann haben wir nach ja eigentlich schon nach einer sekunde 7500 (rechnet) ja also so zwischen 2 und 3 sekunden würde ich sagen. Ja irgendwas zwischen 2 und 3 sekunden

### 3 b)

B: (...) Ja dann können wir zum Beispiel (...) in praktisch einer Minute wenn wir jetzt hier bei null anfangen dann eben 10000 dann müsst nach einer Minute eben 5 000 ähm und dann (...) ja praktisch der graph muss dann irgendwie so aussehen wenn wir jetzt aber die Zerfallswahrscheinlichkeit nicht haben (...) Ja dann ist praktisch die wahrscheinlichkeit ist ja ein halb pro minute also kann man da praktisch dann sind wir da bei 2500 und dann müssten wie hier 1250

I: du hast jetzt die Zerfallswahrscheinlichkeit ausgerechnet

B: das hätte man nicht machen müssen

I: Ok warum?

B: Ja weil man hier ja die HWZ haben und deswegen kann man hier einfach schauen nach einer Minute hat sich der wert halbiert und nach der nächsten wieder

I: Ja genau. ausgezeichnet

### 3 c)

B: Ähm ok. wie haben 100 Kerne gesammel HWZ 10 sekunden. (beschriftet achsen) alpha Teilchen nach 10 sekunden von 0 nach 10 50 von ähm von 10 nach 20 sind es dann 25 und dann ...

I: Genau und wie unterscheidet sich das jetzt von dem das wir Kerne zählen?

B: Ähm erstmal würde ich sagen nicht so stark weil pro Kern der praktisch umgewandelt wird wird ja auch ein Alpha teilchen ausgesendet deswegen würde ich jetzt sagen praktisch nicht

I: Genau dann als letzte Frage

### 3 d)

B: Ja ich würde dabei bleiben was ich davor geschrieben haben. Ich würde es am Anfang beobachten weil da halt einfach noch am meisten Teilchen da sind die zerfallen können sieht man ja hier auch es dauert ja immer länger bis da noch jetzt passiert. Deswegen ja

I: Genau.

B: Ich finde das alles sehr gut. Also hat mir- ja ich habe das jetzt auch mal verstanden auch mit dem Zerfall und so das wusste ich davor nicht. Ähm ich habe mir ein bisschen sowas gedacht davor aber gewusst habe ich es nicht und ja es ist alles einleuchtend. Ja

Ich hatte halt ein bisschen probleme am Anfang zu verstehen dass es jetzt wirklich in jedem Zeitintervall die Wahrscheinlichkeit gleich ist weil wenn man jetzt z. B. mal und damit hatte ich ein bisschen probleme aber vorallem jetzt glaube ich. Ich glaube ich kann mir das sogar besser mit den Kernen vorstellen also mit dem Blobb da. Aber es war trotzdem also der Vergleich da mit dem Blobb so ist instabil und so ist stabil fand ich sehr anschaulich. Ja

I: Danke

#### 18.4.6 Jugendlicher F

### Akzeptanz 1

B: Ich fand das jetzt mit der Zeit jetzt ein bisschen problematisch. also das war jetzt ein bisschen schwerer zu verstehen. na gut also das andere kannte ich jetzt auch schon größtenteils aus der Schule aber mit der Zeit muss man ein bisschen sich rein denken.

I: Mhm das war also was Neues und das andere was /bekannt

B: mhm

8.43

### Paraphrasierung 1

B: Also die Wahrscheinlichkeit ist halt wenn also wenn man einen Versuch beliebig oft wiederholt also oft wiederholt und dann die absolute Häufigkeit dann die Anzahl der Versuch in der ein bestimmtes Ereignis eingetreten ist und die rel Häufigkeit ist dann die absolute Häufigkeit geteilt durch alle Versuche und die rel. Häufigkeit nähert sich nach dem GdgZ dann der Wahrscheinlichkeit an. Für einen einzelnen Versuch, das war ja das und das kann man eben mit unendlich vielen Versuchen also nacheinander oder halt mit ganz vielen gleichzeitig und mit dem Problem mit der also das halt mit der Zeit. Da kann man auch die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis innerhalb eines Zeitintervall in dem man halt beliebig oft wiederholt und eben in Zeitintervalle die gesamtzeit einteilt.

I: Mhm ok.

10. 00

### Aufgaben 1

#### 1 a)

B: Ja also hier ist es ja die Zeitintervall und hier ist es die relative Häufigkeit und da das das sieht schon relative Gleichverteilt aus also mit der Ausnahme von dem hier. das könnte allerdings auch zufällig sein dass das so ist. Also eventuell würde ich das noch ein paar mal öfter probieren ob sich das genauso verhält aber ansonsten sieht es schon sehr wie eine gleichverteilung aus. Deswegen wunder der peak also

I: Mhm

#### 1 b)

Also wie groß ist denn die Wahrscheinlichkeit pro Zeit

B: also ungefähr 0.08

**1 c)**

B: es dürften dann 9200 noch nicht gesprungen sein

I: Ganu perfekt. Hast du gut verstanden.

## Akzeptanz 2

B: Also es sind also ich finde man muss das ist eigentlich ja ziemlich einfach, weil es ja das gleich ist wie mit den springblobbs nur es ist also mich hat es erstmal verwundert, dass es diese Zeitwahrscheinlichkeit gibt weil ich hätte es anders angenommen. also dass es nicht eine Zeitwahrscheinlichkeit gibt sondern irgendwie eine gesamt wahrscheinlichkeit.

I: Ok aber es klingt logisch?

B: Ja

14.11

## Paraphrasierung 2

B: Also das ist bei einem Atomkern einem instabilen genauso wie beim Sp- also diesem hier dass man halt dann für jedes Zeitintervall die Wahrscheinlichkeit gleich ist dass des zerfällt oder nicht zerfällt ist also unabhängig von der Zeit wann er zerfällt und dass das für jeden Atomkern gleich ist also einer Art.

I: Mhm genau GdgZ

B: Und dann kann man daraus wieder Rückschlüsse ziehen also man kann dann diese Einzelwahrscheinlichkeit dann halt auch wieder bestimmen wie nach dem Gesetz der großen Zahlen in dem man halt unendlich viele oder halt viele Atomkerne hat und den zerfall von denen beobachtet und dann aus der rel Häufigkeit dann halt wieder rückschlüsse auf die Wahrscheinlichkeit ziehen

I: Perfekt

## Aufgaben 2

### 2 a)

B: 8000

I: So schnell

### 2 b)

B: Also das sind dann quasi die Atomkerne die noch da sind.

I: Ja genau also die die noch nicht umgewandelt sind

B: zeichnet

I: Also du hast jetzt von 10 00 auf 8 000

B: zeichnet weiter

I: UNd was machst du jetzt

B: Ja ich berechne jetzt von denen da

I: Ja genau also 6400

B: Ja und dann von denen

I: Genau. Kannst du die schon ungefähr vorstellen wie das dann aussehen wird?

B: Ja es wird sich wahrscheinlich dem 0 also dem x also der x kurve also dem also dieser linie annähern

I: Ja also der x-achse. Weißt zu zufällig wie so eine Art von Kurve heißt also das würde mich nur interessieren

B: Parabel

I: Na.

B: Aso nein dann

I: Fast war na dran Exponentialfunktio

Fragen?

B: Nein

## Akzeptanz

3

B: Gut

I: Gut ist alles verständlich

B: ja

I: Irgendwas unklar oder unplausibel

B: ne

## Paraphrasierung 3

B: Also die Halbwertszeit ist dann genau die Zeit in der die Hälfte aller Atomkerne einer Art äh eines zusammenschlusses schon zerfallen ist bzw. noch nicht zerfallen ist und das also das ist kein also das ist jetzt nicht unbedingt ein Zeitpunkt weil hier in den intervallen da liegt es zwischen den intervallen

I: Und zwischen den Intervallen ist kein Zeitpunkt

B: Doch aber das heißt jetzt nicht das genau in dem Zeitpunkt die hälft dann zerfallen sind also stochastisch gesehen jetzt es ist halt keine Einzelwahrscheinlichkeit

I: Ok Macht die Halbwertszeit also einzelwahrscheinlichkeit sinn?

B: Ne

I:

Warum?

B: Also man könnte sch- Nicht richtig also - man könnte jetzt ungefähr sagen dass um die Halbwertszeit herum wahrscheinlich irgendwann ein Atom also eins zerfallen wird aber also es ist ungefähr ein Richtwert das irgendein Zerfall bestimmt um die Halbwertszeit herum irgendwie stattfindet aber. Weils halt wenn man sich das anguckt dann würde man eben hier also ich würde das damit begründen dass wenn das hier eben steiler wär dann wäre die Halbwertszeit ja weiter vorne und das ist halt dann wenn - ne wobei. das macht ja gar keinen sinn. Ne es ist tatsächlich wahrscheinlicher je früher

I:

Warum?

B: Ja weil am Anfang mehr sind und dann relative eben der Zerfallswahrscheinlichkeit

I: Genau. Was sagt jetzt nochmal die Halbwertszeit aus?

B: Die Halbwertszeit sagt ja nach welcher Zeit die Hälfte aller Atome zerfallen

I: Gut.

## Aufgaben 3

### 3 a)

B: Ja es ist ja. also da müsst sich ein bisschen rechnen also es sind 10 000 mal 0,75 muss ja dann also hoch x muss ja dann 5000 also .... (rechnet).

Ist 2.4 also nach 2.41 sekunde wird dann die hälfte dann Zerfallen werden.

I: Sehr gut. Habt ihr das in der Schule schon so gemacht

B: Also halbwertszeit noch nicht aber es ist ja relativ einfach

### 3 b)

B: Also man weiß ja wenn man heir 10 000 hat dann zeichne ich hier mal jetzt so 1 , 2 ,3 also dann kann man hier sagen hier sind es 5000 nach einer Minute und dann kann man grob eben hier bestimmen

I: Machs einmal ungrob. Wie viele sind denn in 2 Minuten noch da?

B: Ich könnt halt also ich könnt es jetzt auch so bestimmen aber es wär dann ja

I: Wie viele sind denn auch 2 min noch da?

B: Naja hier wenn man heir abliest sind es noch so 2000 aber. Na wobei es sind ja dann genau ein zerfall von halb also dann 2,5 tausend müssten es sein und dann noch 3 1250

### 3 c)

## Kapitel 18|Anhang

B: (...) dann müsste ja hier die Hälfte erreicht dann also die Gesamtanzahl sind ja 100 dann hat man hier 50 (zeichnet)

Also man hat ja pro Zerfall ein Alpha-Teilchen sprich man hat dann also hier ah es ist umgekehrt also dann hat man hier

I: Mache die einmal einfach. mach da überall mal eine Null hin. Also 10 - 20 - 30

B: Also wenn hier die Hälfte zerfallen ist also 50 dann müssten hier ja 50 schon ausgesendet Alpha-Teilchen ausgesendet werden sein also hier und dann müssten nach 20 Sekunden dann ist ja nochmal quasi die gleiche Zeit rum das müsste dann wieder die Hälfte sein eigentlich und dann hier wieder die Hälfte so also dürfte sich dann so annähern

I: Was ist der Unterschied

B: Ja also der Unterschied ist ja also quasi dass es nicht 100 ist am Anfang aber sonst ist es ja auch es fällt exponentiell ab

...

### 3 d)

B: Ganz am Anfang, weil da die absolute Häufigkeit eines Zerfalls höher ist.

I: Ja die relative Häufigkeit

B: Ja aber das ist doch egal

I: Auch die absolute da hast du Recht

#### 18.4.7 Jugendlicher G

### Akzeptanz 1:

I: Ist da irgendwas komisch oder unverständlich?

B: Ne, ich musste nur kurz überlegen bei diesem  $2/10$  pro Zeitintervall

I: mhm

B: Das hat mir nicht direkt eingeleuchtet, ansonsten

I: Mhm also die Wahrscheinlichkeit pro Zeit ist was Neues oder.

B: Also es lässt sich ja durchaus nachvollziehen, allein schon vom Wort her aber

I: (lacht) Ok

B: aber wie man auf die  $2/10$  kommt hat sich mir nicht direkt erschlossen

### Paraphrasierung 1:

B: Also wenn man Voraussagen möchte ob ein Ereignis eintritt oder nicht. Also ob diese Halbkugel auf der flachen Seite landet oder auf der runden Seite, lässt sich das nicht voraussagen. Also man weiß nicht wie es enden wird weil man es sich eben um einen Zufall handelt. Aber man kann zumindest eine Wahrscheinlichkeit bestimmen und die ist -ähm ja- die lässt sich eben bestimmen in dem man ein Experiment ganz oft durchführt und nach dem Gesetz der großen Zahlen nähert sich dann diese relative Häufigkeit eben dieser Wahrscheinlichkeit an

I: Mhm genau

B: Und dann gibt es halt noch die Wahrscheinlichkeit pro Wurf und dann eben die Wahrscheinlichkeit pro Zeit da -ähm- gibts auch eine Näherung also eine Wahrscheinlichkeit pro Zeitintervall, weil man eben nicht die Wahrscheinlichkeit pro Zeitpunkt bestimmen kann sondern zu einem gewissen Zeitraum

I: Genau

### Aufgaben 1:

#### 1 a)

B: Ähm. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Springblobb nach 10 - 15 Sekunden äh springt ist im Vergleich zu den anderen Zeitintervallen am größten aber es lässt sich doch erkennen dass im Schnitt - die Wahr-

scheinlichkeit das dieser Springblobb springt unabhängig von dem Zeitintervall ist. Weil in der Näherung also die Wahrscheinlichkeit gleich verteilt ist.

I: Mhm ok also ungefähr in den Zeit intervallen

B: Genau

I: Was ist denn die Wahrscheinlichkeit pro Zeit für den Springblobb

B: Die Wahrscheinlichkeit dass er eben in einem Intervall von 5 Sekunden springt ist angenähert immer 0.08

### 1 b) c)

I: Genau also  $8/100$ . b) hast du schon beantwortet. Also c)

B:  $8/100$  mal 10 000 kann man ausrechnen. das müssten dann 800 sein

I: also 800 wäre denn die die

B: die gesprungen sind

I: Genau und wieviele sind noch nicht gesprungen

B: also noch nicht dass wären dann 10 000 - 800 also 9200

I: Genau ausgezeichnet. Hast du noch irgendwelche Fragen?

B: Nein

## Akzeptanz 2:

B: Hat sich mir, da mein Vorwissen durchaus nicht groß ist doch alles erschlossen. Nur ähm mit der Naturkonstante. Also ist die Wahrscheinlichkeit für die Atome ist ja pro Element unterschiedlich dann sind aber - achso - dann ist pro Element eine andere Naturkonstante. Achso

I: Genau

## Paraphrasierung 2

B: Also man erstmal der radioaktive Zerfall eines Atomkerns ist wenn ein Atomkern der in einem instabilen Zustand ist ein Teilchen äh aussende quasi also eine Teilchen emission stattfindet und dadurch in einen stabilen Zustand gerät und dadurch er nicht wieder zerfällt und die Wahrscheinlichkeit für den Zerfall eines Atomkerns ist im selben Element des Atomkern gleich aber eine spezifische Eigenschaft pro des Elements und zwischen Elementen auch unterschiedliche und ja die Zeit der Zeitpunkt lässt sich eben nicht vorhersagen sondern eben wieder mit einer Wahrscheinlichkeit annähern unter betrachtung ganz vieler Atomkerne

I: Genau ausgezeichnet

## Aufgaben 2:

### 2 a)

B: Im Schnitt 8000 weil ein Fünftel zerfällt im ersten Intervall also 2000 und 1000 minus die ersten 2000 sind 8000

I: Ausgezeichnet

### 2 b)

B: Man startet ja im Ursprung weil am Anfang ja noch keine stabil sind von den 10 000 und nach sind dem ersten Intervall - ähm 2000

I: Jetzt habe ich. Also zeichne bitte die ein die instabilen ein.

B: Also also fangen wir mit 10 000 an dann sind nach dem ersten noch 8000 vorhanden und dann 6000

I: rechne nochmal - du bist zu schnell. Du hast 10 000 nach dem ersten Zerfallen wieviele

B: 2000

I: Warum

B: Weil die eine Zerfallswahrscheinlichkeit von einem Fünftel haben

I: Genau also im ersten Zerfall 2000 so jetzt hast du aber wieviele noch instabil

B: 8000

I: und wieviele zerfallen da?

B: Ein fünftel von 8 000

I: Genau wie viele sind das?

B: Das weiß ich leider nicht

I: Ich hole dir einmal den Taschenrechner

B: 16 oder. 1 600

I: ja genau. Ich hole trotzdem einmal einen Taschenrechner. Genau

B: 6400 also da und dann zerfallen von 6400 wieder ein fünftel sind 1280 bleiben noch 5120 nach 3 sekunden

I: Kannst du dir vorstellen wie der Vorstellen wie die Kurve ungefähr nach 10 Intervallen aussehen wird.

B: Ja so also dass es kein linearer Zusammenhang ist sondern.

I: Weiß du wie das heißt?

B: Ähm

I: Musst du nicht aber

B: ah das ist jetzt peinlich aber

I: Ach das ist überhaupt nicht peinlich. Exponentiell heißt das. Aber das hab ich dir ja nicht erklärt

B: Ja das müsst ich aber schon wissen

I: Ja genau exponentiell heißt das. Gut. Also nicht vergessen der Grund war jetzt dass in dem Abschnitt eben weniger instabil sind also zerfallen auch dann weniger

B: Ja

I: Gibts noch fragen zu dem Abschnitt?

B: Nein

I: sicher nicht?

B: Nein mir ist jetzt nur aufgefallen, dass ich dann da einen Denkfehler hatte (zeigt auf den Fragebogen mit den offenen Fragen)

## Akzeptanz 3:

B: Ja einleuchtend.

I: Ist irgendwas komisch

B: Ne alles super

I Ok

26.02

## Paraphrasierung 3

B: Die Halbwertszeit ist auch eine Art Wahrscheinlichkeit aber halt jetzt auf die Zeit betrachtet und gibt eben die Zeit an nach der eben die Hälfte der betrachteten Objekte eben das Ergebnis erreicht hat oder eben die andere Hälfte eben noch nicht erreicht hat und ähm ja Also mit der Halbwertszeit kann man eben nicht sagen also wann ein spezifisch objekt springen wird aber man kann zumindest eine Näherung treffen wie hoch die also ja schon wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist dass es bis dahin gesprungen sein kann oder eben nicht.

I: Ok und was wäre jetzt da die Wahrscheinlichkeit

B: Also man geht im Mittel davon aus. Ne das ist eigentlich nicht die Halbwertszeit. Also die Halbwertszeit ist einfach also so wird es zumindest hier vorne erklärt, das nach dieser Zeit die Hälfte aller Objekte die man betrachtet das ergebnis erreicht haben

I: Ok äh erklär mal in der Radioaktivität

B: Also wenn man einen Atomkern betrachtet dann kann man nicht sagen es wird jetzt zerfallen aber wenn man das Element betrachtet also unendlich viel kann man sagen es hat eine Halbwertszeit von so und so vielen Sekunden oder wahrscheinlich ein bisschen weniger und äh nach dieser Zeit sind die Hälfte aller Atomkerne zerfallen. Also in der Vorstellung dass man unendlich viele betrachtet

I: Genau und wie hängt das jetzt nochmal mit dem GdgZ zusammen?

B: Eben das wenn man ein Element an sich betrachtet also unendlich viele Atomkerne betrachtet ist eben die Halbwertszeit deutlich aussage kräftiger als wenn man nur einen einzelnen Atomkern betrachtet. Weil der theoretisch ja immer noch zu jedem Zeitpunkt zerfallen könnte

## Aufgaben 3

### 3 a)

B: Also man äh kann sich das entweder graphisch bestimmen oder eben mathematisch und man muss eben herausfinden wenn sich der Wert immer um ein viertel verringert da die Zerfallswahrscheinlichkeit ein  $1/4$  pro sekunde oder pro zeiteinheit ist. nach wievielen Sekunden eben nur noch 5 000 vorhanden sein müssen. und äh

I: Ganz naiv

B: 1000 - 7500 und dann wieder ein viertel von 7500 . das sind dann 5625 das ist schon eine ganz gute annäherung aber dann schauen wir nochmal für 3 sekung also wieder durch 4 bleiben noch 4218 also muss sie so im schnitt bei 2.5 sekungen liegen oder so.

### 3 b)

B: Die Halbwertszeit eines Element noch 1 min beträgt. Also nach 1 min sind noch 5 000 vorhanden. wenn man hier 3 min dann muss es hier bei 5000 liegen (1 min) und hier bei 1 000 (meint 10 000 am Anfang) und da man weiß dass es eine exponential funktion ist lässt sich die dann annähern.

I: naja wieviele sind denn in 2 min noch instabil?

B: ähm (...) müsste wieder die hälfte von 5000 sein. weil wieder einer halbwertszeit vergangen ist und dann wieder also 1250 und so lässt sich dann diese (..)

### 3 c)

I: Genau. nächste Aufgabe

B: Wir haben 100 instabile Kerne aber wir zählen ja also quasi alpha teilchen also stabile kerne weil die entstehen ja wenn die Kerne eben stabil werden. Dann haben wir in der Sekunde 0 0 alpha Teilchen nach 10 müssten aber schon 50 alpha Teilchen beobachtet worden sein. Also wenn man da hier eben 10 auftragen und da eben 50 und dann machen wir 20 sekunden und dann sind wieder von diesen, dann sind nur noch 50 instabile Kerne vorhanden und von dieser zerfallen wieder die Hälfte in diesen 10 Sekunden also 25. Also lassen sich in diesem Zeitintervall 25 registrieren aber ich weiß jetzt nicht ob dazu noch die davorzählen.

I: Nein die zählen wir nicht

B: Ok dann bei 30 12,5 und dann entsteht wieder diese

I: Genau. Und was wäre da jetzt der UNterschied wenn wir instabile Kerne zählen würden?

B: Keiner

### 3 d)

I: Genau. nächste Aufgabe

B: ich würde relativ früh beobachten weil da eben noch die meisten Atomkerne, instabilen Atomkerne vorhanden sind sie noch einen Zerfall durchführen können und nach längerer Zeit die anzahl der zerfälle eben Abnehmen würde und deshlab ist eben ganz am Anfnag die Wahrscheinlichkeit am höchsten einen zu sehen.

I: Sehr gut hast du noch fragen?

B: ne alles gut