



MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Entwicklung und Evaluation neuer Aufgabenstellungen
zur Begabtenförderung im Physikunterricht“

verfasst von / submitted by

Alexander Friedrich, BSc BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2021 / Vienna 2021

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

UA 199 520 523 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB)
UF Mathematik UF Physik

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Mag. Dr. Marianne Korner

Danksagung

Ich bedanke mich bei meinem Betreuer, Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf, für seine ständige Begleitung durch mein Lehramtsstudium, vom Orientierungsgespräch vor dem Studium bis hin zur Betreuung meiner abschließenden Masterarbeit. Neben der höchst professionellen Vermittlung spannender, relevanter und anwendungsorientierter Fachinhalte, hatte er stets ein offenes Ohr und nahm sich die Zeit für Besprechungen und Ratschläge zur beruflichen Weiterentwicklung. Er war für mich dabei eine wichtige Stütze.

Ich bedanke mich ebenfalls bei meiner Mitbetreuerin, Mag. Dr. Marianne Korner, für ihre unerschöpfliche Bereitschaft zur fachlichen und didaktischen Unterstützung betreffend diese Arbeit. Abseits der wohl spannendsten Lehrveranstaltungen, welche ich im Zuge meines Studiums bei ihr absolvieren durfte, hatte ich auch die Gelegenheit, mit ihr im Zuge des Schülerinnen- und Schülerversuchspraktikums, sowie im Kontext der Österreichischen Physikolympiade zusammenzuarbeiten, wobei sie sich umso mehr als großes Vorbild für meine weitere berufliche Lehrtätigkeit erwies.

Ich bedanke mich bei meinen weiteren Professorinnen und Professoren, allen voran Univ.-Prof. Mag. Dr. Johann Humenberger, Mag. Dr. Julia Köhler, Prof. Mag. Ilse Bartosch, Mag. Elisabeth Mürwald-Scheifinger, Jun. -Prof. Dr. Lana Ivanjek und vielen weiteren, dass sie meine Ausbildung auf so vielschichtige, wie herzliche Weise bereicherten und stets auch als Vorbild für den wohlwollenden, ganzheitlich betrachtenden und sozialen Umgang mit Schülerinnen und Schülern fungierten.

Mein Dank gebührt darüber hinaus jenen Schülerinnen und Schülern, die sich als Testpersonen für die Erprobung der im Zuge dieser Arbeit entwickelten Aufgabenblätter zur Verfügung stellten, wertvolle Anregungen lieferten und dabei etliche Stunden ihrer Freizeit opferten.

Ebenso bedanke ich mich bei meinem Direktor und meinen Kolleginnen und Kollegen, welche mir unzählige Mal mit Rat und Tat zur Seite standen, um mir mein Studium neben meiner Erwerbstätigkeit und Berufung als Lehrer zu ermöglichen. Gleichermassen bedanke ich mich bei meinen Schülerinnen und Schülern für ihren fairen und sozialen Umgang untereinander, sowie ihren Lehrerinnen und Lehrern gegenüber. Ihr Feedback und Engagement war und ist es, das mich in diesem Beruf hält und weiterkommen lässt.

Abschlüsse und Titel sind Türen öffnende, jedoch auch aussageschwache Instrumente zur Einschätzung von Kompetenzen. Lernen hingegen ist ein lebenslanger Prozess, welcher spätestens mit der Geburt beginnt und frühestens mit dem Ableben endet und welchem man sich unabhängig aller Einflüsse und Vorsätze nicht entziehen kann. Was und wie gelernt wird, bedarf jedoch großer Reife, bedachter, didaktischer Vorsätze und im besten Falle einer offenen, menschengerechten und ein Miteinander praktizierenden Gesellschaft. Mein persönlicher Lernprozess wurde dabei seit vielen Jahren vor allem von meinen Freundinnen und Freunden, sowie meiner Familie begleitet und beeinflusst. Daher richte ich meinen größten Dank an sie, allen voran an meine Oma, welche mich ohne jeglichen Abschluss oder Titel die wichtigsten Dinge im Leben lehrte und welcher ich diese Masterarbeit postum widme.

Zusammenfassung

Begabten- und Begabungsförderung im MINT-Bereich ist in einer zunehmend technologisierten Gesellschaft von größter Brisanz, sowie von unerlässlicher Bedeutung für die individuellen Heranwachsenden.

Daher verschreibt sich diese Arbeit der Entwicklung, Evaluierung und Optimierung von Aufgabenstellungen zur Begabungsförderung im Physikunterricht. Eine der in Österreich seit 40 Jahren etablierten Fördermaßnahmen für Physikbegabte stellen die Physikolympiade und die damit verbundenen Vorbereitungskurse dar, weshalb bei den entwickelten Aufgaben ein Fokus auf Einsetzbarkeit in diesen Kursen gelegt wurde.

Nach eingehender, literaturbasierter Diskussion des Begabungsbegriffs sowie bekannter Förderstrategien werden unterschiedliche Wettbewerbsformate im Bereich Physik vorgestellt und insbesondere auf die Physikolympiade eingegangen. Auf Grundlage daraus abgeleiteter Erkenntnisse zur Aufgabengestaltung mit Einsatzziel Physikolympiade-Vorbereitungskurs werden drei Aufgabenblätter zu vertiefenden Inhalten aus Mechanik und Thermodynamik vorgestellt, welche in Folge in der Praxis erprobt und mittels qualitativen Interviews evaluiert und überarbeitet wurden.

Als Ergebnis dieser Arbeit wurden jene drei Aufgabenblätter mit den Titeln ‚Omas Lieblingshäferl‘, ‚Einer Ärztin täglich Brot‘ und ‚Pharao für einen Tag‘ inklusive optionaler Hilfestellungen für Lernende sowie Lösungsvorschläge für Lehrende für den direkten Druck und Einsatz im Unterricht zur Verfügung gestellt. Diese bieten die Möglichkeit unterschiedliche Interessentypen anzusprechen, sowie Kompetenzentwicklung und die Entwicklung von Lernendenvorstellungen im Physikunterricht zu unterstützen.

Abstract

In an increasingly technological society, the promotion of giftedness and talent in MINT fields is of the utmost importance, as well as of indispensable significance for individual adolescents.

Therefore, this work is dedicated to the development, evaluation and optimisation of tasks for the promotion of giftedness in physics lessons. One of the support measures for gifted pupils in physics that has been established in Austria for 40 years is the Physics Olympiad and the associated preparatory courses, which is why the focus of the tasks developed was on their applicability in these courses.

After an in-depth, literature-based discussion of the concept of giftedness and known promotion strategies, different competition formats in the field of physics are presented and the Physics Olympiad in particular is discussed. Based on the findings derived from this, three task sheets on in-depth content from mechanics and thermodynamics are presented, which were subsequently tested in practice and evaluated and revised by means of qualitative interviews.

As a result of this master's thesis, the three task sheets entitled 'Grandma's favourite cup', 'A doctor's daily bread' and 'Pharaoh for a day', including optional help for learners and suggested solutions for teachers, were made available for direct printing and use in the classroom. These offer the possibility to address different types of interests, as well as to support competence development and the development of learners' ideas in physics lessons.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	vii
1 Einleitung	1
2 Theoretischer Hintergrund	2
2.1 Begabtenförderung im Physikunterricht.....	2
2.1.1 Begabungsbegriff.....	3
2.1.2 Identifikation hochbegabter Schülerinnen und Schüler.....	7
2.1.3 Fördermöglichkeiten	14
2.1.4 Wettbewerbe im Bereich Physik	24
2.2 Physikolympiade	35
2.2.1 Wettbewerbs- und Kursstruktur	38
2.2.2 Aufgabenschwerpunkte	41
2.3 Forschungsfragen	46
3 Entwicklung und Aufbau der Aufgabenstellungen	49
3.1 Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl.....	51
3.1.1 Aufgabenstellung 1 – physikalische Deutung.....	52
3.1.2 Aufgabenstellung 2 – Slow Motion Aufnahme.....	53
3.1.3 Aufgabenstellung 3 – Geschwindigkeitsbestimmung	55
3.1.4 Aufgabenstellung 4 – Salto.....	56
3.1.5 Aufgabenstellung 5 – Katapult	57
3.1.6 Aufgabenstellung 6 – Vereinfachungen bei Modellierung.....	57
3.1.7 Aufgabenstellung 7 – Pendeluhr	58
3.2 Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot.....	59
3.2.1 Aufgabenstellung 1 – Vorbereitung	60
3.2.2 Aufgabenstellung 2 – Koexistenz zweier Phasen	61
3.2.3 Aufgabenstellung 3 – Phasendiagramm und Molrechnung.....	62
3.2.4 Aufgabenstellung 4 – Kräftegleichgewicht I.....	64
3.2.5 Aufgabenstellung 5 – Kräftegleichgewicht II.....	65
3.2.6 Aufgabenstellung 6 – hydrostatischer Druck	67
3.2.7 Aufgabenstellung 7 – Siedetemperatur	67
3.2.8 Vertiefungsteil – Theorieinput	69
3.2.9 Aufgabenstellung 8 – Hagen-Poiseuillesches Gesetz	70
3.2.10 Aufgabenstellung 9 - Volumenstrommessung	71
3.2.11 Aufgabenstellung 10 – Maximale Wassersäulenhöhe mit GeoGebra	72

3.3	Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag.....	78
3.3.1	Aufgabenblock 1 – Schiffbeladung.....	79
3.3.2	Aufgabenblock 2 – Hafenrampe.....	80
3.3.3	Aufgabenblock 3 – Schrägaufzug	86
3.3.4	Aufgabenblock 4 – Verkehrte Pyramide.....	88
4	Untersuchungsdesign und Sample	94
4.1	Untersuchungsstruktur.....	94
4.2	Probandinnen und Probanden.....	98
5	Evaluation der Aufgabenstellungen und Kompetenzentwicklung.....	103
5.1	Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl.....	103
5.1.1	Erste Befunde während der Erprobung	103
5.1.2	Kompetenzentwicklung.....	106
5.1.3	SchülerInneneinschätzung der Aufgabenstellungen.....	108
5.2	Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot.....	109
5.2.1	Erste Befunde während der Erprobung	109
5.2.2	Kompetenzentwicklung.....	114
5.2.3	SchülerInneneinschätzung der Aufgabenstellungen.....	117
5.3	Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag.....	120
5.3.1	Erste Befunde während der Erprobung	120
5.3.2	Kompetenzentwicklung.....	125
5.3.3	SchülerInneneinschätzung der Aufgabenstellungen.....	128
6	Adaptionen und Überarbeitung der Aufgabenstellungen	131
6.1	Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl.....	131
6.2	Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot.....	138
6.3	Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag.....	146
7	Diskussion und Ausblick.....	152
8	Literaturverzeichnis.....	158
9	Abbildungsverzeichnis	168
10	Anhang	171
10.1	Didaktische Analysen.....	171
10.1.1	Did. Analyse – Omas Lieblingshäferl	171

10.1.2	Did. Analyse – Einer Ärztin täglich Brot.....	174
10.1.3	Did. Analyse – Pharao für einen Tag.....	179
10.2	Aufgabenblätter – erprobte Version.....	183
10.2.1	Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl.....	183
10.2.2	Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot.....	185
10.2.3	Hilfestellungen zu B – Einer Ärztin täglich Brot.....	189
10.2.4	Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag	193
10.2.5	Hilfestellungen zu C – Pharao für einen Tag	197
10.3	Aufgabenblätter – überarbeitete Version.....	198
10.3.1	Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl.....	198
10.3.2	Hilfestellungen zu A – Omas Lieblingshäferl.....	200
10.3.3	Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot.....	202
10.3.4	Hilfestellungen zu B – Einer Ärztin täglich Brot.....	207
10.3.5	Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag	212
10.3.6	Hilfestellungen zu C – Pharao für einen Tag	216
10.4	Lösungsvorschläge zu den Aufgabenstellungen.....	219
10.4.1	Lösungsvorschlag A – Omas Lieblingshäferl.....	219
10.4.2	Lösungsvorschlag B – Einer Ärztin täglich Brot	222
10.4.3	Lösungsvorschlag C – Pharao für einen Tag	231
10.5	Interviewleitfäden.....	237
10.5.1	Interviewleitfaden – Omas Lieblingshäferl.....	237
10.5.2	Interviewleitfaden – Einer Ärztin täglich Brot.....	240
10.5.3	Interviewleitfaden – Pharao für einen Tag.....	243
10.6	Transkripte der Vorinterviews.....	246
10.6.1	Testperson A1 – Omas Lieblingshäferl	246
10.6.2	Testperson A2 – Omas Lieblingshäferl	250
10.6.3	Testperson B1 – Einer Ärztin täglich Brot.....	254
10.6.4	Testperson B2 – Einer Ärztin täglich Brot.....	263
10.6.5	Testperson C1 – Pharao für einen Tag	271
10.6.6	Testperson C2 – Pharao für einen Tag	276
10.8	Transkripte der Nachinterviews	280
10.8.1	Testperson A1 – Omas Lieblingshäferl	280
10.8.2	Testperson A2 – Omas Lieblingshäferl	285
10.8.3	Testperson B1 – Einer Ärztin täglich Brot.....	289
10.8.4	Testperson B2 – Einer Ärztin täglich Brot.....	300
10.8.5	Testperson C1 – Pharao für einen Tag	307
10.8.6	Testperson C2 – Pharao für einen Tag	313
10.9	Physik-Olympiade Formelsammlung.....	319

1 Einleitung

Ist im institutionalisierten schulischen Kontext von Förderbedarf für Kinder und Jugendliche die Rede, so richtet sich der Fokus dabei meist auf die Unterstützung leistungsschwächerer, sowie benachteiligter Schülerinnen und Schüler. Finden derartige Diskussionen für den außerschulischen Bereich statt, denken viele vielleicht in erster Linie an Nachhilfe oder die Förderung besonderer sportlicher oder musikalischer Begabungen. Obwohl all diese Förderbereiche ihre unbedingte Berechtigung haben, entsteht oft der Anschein, als würde der Verantwortung zur Begabungsförderung im MINT-Bereich deutlich weniger Aufmerksamkeit zuteilwerden. Dahingegen birgt diese nicht nur wichtige Chancen für eine zunehmend technologisierte Wirtschaft und Gesellschaft, sondern stellt auch für das Individuum oft eine psychologisch und entwicklungstechnisch bedeutsame Maßnahme zur Prävention benachteiligender Folgeerscheinungen dar.

Daher sollen im Zuge dieser Masterarbeit als kleiner Beitrag zur Begabungsförderung im Physikunterricht Aufgabenstellungen zur Förderung ausgeprägter Kompetenzen und Interessen im Bereich Physik entwickelt werden. Grundlage dafür stellt eine fundierte Recherche zum Begabungsbegriff dar, in welche die Leserin oder der Leser in Kapitel 2.1.1 eingeführt werden soll. Dabei soll versucht werden, einen Bogen zur historischen Entwicklung des Begriffs von Stern (1916) bis Ziegler (2017) zu spannen, bevor in Folge auf Identifikations- und bekannte Fördermöglichkeiten eingegangen wird. Wettbewerbe und etwaige Begleitförderprogramme stellen dabei eine, konkreter als Enrichment-Strategie zu kategorisierende, solche Fördermöglichkeit dar, auf welche in dieser Arbeit näher eingegangen werden soll. Dabei werden in Kapitel 2.1.4 zunächst unterschiedliche Wettbewerbe im Bereich Physik vorgestellt, in Kapitel 2.2 wird dann jedoch noch vertiefend auf die Physikolympiade eingegangen.

Für eben diese, beziehungsweise die in Österreich meist begleitend besuchten Vorbereitungskurse, wurden drei Aufgabenblätter zu Mechanik und Thermodynamik entwickelt, welche in Kapitel 3 detailliert beschrieben werden. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Aufgabenblätter weiterzuentwickeln, um sie letztlich Lehrkräften für den Einsatz im Unterricht zur Verfügung stellen zu können. Als Methode zur Evaluation und Grundlage zur Überarbeitung dieser Aufgabenstellungen sollen Schülerinnen und Schüler mit Vorerfahrungen aus Physikolympiade-Vorbereitungskursen zur Erprobung der Aufgaben gebeten werden, wobei sowohl vor als auch nach dieser Erprobung jeweils Interviews mit den Testpersonen geführt werden sollen. Neben angestrebten Erkenntnissen hinsichtlich Bearbeitungsdauer, Schwierigkeit und Motivationsfähigkeit der Aufgabenblätter, sollen jene Interviews dazu beitragen, Lernendenvorstellungen sowie etwaige Entwicklungen derer über die Bearbeitung der Aufgabenblätter hinweg aufzudecken und mögliche Schlüsse für die Überarbeitung der Aufgaben zu ziehen.

Die dabei entstandenen Endversionen der Aufgabenblätter, welche mit dem Ziel vermehrter Individualisierung mit optionalen Hilfestellungen versehen wurden, stehen letztlich in Kapitel 10.3 zur Einsicht und Nutzung zur Verfügung. Lösungsvorschläge dazu finden sich in Kapitel 10.4.

2 Theoretischer Hintergrund

Bevor ab Kapitel 3 die konkreten, im Zuge dieser Arbeit entwickelten Aufgabenstellungen vorgestellt und anhand einer Erprobung unter Schülerinnen und Schülern evaluiert werden, soll der Fokus zunächst auf einige theoretische Grundlagen gerichtet werden. Insbesondere wird in Unterkapitel 2.1 zunächst das Thema Begabtenförderung im Allgemeinen betrachtet. Ein kurzer Streifzug über die Entwicklung des Begabungsbegriffs von Anfängen zu Beginn des 19. Jahrhunderts bis hin zu modernen Sichtweisen soll eine Basis für anschließende Überlegungen bilden, welche sich mit der Problematik der Identifikation hochbegabter Schülerinnen und Schüler, sowie mit unterschiedlichen Strategien zu deren Förderung befassen. Es wird gezeigt, dass Wettbewerbe wie etwa im Bereich Physik grundsätzliches Potential zur Förderung sowohl der Fähigkeiten und Leistungen begabter Schülerinnen und Schüler als auch zur Förderung deren sozialen Wohlbefindens in sich bergen. Dabei spielen jedoch die Struktur, sowie begleitende Fördermaßnahmen eine entscheidende Rolle für deren Effektivität, welche auch hinsichtlich anderer Fördermaßnahmen grob beleuchtet werden soll. Aus diesem Grund, sowie zur Orientierung für Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler als auch Eltern werden im Anschluss einige vorwiegend in Österreich angebotene Wettbewerbe aus dem Bereich Physik kurz vorgestellt und deren zentrale Merkmale tabellarisch aufbereitet.

Da die in dieser Arbeit entwickelten Aufgabenstellungen vorrangig für den Einsatz in Physikolympiade-Vorbereitungskursen angedacht sind, wobei diese auch durch entsprechende Modifikationen für andere Einsatzgebiete nutzbar gemacht werden können, wird in Kapitel 2.2 noch genauer auf die Struktur der Physikolympiade mit Fokus auf Österreich, sowie die begleitenden Vorbereitungskurse eingegangen. Eine Einsicht in unterschiedliche Formen der Aufgabenstellung allgemein und speziell im Bereich Physik soll schließlich spezielle Schwerpunktsetzungen für die Aufgabenentwicklung zum gegenständlichen Zwecke erlauben und in ebenjene Aufgabenentwicklung und -vorstellung überleiten.

2.1 Begabtenförderung im Physikunterricht

In diesem ersten Abschnitt soll erörtert werden, was begabte Menschen konkret auszeichnet, ob sich Begabungen selbständig und ohne jegliche Förderung hinlänglich entwickeln können oder ob Begabten und Hochbegabten vielmehr ein Recht auf Basis einer Notwendigkeit der Förderung ihrer Begabungen zugehen sollte. Neben dem Vergleich diverser heute praktizierter Fördermaßnahmen sowie einer teilweisen Einschätzung zu deren Effizienz sollen im Speziellen auch Wettbewerbe im Bereich Physik näher unter die Lupe genommen werden.

2.1.1 Begabungsbegriff

Spätestens seit Beginn des 20. Jahrhunderts kann man von ernstzunehmender und breiterer Forschung im Bereich Hochbegabung sprechen. Bereits 1987 stellte Hany jedoch fest, dass daraus inzwischen über 100 verschiedene Definitionen und Deutungen des Begriffs Hochbegabung resultierten (vgl. Hany, 1987). Eine klare und eindeutige Definition dieses Begriffs zu geben, welche auf breiten Konsens innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft stößt, scheint daher äußerst schwierig. Einen Versuch zur Erklärung, wie es zu dieser großen Vielfalt unterschiedlicher Ansätze kam und welche Definitionen dabei besonders breitenwirksame Wellen schlugen, unternehmen Ziegler (vgl. Ziegler, 2017) sowie Heller und Mönks (vgl. Heller et. al., 2014) durch Betrachtungen der historischen Entwicklung des Begriffs der Begabung beziehungsweise der Begabungsforschung.

Einer der ersten bedeutsamen Forscher im deutschsprachigen Raum auf dem Gebiet der Begabungsforschung war William Stern. Seine 1916 erschienene Publikation *Psychologische Begabungsforschung und Begabungsdiagnose* mutet der modernen Leserin oder dem modernen Leser mitunter etwas antiquiert an. So schreibt Stern beispielsweise von „geistigen Rohstoffen“, die es von der Gesellschaft zu nutzen gelte, oder der „richtigen beruflichen Rekrutierung“ „in unserem deutschen Vaterlande“. Auch sucht man vergeblich nach gendergerechten Formulierungen und wird, aus heutiger Sicht betrachtet, mit veralteten Vorstellungen einer Gleichberechtigung von Frauen und Männern konfrontiert. Ebenso wirft seine mitunter konservativ anmutende Forderung „Das rechte Kind in die rechte Schulform“ Fragen hinsichtlich der Durchmischung Heranwachsender bezüglich ihres sozioökonomischen Hintergrunds, sowie ihres Leistungsniveaus auf und lässt vermuten, dass es hierfür heutzutage auch andere Modelle gibt, die einem gesamtgesellschaftlichen, friedvollen Zusammenleben förderlicher sein könnten. Sterns Argumentation bei der Forderung nach mehr Akzeptanz, Förderung und Nutzung von Erkenntnissen aus der Begabungsforschung beruht im Wesentlichen auf volkswirtschaftlichen Interessen. Es ginge um die Förderung entsprechender Fähigkeiten, welche zur Ausübung bestimmter Berufe benötigt werden und daraus resultierend um eine Anpassung betreffend die Gestaltung von Schule, sowie maßgeschneiderte Maßnahmen in der Schule. Eine Schule zur Verwirklichung des ‚wahren Zwecks des Menschen‘, welcher für Humboldt in seiner vermutlich 1792 entstandenen Ideenschrift „die höchste und proportionierlichste Bildung seiner Kräfte zu einem Ganzen“ (Humboldt, 1767-1835, S. 64) war, und deren Bedingungen in erster Linie ‚Freiheit‘ und eine ‚Mannigfaltigkeit der Situationen‘ (vgl. Humboldt, 1767-1835, S. 64) darstellten, scheint bei Sterns Argumentation eher in den Hintergrund gedrängt, wenngleich Stern betont, dass man noch nicht genau wisse, welche Fähigkeiten in welchen Berufen genau gebraucht würden und man daher insbesondere auch für die Förderung von Fähigkeiten offen sein soll, welche durch Schulnoten und den damaligen Fächerkanon nicht direkt abgebildet wurden. (vgl. Stern, 1916)

Stern unternimmt aber auch den Versuch einer Konkretisierung und Differenzierung von zu damaliger Zeit oft vermengten Begriffen aus dem Feld der Begabungsforschung. Beispielsweise besteht er auf eine

Sensibilisierung hinsichtlich der unterschiedlichen Bedeutungen von Intelligenz und Talent, da diese völlig verschiedener Maßnahmen zu deren Förderung bedürfen. Während Intelligenz eine ‚geistige Allgemeinbegabung‘ bezeichnet, spricht er bei Talent von einer ‚Spezialbegabung‘ in einem „mehr oder minder eng umschriebene[n] Gebiet“ (Stern, 1916, S. 23). Begabung allein, so Stern weiter, stellt noch keine ausreichende Voraussetzung für außerordentliche Leistung dar. Daneben braucht es zu deren Verwirklichung ihm zufolge noch weitere ‚seelische Eigenschaften‘, wie etwa Interesse und Wille. An der Formulierung ‚seelische Eigenschaften‘ ist klar zu erkennen, dass es sich hierbei also weiterhin um innere Einflüsse des Lernenden selbst handelt. Es sei die Meinung weit verbreitet, dass Interesse stets aus Begabung entstehe, da man sich aufgrund lobenden Feedbacks zu Bereichen eigener Begabungen vermehrt in diese Gebiete vertiefe. Daneben, so hält Stern fest, können aber auch ganz andere Dynamiken auftreten. So kann es sein, dass sich Lernende aufgrund ihres Interesses überdurchschnittlich tief mit einer Thematik beschäftigen und daraus erst ihre Begabung in diesem Bereich entsteht. Ebenso ist es möglich, dass sich Lernende, gerade weil sie in einem Gebiet unbegabt sind, aufgrund eines starken Willens umso mehr dafür interessieren und in Folge hervorragende Leistungen erbringen. Unter Wille versteht Stern etwa „Fleiß und Ausdauer, [...] Selbstdisziplin, Ehrgeiz [...]“ (Stern, 1916, S. 26) und so weiter. Umgekehrt kritisiert er Menschen, die mangels Willen nichts aus ihrer Begabung machen und bezeichnet diese als „verbummelte Talente, die ein parasitäres Dasein führen“ (Stern, 1916, S. 26). Dieser Gedanke der sinnvollen Nutzung entsprechender Begabungen stammt jedoch nicht von Stern, sondern tauchte bereits in der Renaissance erstmals auf (vgl. Ziegler, 2017, S. 10). Wille und Interesse müssen demnach laut Stern in die Auslese zur speziellen Förderung Begabter miteinbezogen werden. „Begabung ist kein Verdienst, sondern eine Verpflichtung“ (Stern, 1916, S. 26), wobei dahin gestellt sei, inwiefern sich eine derartige Haltung auf das Interesse der Lernenden auswirke. Neben ‚seelischen Eigenschaften‘ spricht Stern auch noch weitere innere Einflussfaktoren an, wie etwa Rasse oder Geschlecht der Heranwachsenden. So postuliert er, dass vor allem die Interessen von Frauen beziehungsweise Männern stark divergieren würden und fordert daher die Errichtung reiner Frauenschulen zu deren besserer und konkreter Förderung. Letztlich nimmt Stern auch zu äußeren Einflussfaktoren flüchtig Stellung und bezieht sich auf das, was heute als sozioökonomischer Hintergrund bekannt ist. Für die vergleichsweise höheren Leistungen von Kindern aus ‚gehobenen Ständen‘ ortet Stern zwei Gründe. Zum einen würden die höheren Schichten schon jetzt ihr ‚Erbgut‘ mit jenem von ‚aufsteigenden Tüchtigen‘ ergänzen. Zum anderen zeige sich auch innerhalb der höheren Schichten im Zuge vergleichender Intelligenzuntersuchungen, dass Kinder, deren Eltern für diese eine förderliche geistige Atmosphäre schaffen, im Schnitt besser abschneiden. (vgl. Stern, 1916)

Rund 80 Jahre später lässt sich der letztgenannte Gedanke auch bei Mönks wiederfinden, wenn dieser davon schreibt, dass Begabungen zwar von Geburt an vorhanden sind, sie für ihre Entwicklung jedoch die passenden Umgebungseinflüsse benötigen. Die Bezeichnung „hochbegabt“ meint demnach nur, dass jemand die Veranlagung für eine bestimmte Richtung der Entwicklung hat. Ob diese jedoch auch tatsächlich

eintritt, ist von Fremdhilfe abhängig (vgl. Mönks, 1994). Dies spiegelt sich auch in der Hochbegabten-Definition von Marland wider:

„Hochbegabte verfügen über verwirklichte und potentielle Fähigkeiten, die Ausdruck sind von hohen Leistungsmöglichkeiten auf intellektuellem, kreativem, künstlerischem [...] oder spezifischem akademischem Gebiet oder von außerordentlichen Führungsqualitäten. Es sind Kinder, die ein differenziertes Unterrichtsangebot und Fördermaßnahmen erfordern, die gewöhnlich in der Regelschule nicht geboten werden, [...]“ (Marland, 1972)

Diese Definition lässt zum einen herauslesen, dass diese Fähigkeiten Hochbegabter erst entwickelt werden müssen und zum anderen, dass es hierfür über den derzeitigen Regelunterricht hinausgehende Angebote und Fördermaßnahmen benötigt.

Diesen Bedarf an Förderung unterstreicht Mönks, wenn er davon spricht, dass viele begabte Schülerinnen und Schüler ihre speziellen Fähigkeiten in der Schule oft verstecken und sich dem Durchschnittsniveau anpassen, bloß um nicht aufzufallen. Dies führt zu einem Verlust an Kreativität, Drang und Motivation, sowie zu Langeweile und einem Defizit an Leistung gegenüber dessen, was möglich wäre. Doch auch die dadurch mitunter einhergehenden Persönlichkeitsschäden, welche Schülerinnen und Schüler daraus mitnehmen, sind nicht außer Acht zu lassen. Begabtenförderung wird laut Mönks in und von unserer Gesellschaft jedoch in verschiedenen Bereichen unterschiedlich stark geschätzt, was wiederum die Bereitschaft relativiert, sich für Etablierung und Ausbau solcher Fördermaßnahmen einzusetzen. So besteht ein weitgehender Konsens über die Wichtigkeit der Förderung von verhältnismäßig leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern. Geht es jedoch um Begabtenförderung, also die Förderung von Schülerinnen und Schülern mit herausragenden Anlagen, so wird dies meist deutlich zurückhaltender betrachtet. (vgl. Mönks, 1994) Lange kritisiert hierbei, dass die Förderung von Begabten beispielsweise in Bereichen wie Musik, Sport oder Mathematik vollkommen etabliert ist und als wichtig und notwendig angesehen wird, während dies bei Begabungen in anderen Bereichen, wie etwa Naturwissenschaften, Technik oder Sprachen deutlich seltener der Fall ist. In diesen Bereichen gehe man eher davon aus, dass sich Kinder und Jugendliche da schon selbst darum kümmern würden und sich aus Eigenantrieb in derlei Thematiken einarbeiten würden, sollten sie tatsächlich ausreichend ausgeprägte Interessen und Begabungen dafür haben (vgl. Lange, 1994).

Auf der Suche nach verbindenden Elementen bei Menschen unterschiedlichster Begabungen konnte Gardner in seiner Arbeit zur ‚*Multiplen Intelligenz*‘ durch Vergleiche der Entwicklungen von, auf unterschiedlichen Gebieten herausragenden Persönlichkeiten, vier Schlüsse ziehen. Seinen Untersuchungen zufolge hat bei allen von ihm analysierten Personen bereits das Kindes- und Jugendalter eine entscheidende Rolle gespielt, da sich die entsprechenden außergewöhnlichen Neigungen und Fähigkeiten bereits damals zeigten. Die Entwicklung dieser Neigungen und Fähigkeiten geschah jedoch nicht aus eigenem Antrieb, sondern gelang durch fördernde Maßnahmen von außen. Darüber hinaus stellte Gardner bei allen untersuchten Personen eine rund zehnjährige auf sich selbst bezogene ‚*Durststrecke*‘ in deren Lebenslauf fest

und hielt des Weiteren fest, dass die Einstufung von Leistungen als besonders kreative und hervorragende stets von den aktuellen Schlüsselfragen der Gesellschaft abhing. (vgl. Gardner, 1993)

Demzufolge lässt sich also festhalten, dass das, was man als hochbegabt bezeichnet, beziehungsweise die zur Leistungsexzellenz führenden Umstände, aus dem Zusammenwirken von intrinsischen und extrinsischen Faktoren entstehen, wie dies Abb. 2.1: Modell der Hochbegabung - intrinsische und extrinsische Faktoren. (Rekonstruiert aus Mönks & Ypenberg, 1993) veranschaulichen soll (vgl. Mönks, 1994).

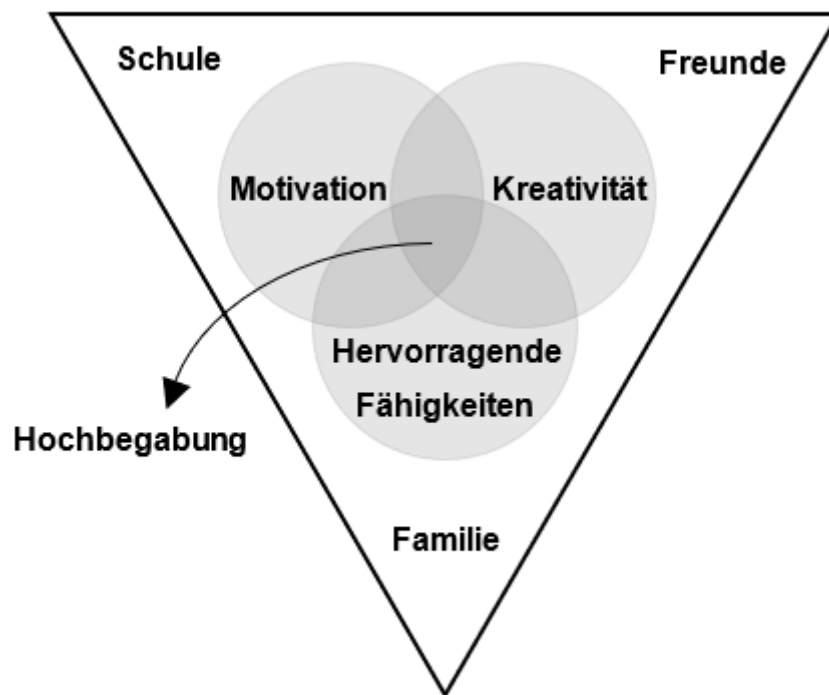


Abb. 2.1: Modell der Hochbegabung - intrinsische und extrinsische Faktoren. (Rekonstruiert aus Mönks & Ypenberg, 1993).

Ziegler letztlich bricht mit der Vorstellung einer menschlichen Eigenschaft namens Hochbegabung völlig. Er reflektiert den historischen Weg der Begriffsentwicklung von Begabung ausgehend von der antiken Vorstellung, dass Hochbegabte so etwas wie Gotteskinder sind, über die Idee von rein angeborenen, genetisch vorherbestimmten und inneren Anlagen, bis hin zur These, dass sowohl angeborene Veranlagungen als auch die Umgebung, in welcher Menschen aufwachsen, Einfluss auf das haben, was wir als Begabung bezeichnen (vgl. Ziegler, 2017). Basierend auf Sternberg (1993) hält Ziegler fünf Kriterien fest, welche Hochbegabte dem seiner Meinung nach heute am ehesten akzeptierten Öffentlichkeitsbild entsprechend erfüllen müssen, um als solche anerkannt zu werden:

- Exzellenzkriterium: erfüllt durch einen deutlichen Leistungsvorsprung anderen Personen gegenüber auf mindestens einem Gebiet.
- Seltenheitskriterium: erfüllt durch eine überdurchschnittlich hohe Ausprägung einer bestimmten Eigenschaft, wie etwa der Intelligenz.
- Produktivitätskriterium: erfüllt durch eine aus der jeweiligen Begabung hervorgehende Fähigkeit zu besonderen Handlungen oder zur Herstellung besonderer Produkte.

- Beweisbarkeitskriterium: erfüllt, wenn die betroffene Person ihre Hochbegabung etwa bei Tests bewusst demonstrieren kann und diese messbar ist.
- Wertkriterium: erfüllt, wenn die Hochbegabung in einem Bereich vorliegt, welcher für die Gesellschaft von positiver Relevanz ist. (vgl. Ziegler, 2017)

Bezugnehmend auf Hany's zusammengetragene über 100 Definitionen und Deutungen zum Begriff Hochbegabung (vgl. Hany, 1987) stellt Ziegler fest, dass es nicht nur hinsichtlich dessen, was die Öffentlichkeit unter dem Begriff Begabung versteht, große Schwierigkeiten gibt, eine eindeutige Definition zu formulieren, sondern sich auch im wissenschaftlichen Kontext sehr unterschiedliche Modelle, wie psychometrische Definitionen, Performanzdefinitionen, Etikettierungsdefinitionen und spezifische Talentdefinitionen (Ziegler, 2017, S. 15) gegenüberstehen. Da sich eine konkrete Eigenschaft des Menschen, die diesen als Hochbegabten auszeichnen würde, offenbar nicht feststellen lässt, hält Ziegler zufolge jene Definition fest:

„Talente und Hochbegabungen sind wissenschaftlich begründete Urteile über die wahrscheinliche Entwicklung des gesamten Systems aus einer Person und ihrer Umwelt.“ (Ziegler, 2017, S. 18).

2.1.2 Identifikation hochbegabter Schülerinnen und Schüler

Eine Beschäftigung mit Identifikationsmerkmalen Hochbegabter setzt selbstverständlich eine eindeutige Definition des Begriffs der Hochbegabung voraus. Da hierzu jedoch, wie in Kapitel 2.1.1 klar wurde, nach wie vor unterschiedlichste Ansätze und Ideen existieren, kann auch in diesem Kapitel lediglich ein grober Einblick in den Stand der Forschung und eine Auswahl an Ansätzen zur Hochbegabungsidentifikation gegeben werden.

Schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts ging Stern (1916) der Frage nach, wer konkret auf mögliche Hochbegabungen von Kindern und Jugendlichen aufmerksam werden könnte, um anschließend weiterführende Maßnahmen einleiten zu können. Während ihm zufolge bis dahin ein Lehrerinnen- bzw. Lehrerurteil vorrangig ausschlaggebend gewesen sei, kritisiert Stern, dass dieses nicht immer optimal und oft nur auf Zufallsbeobachtungen gestützt, sowie durch individuelle Ab- oder Zuneigungen verzerrt wäre. Darüber hinaus hätten Lehrerinnen und Lehrer keine oder nur bedingt Einsicht in die ebenso wichtigen außerschulischen Leistungen der Schülerinnen und Schüler. Demzufolge sei es zielführender die Nutzung von Methoden der damals aufstrebenden Begabungspsychologie voranzutreiben. So äußert sich Stern etwa für einen flächendeckenden Einsatz von Intelligenztests und Talentprüfungen, sowie für die Durchführung von Begabungstests zur Quantifizierung des Begabungsgrades und schlägt betreffend Psychographie eine Verbreitung von Leitfäden unter Lehrpersonen zur ersten Grobauswahl im Identifikationsprozess vor, während Psychologen anschließend ein fundierteres Gesamtbild erstellen könnten. Insgesamt bleibt hier jedoch diskret vorausgesetzt, dass das Vorliegen einer Hochbegabung auch zu nachweislichem Verhalten oder entsprechenden Leistungen in der Schule führen würde.

Als erster Intelligenztest gilt ein Test von Binet und Simon, welcher um 1906 zur Identifikation „zurückgebliebener Kinder“ (Reichle, 2004, S. 19) entwickelt und 1922 von Terman erstmals in größerem Umfang als Hochbegabungstest genutzt wurde. Getestet wurden hierbei lediglich kognitive Fähigkeiten (Reichle, 2004).

Auch Rost (2000) bezieht sich in seiner Analyse hinsichtlich einer eventuell bestehenden Korrelation zwischen Hochbegabung und schulischen Leistungen in erster Linie auf kognitive Intelligenzausprägungen. Obwohl er in vielen Fällen eine gewisse Korrelation sieht, argumentiert er, dass auch ohne besondere kognitive Begabung, jedoch mit organisiertem Arbeitsverhalten und „kontinuierlicher lernerischer Anstrengung“ (Rost, 2000) trotz geringerer Intelligenz mitunter ausgezeichnete schulische Leistungen erbracht werden können, ohne dass hier eine Hochbegabung vorläge. Rosts Formulierungen lassen dabei auf ein völlig anderes zugrunde gelegtes Bild von Hochbegabung schließen, als Ziegler (2017) dies beispielsweise definiert (vgl. Kap. 2.1.1). Ziegler betont hingegen in umgekehrter Richtung, dass auch Ergebnisse von IQ-Tests keine ausreichende Basis für Voraussagen hinsichtlich Leistungsexzellenz darstellen. Dass dies erst sehr spät erkannt wurde, führt er darauf zurück, dass unter den bis 2000 durchgeführten, relevanten Studien zum Thema Hochbegabungsidentifikation nur weniger als 20 Prozent Längsschnittstudien waren (Ziegler, 2017).

Reichle (2004) hält fest, dass jenes auf Kognition geprägte Intelligenzkriterium oft als einziges oder zumindest als ein besonders wichtiges Kriterium für Hochbegabung gesehen wird. Dies wird auch durch Zieglers und Rauls Analyse (2000) von in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlichten Hochbegabtenidentifikationen untermauert. Unter den von ihnen untersuchten Publikationen stützten sich rund zwei Drittel auf lediglich ein einziges Identifikationskriterium. Rund ein Drittel der Gesamtzahl aller analysierten Studien legte den Urteilen dabei ausschließlich ein Leistungskriterium zugrunde, wobei in den meisten Fällen rein schulische Leistungen betrachtet wurden, während etwa Leistungen bei Wettbewerben oder außerschulischen Aktivitäten unberücksichtigt blieben. Mehr als weitere 20 Prozent der Studien stützten sich hingegen ausschließlich auf den in Tests ermittelten IQ und ein weiteres Drittel der Publikationen basierte auf einer Kombination aus Intelligenz- und Leistungskriterium. Nicht eine einzige dieser Studien berücksichtigte in ihren Auswertungen hingegen Umwelteinflüsse, wie etwa die den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung stehenden Lernressourcen und Soziotope, worauf etwas später noch genauer eingegangen wird (vgl. Ziegler; Raul, 2000).

Obwohl die Messung eben jener kognitiven Intelligenz oft in unterschiedlichen Teilkomponenten erfasst wird, wozu beispielsweise Amelang und Bartussek (2001) einen guten Überblick bieten, zeichne sich laut Reichle (2004) neuerdings ab, dass zunehmend auch weitere Begabungsbereiche abseits der kognitiven Intelligenz beachtet und zu einer Hochbegabungsdiagnose führen würden. Den damit einhergehenden, steigenden Anteil an Kindern und Jugendlichen, welche als hochbegabt identifiziert würden, sieht Reichle jedoch mitunter kritisch. Natürlich hängt die Zahl der Diagnosen oder auch Fehldiagnosen zu Hochbegabung

jedoch nicht nur von der Bandbreite der berücksichtigten Auswahlkriterien ab, sondern auch von der Kulanz betreffend der einzelnen Zulassungskriterien. Sind diese etwa strenger angesetzt, so führt dies eher dazu, dass Hochbegabte dabei übersehen werden. Setzt man die Auswahlkriterien hingegen milder an, so steigt damit umgekehrt die Zahl von fälschlicherweise als hochbegabt eingestuftem durchschnittlich Begabten. Die Ursache für dieses Dilemma sieht Ziegler in der bipolaren Sichtweise zwischen hochbegabt und nicht hochbegabt (Ziegler, 2017).

Andere, neben der kognitiven Intelligenz, etwa von Heller und Hany (1986) oder Urban (1996) postulierte Kompetenzen, welche bei entsprechender Ausprägung einer Hochbegabung zugeschrieben werden könnten, sind etwa als künstlerische, psychomotorische, soziale, kreative oder praktisch-instrumentelle Begabungen beschrieben worden, ebenso wie verbale, musikalische, mathematische oder bildnerische Teilbegabungen (Reichle, 2004). Anders als hinsichtlich kognitiver Intelligenz seien hierbei jedoch die entsprechenden Indikatoren sowie deren Messbarkeit noch unzureichend erforscht und unterlägen insbesondere im künstlerischen Bereich oft subjektiven und divergierenden Beurteilungen. Indikatoren betreffend Hochbegabung im sportlichen Bereich wiederum seien fast ausschließlich leistungs- und produktfokussiert. (vgl. Reichle, 2004)

Ähnlich wie Gardner (1983), der in seiner Theorie der multiplen Intelligenzen (vgl. Abb. 2.2) Intelligenz als die Fähigkeit beschreibt, Produkte zu erschaffen oder auch Probleme zu lösen, welche in einzelnen oder mehreren Kulturen als konstruktiv erachtet werden, fasst Sternberg (1993) unter Hochbegabten ganz allgemein all jene Menschen auf, welche im Vergleich zu Gleichaltrigen hervorragende Leistungen erbringen (vgl. Reichle, 2004).

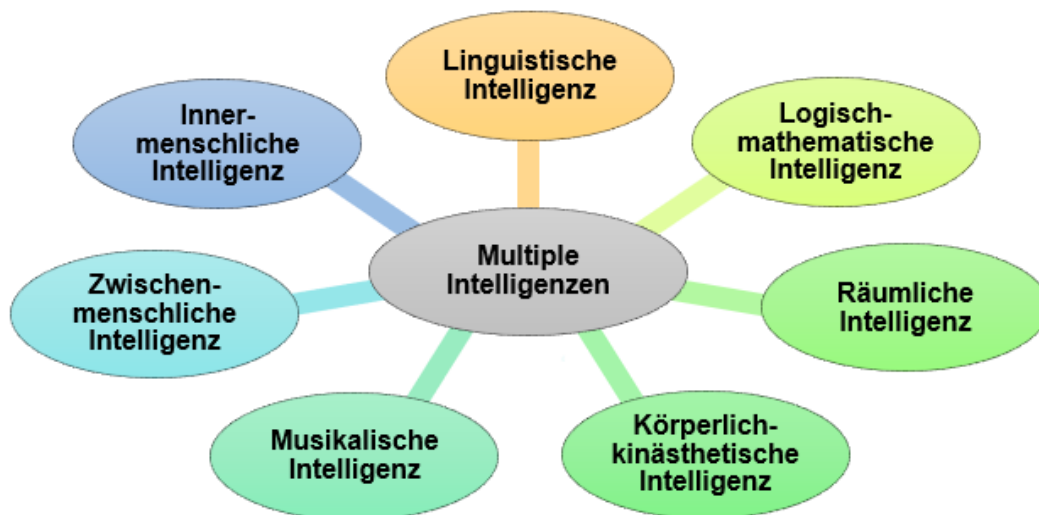


Abb. 2.2: Sieben verschiedene Intelligenzen nach Howard Gardner. (vgl. Gardner, 1983; Cavas, 2020). (Grafik selbst erstellt).

Möchte man Hochbegabung also mit Hochleistung gleichsetzen, so sollte eine Identifikation Hochbegabter nicht allzu schwer fallen. Sieht man darin hingegen, rückblickend auf Zieglers Auffassung von Talenten und Hochbegabungen, vielmehr das möglicherweise noch nicht ausgeschöpfte Potential zu Hochleistung,

stellt sich das Problem, durch wen und wie der erste Schritt zur Identifikation dessen gegangen werden kann, um einen weiterführenden Diagnoseprozess einzuleiten (vgl. Ziegler, 2017). Häufig fällt diese Aufgabe wiederum Lehrerinnen und Lehrern zu, wobei jedoch vor allem jene Schülerinnen und Schüler, deren schulische Leistungen nicht mit ihrer Hochbegabung korrelieren, übersehen werden können. Unter diesen Umständen erfahren diese Schülerinnen und Schüler nicht bloß keine entsprechende Förderung zur Entfaltung ihrer Begabungen, gegebenenfalls kann dies sogar zu ernststen Störungen und Fehlentwicklungen führen (vgl. Reichle, 2004).

Ein Begriff, welcher in diesem Kontext in den letzten Jahren geprägt wurde, ist jener der Underachiever, also Minderleister. Bezeichnet werden damit Menschen, deren erreichtes Niveau an Leistungsexzellenz deutlich unter den Prognosen aufgrund punktueller Potentialanalysen, etwa durch Intelligenztests, liegen. Wie bereits hinsichtlich der Klassifizierung zwischen hochbegabt und nicht hochbegabt, hängt es auch hier vom angesetzten Maß an Diskrepanz zwischen Potential und erbrachter Leistung, beispielsweise im schulischen Kontext, ab, ob eine Person als Underachiever diagnostiziert werden kann oder nicht. Wie aus Untersuchungen dazu hervor ging, waren Underachiever in ihrem emotionalen Sein oft negativ beeinträchtigt, fühlten sich oft unglücklich und unzufrieden. Ebenso konnten Auffälligkeiten in ihrem Sozialverhalten festgestellt werden. So waren sie Großteils eher schüchtern, impulsiv und emotional erregbarer (vgl. Reichle, 2004). Als mögliche Ursachen oder zumindest Vorläufer hielten Tomlinson-Keasey und Little (1990) dazu beispielsweise das Maß an elterlicher Zuwendung, sowie den familiären Zusammenhalt als Einflussfaktoren für eine positive Entwicklung fest, während Beziehungsstörungen der Eltern und mangelnde Ermutigung durch diese eine Entwicklung hin zum Underachiever förderten. Im schulischen Kontext hingegen ist es für den Lernprozess wichtig, bei Hochbegabten und Begabten ebenso wie bei anderen Schülerinnen und Schülern an deren individuelles Vorwissen anzuknüpfen, um etwa längerfristig bestehende Langeweile zu vermeiden. Individuelle Betreuung und offene Lösungswege bei Aufgabenstellungen stellen hierfür eine wichtige Basis dar (vgl. Reichle, 2004).

Ziel sollte es daher sein, Hochbegabte frühzeitig zu erkennen, um Fehlentwicklungen wie Underachievement rechtzeitig entgegenwirken zu können. In diesem Sinne untersuchte Urban (1992) Entwicklungsunterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen hochbegabten und durchschnittlich begabten Vorschulkindern und stellte bei Hochbegabten unter anderem ein besonders ausgeprägtes Interesse an Selbstbestimmung, Beharrlichkeit beim Lösen vor allem selbstgestellter Aufgaben, auffällig hohe Neugier und Entdeckerdrang, eine sehr frühe und eigenmotivierte Auseinandersetzung mit Symbolen und abstrakten Konzepten, Freude an ordnenden Tätigkeiten, sowie diverse besonders ausgeprägte kognitive Fähigkeiten und ein weit entwickeltes und differenzierendes Sprachvermögen fest. Das lange existente Vorurteil, dass Hochbegabte gegenüber durchschnittlich begabten Kindern und Jugendlichen soziale Defizite aufwiesen, konnte jedoch bisher nicht wissenschaftlich belegt werden (vgl. Reichle, 2004). Ganz im Gegenteil dazu zeigten beispielsweise Sparfeldt und Rost (2011), dass sowohl Hochbegabte als auch Hochleistende zwar durch bessere schulische Noten oder auch vermehrter Teilnahme insbesondere an schulischen Wettbewerben auffielen,

sich deren Selbst- und Fremdbilder hingegen kaum von jenen durchschnittlich begabter Schülerinnen und Schüler unterschieden und sie im Durchschnitt eine „gelungene Persönlichkeits- und Identitätsentwicklung“ (Sparfeldt; Rost, 2011) zeigten. Somit ließen sich bisher also keine Belege für einen absonderlichen Entwicklungsverlauf bei Hochbegabten oder Hochleistenden feststellen, wenngleich vieles für einen insgesamt oder in vielen Bereichen beschleunigten und qualitativ hochwertigen Verlauf spricht (vgl. Reichle, 2004). Eine Ursache dafür, dass derartige Vorurteile sich so lange halten konnten, sieht Ziegler (2017) auch am Mangel von Kontrollgruppen bei der deutlich überwiegenden Zahl von Studien und Publikationen in dieser Richtung. In den letzten Jahrzehnten zeigte sich hingegen vielmehr, dass Hochbegabte tendenziell sogar angstbefreiter, „emotional reifer; psychisch stabiler“ und „sozial engagierter“ (Reichle, 2004) als Gleichaltrige sind.

Dennoch halten sich solche negativen Stereotype gegenüber Hochbegabten und Hochleistenden mitunter nach wie vor im sozialen und schulischen Alltag vieler Jugendlicher, werden durch Medien, wie etwa der Serie *The Big Bang Theory* neben genderspezifischen Vorurteilen weiter befeuert und führen oft begründet oder unbegründet zu einer negativen Einschätzung des Fremdbildes über sich selbst. Die daraus entstehende Angst vor Diskriminierung und die Angst davor, als Streber im negativen Sinne abgestempelt zu werden, führt nicht selten zu einem massiven Leistungsabfall bei den Betroffenen. Darüber hinaus werden zunächst Hochleistende oft als weniger hilfsbedürftig wahrgenommen und Fehler ihrerseits von Gleichaltrigen oft mit umso mehr Schadenfreude bestraft, was dazu führt, dass diese Kinder und Jugendlichen sich immer mehr zurückhalten und somit auch immer weniger Hilfe auf eigenem Niveau in Anspruch nehmen und in Stagnation verfallen. Die Schaffung von Soziotopen, in denen Leistung häufiger belohnt und gefördert wird als Gleichheit, komme diesen Jugendlichen im Allgemeinen entgegen, während ein schulisches Umfeld, in dem vorrangig versucht wird, die Leistungen aller Schülerinnen und Schüler auf ein einheitliches Niveau anzugleichen, in Hochleistenden eher dazu führe, bloß nicht auffallen zu wollen (vgl. Reichle, 2004). Besonders schulische oder außerschulische Förderangebote, in denen Hochbegabte und Hochleistende unter individueller Betreuung auf ihrem eigenen Niveau möglichst frei an eigenen Lösungswegen arbeiten können und Leistung nach individuellen Maßstäben bewertet und gefördert wird, können hier oft einen befreienden Ausgleich zum sonstigen schulischen Alltag liefern.

Ziegler (2017) sieht die Problematik des Underachievement hingegen als erfundenes Konstrukt der statusorientierten Hochbegabtendiagnostik, einhergehend mit dem Verlust der empirischen Falsifizierbarkeit von Urteilen zur Hochbegabung und sieht die Bringschuld stattdessen in der Anwendung modernerer Konzepte aus der Entwicklung der Hochbegabungsdiagnostik. Er skizziert dazu vier diagnostische Ansätze:

- Ziel der statusorientierten Hochbegabungsdiagnostik ist es lediglich den Ist-Zustand bereits mehr oder weniger stark ausgeprägter Begabungen festzustellen. Liegen die Leistungen der untersuchten Personen später deutlich unter den Erwartungen aufgrund der vorangegangenen Diagnose, werden diese als Underachiever deklariert, ohne jedoch die Ursachen für die aufgetretene Diskrepanz zwischen Potential und Leistung näher zu analysieren.

- In der interventionsorientierten Hochbegabungsdiagnostik hingegen wird vorrangig der Frage nachgegangen, weshalb es manchen Hochbegabten nicht gelingt, ihr Potential in tatsächliche Leistung zu transferieren.
- Die entwicklungsorientierte Hochbegabungsdiagnostik kehrt die reine Suche nach Defiziten und deren Ursachen aus der interventionsorientierten Hochbegabungsdiagnostik um und versucht stattdessen jene Einflussfaktoren ausfindig zu machen, die eine positive Entwicklung hin zur Leistungsexzellenz fördern können.
- Diese sollen dann in der förderorientierten Hochbegabungsdiagnostik dazu genutzt werden, Pfade für individuelle Personen anzugeben, mit denen sie angestrebte Hochleistungen auch erreichen können

(vgl. Ziegler, 2017).

Um Lehrerinnen und Lehrer bei all diesen unterschiedlichen Anzeichen für das möglicherweise Vorliegen einer Hochbegabung hinsichtlich einer allerersten Einschätzung diesbezüglich zu unterstützen, wurden unterschiedliche Checklisten und Fragebögen entwickelt. Eine relativ umfangreiche Version dazu findet sich in (Reichle, 2004, S. 99 ff.). Einschätzt werden sollen dabei Lernverhalten und Denkfähigkeit, Motivation, Kreativität und soziale Fähigkeiten der Heranwachsenden. Alle vier Bereiche sind in etliche Unterpunkte gegliedert, zu denen die Lehrperson jeweils eine vierteilig skalierte Einschätzung abgeben kann. Jeder Einschätzung wird dabei eine gewisse Anzahl an Punkten zugewiesen, wobei die Summen dieser Punkte aus den vier Kategorien anschließend anhand einer Richtwerttabelle Aufschluss über die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer Hochbegabung geben sollen. In ähnlicher Weise bieten Heller und Perleth (2009) Kriterienlisten zu den Bereichen Intelligenz, Kreativität und soziale Kompetenz um Fachlehrerinnen und Fachlehrer bei der Ersteinschätzung zum Auswahlverfahren für das Hector-Seminar, auf welches in Kapitel 2.1.3 noch etwas näher eingegangen wird, zu unterstützen.

Doch insbesondere in Bereichen wie Technik, um welchen es auch im Hector-Seminar geht und den es nicht als eigenes Schulfach gibt, haben auch Prenzel et.al. (2009) Zweifel an der stets korrekten Einschätzung von Leistung hinsichtlich Hochbegabung durch Lehrerinnen und Lehrer, denen traditionellerweise die Aufgabe der Begabungserkennung zugeschrieben würde. Ziegler (2017) kritisiert in diesem Zusammenhang auch das enge Methodenspektrum in Identifikationsverfahren. Ihm zufolge kommen auch in über 50 Prozent aller untersuchten Publikationen lediglich Fragebögen und Interviews im Diagnoseprozess zum Einsatz. Wesentlich robuster wären seiner Meinung nach hingegen Methoden wie Experimente und Prozessanalysen. Prenzel et.al (2009) setzen daher auf adaptierte Unterrichtsmodelle und Lernumgebungen, welche vermehrt Möglichkeiten schaffen sollen, dass SchülerInnen ihre Begabungen im Bereich Technik zeigen und Lehrpersonen diese erkennen können. Beispielsweise sehen sie Wettbewerbe im MINT-Bereich als geeignetes Mittel um einerseits Talente und Begabungen zu erkennen sowie diese auch direkt entsprechend zu fördern. Ebenso fordern sie mehr Unterrichtszeit für Projektarbeiten, sowie „Selbstbestimmtes und durch eigene Interessen und Schwerpunkte geleitetes individuelles Arbeiten“ (Prenzel, 2009) in

naturwissenschaftlichen, mathematischen und technischen Bereichen, was ebenso die Identifikation und Förderung begabter Schülerinnen und Schüler gleichermaßen abdecken würde. Idealerweise sollte dabei ein Fokus auf Problemlösefähigkeit und analytische Fähigkeit, gerne auch mit fächerübergreifenden Inhalten und Projekten, gelegt werden (vgl. Prenzel, 2009).

Auch Ziegler (2017) unterstreicht immer wieder die Relevanz des Umfeldes von Kindern und Jugendlichen für die Entwicklung von Hochbegabungen. Im Umkehrschluss scheint es aber für die Hochbegabungsdiagnose im Sinne eines Urteils „*über die wahrscheinliche Entwicklung des gesamten Systems aus einer Person und ihrer Umwelt*“ (Ziegler, 2017, S. 18) wiederum unumgänglich, auch sogenannte Soziotop-Analysen in die Begutachtung miteinfließen zu lassen. Hierbei geht es um eine meist auf Interviews basierende qualitative Einschätzung der Lernumwelt von Kindern und Jugendlichen mit dem Ziel soziotopspezifische Wahrscheinlichkeiten für unterschiedlich stark ausgeprägte Lernzuwächse angeben zu können. Die Zugänglichkeit bestimmter Soziotope für einzelne Menschen in bestimmten Lebens- und Entwicklungsphasen entscheide somit letztlich mit darüber, ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit Leistungsexzellenz in einem bestimmten Gebiet erreicht werden kann.

Ziegler (2017) unterscheidet hinsichtlich angestrebter Lernzuwächse sechs verschiedene Typen von Soziotopen:

- Thematische Isotope sind Umgebungen und Situationen, in denen der Austausch über bestimmte Fachthemen positiv bewertet und mitunter gefördert wird. Beispielsweise können regelmäßige Pausengespräche unter Schülerinnen und Schülern zum Thema Computerhardware oder Klimawandel und mögliche schulische Maßnahmen in diesem Kontext dazu führen, den jeweiligen Themenbereich schätzen zu lernen.
- Infrastrukturelle Isotope hingegen bieten Möglichkeiten zu bestimmten, themenbezogenen Handlungen. So ermöglicht eine Werkstatt den Umgang mit Werkzeugen oder ein Spielplatz mit Reckstange das Trainieren von Klimmzügen.
- Bei Lernsoziotopen handelt es sich um speziell für Lernzuwächse angelegte Einrichtungen, wie einem Schülerinnen- und Schülerversuchslabor oder einer Musikschule.
- Professionssoziotope haben den zusätzlichen Anspruch, dass die darin angestrebten Lernzuwächse in direktem Zusammenhang mit einer möglichen Erwerbstätigkeit stehen. Während dies also auf den Spielplatz nicht zutrifft, würde ein Turnverein ein Professionssoziotop repräsentieren.
- Als antagonistische Soziotope werden Umfeldere bezeichnet, die dem Lernen oder der Diskussion betreffend eines Themengebiets entgegengerichtet sind. Beispiele hierfür wären eine Klassensituation, in welcher Hochleistung zu Diskriminierung und Ignoranz führt.
- Konkurrierende Soziotope stellen letztlich all jene Soziotope dar, in denen die Auseinandersetzung mit Lerninhalten nicht gegeben ist. So wird beispielsweise auf einer üblichen Geburtstagsparty selten die Möglichkeit bestehen, sich mit Experimenten zur Kernphysik auseinanderzusetzen oder während einer Kabarettvorstellung Chemie zu lernen.

Eine entwicklungsorientierte Soziotop-Analyse beschäftigt sich dabei stets mit dem Gesamtensemble der genutzten beziehungsweise zur Verfügung stehenden Soziotope, sowie dem Wechselspiel zwischen diesen. So kann beispielsweise die Nutzung konkurrierender Soziotope wie Bars oder Kinos aus einem Mangel an der Erfüllung sozialer Bedürfnisse heraus vorliegen. Durch anders strukturierte Lernsoziotope, etwa durch einen Fokus auf gemeinschaftliches Lernen im Schulalltag, oder entsprechende thematische Soziotope, wie einem täglichen, fachlichen Diskussionsschwerpunkt beim gemeinsamen, familiären Abendessen, könnte jene Befriedigung der sozialen Bedürfnisse jedoch auch ohne Einbußen bei der Lernentwicklung erfolgen. Dies leitet jedoch bereits über zu möglichen Förderansätzen begabter und hochbegabter Kinder und Jugendlicher.

2.1.3 Fördermöglichkeiten

Warum die Förderung von Begabten und Hochbegabten wichtig ist:

Wie in Kapitel 2.1.2 bereits gezeigt wurde, ist es für die persönliche Entwicklung begabter und hochbegabter Schülerinnen und Schüler hin zu glücklichen und zufriedenen Menschen wichtig, ihnen entsprechende Förderungen zukommen zu lassen. Auch um Langeweile, Unterforderung und daraus möglicherweise resultierende Folgeprobleme in der Entwicklung zu vermeiden, können gezielte Fördermaßnahmen helfen (vgl. Lehmann; Jüling, 2004). Abseits der persönlichen Entwicklung dieser Kinder und Jugendlichen steht jedoch rückblickend auf Sterns „*geistige Rohstoffe*“, die es von der Gesellschaft zu nutzen gelte, beziehungsweise der „*richtigen beruflichen Rekrutierung*“ (siehe Kap. 2.1.1) auch ein gesellschaftliches Bedürfnis hinter einer zielgerichteten und individualisierten Förderung von Begabungen. Diesbezüglich verweisen Prenzel et.al. (2009) darauf, dass insbesondere für Studien im MINT-Bereich die benötigten Kompetenzen mehr als in anderen Fachbereichen im schulischen Umfeld erworben werden, wodurch gerade hier eine schulpolitische Diskussion der bereitstellbaren Förderressourcen unumgänglich ist.

Derartige Überlegungen dürfen sich jedoch keineswegs nur auf Bereiche des sekundären und tertiären Bildungswegs beschränken, sondern müssen schon wesentlich früher ansetzen, da gerade der frühe Einstieg und in Folge langes und kontinuierliches Üben einen Schlüssel zur Erreichung von Leistungsexzellenz und der Ausschöpfung von Begabungen darstellen (vgl. Prenzel et.al., 2009). So konnte etwa im mathematischen Bereich festgestellt werden, dass bereits im Vorschulalter erfahrene Lernmängel im Laufe der späteren Schulzeit bis hin zur Sekundarstufe selbst durch herausragende Intelligenz der Lernenden kaum ausreichend kompensiert werden können (vgl. Stern 1994, 1997, Krajewski; Schneider 2006). Umgekehrt führten bereits im Vorschulalter ausgeprägte Kompetenzen in den Bereichen Mengen, Zahlen und numerischem Verständnis zu über viele Jahre anhaltenden Vorsprüngen hinsichtlich des Umgangs mit mathematischen Aufgabenstellungen gegenüber Gleichaltrigen (vgl. Weinert; Helmke, 1997). Dieser Umstand ruft jedoch auch insbesondere im Hinblick auf Bildungsgerechtigkeit die diversen Bildungsinstitutionen in eine gewisse Verantwortung. Während der sozioökonomische Hintergrund beispielsweise großen, internationalen

Studien im Bereich der Mathematik und Naturwissenschaften zufolge mitunter großen Einfluss auf Bildungsweg und Kompetenzausprägungen von Kindern und Jugendlichen hat (vgl. Prenzel et.al., 2006), konnten diesbezügliche Kompensationseffekte durch den mehrjährigen Besuch eines Kindergartens nachgewiesen werden (vgl. Bos et.al., 2003, Prenzel et.al., 2004). Während Prenzel et.al. (2009) daher auch aus wirtschaftlicher Sicht im Bereich von MINT-Studiengängen auf frühzeitiges „*Headhunting*“ setzt, im Zuge dessen spätestens ab dem Beginn der gymnasialen Oberstufe gezielte Maßnahmen ergriffen werden sollten, berichtet Gagné (2005) hingegen davon, dass bereits ab dem dritten Schuljahr Leistungsunterschiede zwischen den einzelnen Schülerinnen und Schülern im Ausmaß mehrerer Unterrichtsjahre festzustellen sind, wonach wohl bereits wesentlich früher über geeignete Fördermaßnahmen entsprechend der individuellen Anforderungsniveaus der Kinder nachgedacht werden sollte.

Auch (Heller, 2009) spricht neben den ökonomischen Anforderungen einer Gesellschaft an das Bildungssystem im Sinne einer Förderung begabter Schülerinnen und Schüler, insbesondere in MINT-Fächern, die persönlichen Rechte und Bedürfnisse von Kindern und Jugendlichen auf individuell angepasste Forderung und Förderung an. Die den Heranwachsenden im Bereich der Bildung zustehende Chancengleichheit bedeute insbesondere die Schaffung von Lernangeboten und Zugängen dazu, welche den individuellen Begabungsvoraussetzungen in Niveau und Inhaltsbereich der einzelnen Kinder und Jugendlichen Rechnung tragen. Während dieser Grundsatz etwa im Bereich der Sonderpädagogik weitreichend etabliert und akzeptiert ist, wurde bisher auf die spezifische Förderung höher begabter Schülerinnen und Schüler deutlich weniger geachtet. Weinert (1998) verwies in diesem Zusammenhang darauf, dass auch überdurchschnittlich begabte Schülerinnen und Schüler, welche die schulischen Ansprüche weitgehend gut meistern und bei denen es nicht zu oben genannten Problemen kommt, durch gezielte Fördermaßnahmen noch deutlich höhere Leistungssteigerungen erfahren könnten. In manchen Bereichen, wie etwa Sport oder Musik, würden diese Bedürfnisse durch diverse außerschulische Aktivitäts- und Lernangebote wie Sportvereine oder Musikschulen abgedeckt werden. Im MINT-Bereich hingegen fehlen derartige Förderangebote jedoch weitgehend. Hinsichtlich des Anspruchs auf Chancengleichheit bedeutet dies oft eine Minderung der späteren, potentiellen Chancen nicht entsprechend geförderter Kinder und Jugendlicher auf dem Arbeitsmarkt, kann jedoch auch zu diversen Nachteilen und Problemen in den Bereichen der Schulleistungs- und Persönlichkeitsentwicklung führen (vgl. Kap. 2.1.2), wobei laut Heller insbesondere Mädchen als Hochbegabte im MINT-Bereich öfter übersehen würden (vgl. Heller, 2009).

Fördermöglichkeiten:

Im Folgenden soll daher ein Blick auf einige der bekanntesten und mehr oder weniger gut ausgebauten Förderstrategien geworfen werden, bevor schließlich noch neuere Ansätze kurz umrissen werden. Jene ‚traditionellen‘ Methoden der Begabtenförderung lassen sich grob in vier Kategorien einteilen: Die Förderung durch Leistungsgruppen, Akzeleration, Enrichmentmethoden und Pull-Out-Programme, wobei der Übergang zwischen diesen Kategorien mitunter fließend verläuft.

Leistungsgruppen:

Mit Leistungsgruppen sind Strukturen gemeint, nach denen die Zuordnung von Schülerinnen und Schülern oder Schulen entsprechend ihrem Leistungsniveau erfolgt, um insgesamt leistungshomogenere Lerngruppen zu schaffen, in denen entsprechend angepasste Curricula verfolgt werden (vgl. Ziegler, 2017). Wirft man einen Blick auf die Einflüsse solcher Leistungsgruppen auf das Selbstbild begabter Schülerinnen und Schüler, so lassen sich zweierlei Effekte feststellen. Einerseits beschreibt der sogenannte Big-Fish-Little-Pond-Effekt (BFLP-Effekt) ein ausgesprochen hohes schulisches Selbstkonzept besonders begabter Schülerinnen und Schüler in Lerngruppen mit mittelmäßigem Leistungsniveau. Ein Wechsel dieser Schülerinnen und Schüler in eine höhere Leistungsgruppe führt dann jedoch meist zu einer Abwertung dieses Selbstbildes (vgl. Heller, 2009). Darüber hinaus zeigte sich in Hochleistungsgruppen eine allgemein häufiger auftretende Prüfungsangst (Ziegler, 2017). Dem gegenüber steht der sogenannte Basking-in-Reflected-Glory-Effect (BIRG-Effekt), welcher bei Schülerinnen und Schülern, die einer höheren Leistungsgruppe zugewiesen werden, allein aufgrund dieser Zuweisung und den dabei mitschwingenden hohen Einschätzungen bezüglich deren Leistungsvermögen, zu einer Steigerung des schulischen Selbstkonzeptes führen kann. Trotz dieser komplexen Zusammenhänge zeigte sich etwa im Zuge des Hector-Seminars, einem umfassenden Förderprogramm für im MINT-Bereich begabte Schülerinnen und Schüler im Bereich Nordbaden (Deutschland), dass die nach Aufnahme in das Programm anfänglich auftretenden negativen Wirkungen aufgrund einer Relativierung des BFLP-Effektes im Allgemeinen schon nach kurzer Zeit abklingen und die positiven BIRG-Effekte überwiegen und letztlich zu einer guten Entwicklung des Selbstkonzeptes der betroffenen Schülerinnen und Schüler führen (Heller, 2009).

Akzeleration (Beschleunigung):

Hochbegabte Schülerinnen und Schüler, so Lehmann und Jüling (2004), zeigen oft ein allgemein erhöhtes Lerntempo auf. Daher sind lange Übungs- und Wiederholungsphasen, wie sie für mittelmäßig begabte Schülerinnen und Schüler meist wichtig sind, für sie eher langweilig bis entwicklungshemmend und können vielfach wegfallen. In diesen Fällen können Akzelerationsmaßnahmen, welche auf eine zügigere Abwicklung des Pflichtcurriculums abzielen, sinnvoll sein. Nicht zu übersehen ist dabei jedoch stets, dass eine beschleunigte kognitive Entwicklung von Kindern nicht unbedingt auch mit einer beschleunigten sozial-emotionalen Entwicklung einhergehen muss und hierbei auf eventuell entstehende negative Persönlichkeitsentwicklungen aufgrund einer solchen Diskrepanz geachtet werden muss (vgl. Heller, 2009).

Eine derartige Akzelerationsmaßnahme stellt die frühzeitige Einschulung dar, welche somit auch bereits im frühen Kindheitsalter ansetzt. Natürlich kann diese Maßnahme im Zuge einer Schullaufbahn nur ein einziges Mal ergriffen werden, sollte gut abgewogen sein und zur speziellen Situation passen. So gibt es durchaus Pro- und Contra-Argumente zu berücksichtigen. So befürchten Skeptikerinnen und Skeptiker hierbei oft emotionale Schäden bei den Kindern, wenn diese in einem derart frühen Alter im schulischen Kontext mit überwiegend älteren Kindern zusammengeführt werden. Jedoch sind derartige Schäden je nach

Situation mitunter geringer als beim Überspringen einer Klasse, wo die soziale Bezugsgruppe jedenfalls gewechselt wird. Befürworterinnen und Befürworter der frühzeitigen Einschulung hingegen befürchten ihrerseits oft negative Folgen, sollte der Schritt nicht gegangen werden. Sie argumentieren beispielsweise damit, dass hochbegabte Kinder oft bereits vor Schulantritt vermehrt mit älteren Kindern spielen, da deren Interessen besser zu den eigenen passten, als dies bei Gleichaltrigen der Fall wäre (vgl. Lehmann; Jüling, 2004).

Festzustellen ist jedenfalls, dass sich das übliche Kriterium betreffend Einschulungstermin in Österreich nicht an der kognitiven oder sozial-emotionalen Entwicklung der Kinder orientiert, sondern lediglich an deren Alter. So beginnt die allgemeine Schulpflicht in Österreich „mit dem auf die Vollendung des sechsten Lebensjahres folgenden 1. September“ (Schulpflichtgesetz, 2017). Historisch war das aber nicht immer so. Gleiches Alter heißt nicht unbedingt gleicher Entwicklungsstand und die Heterogenität bei diesem hat in den letzten Jahren sogar zugenommen (Lehmann; Jüling, 2004).

Lehmann und Jüling (2004) zufolge kann eine frühzeitige Einschulung dann sinnvoll sein, wenn Kinder deutliche kognitive bzw. intellektuelle Vorsprünge gegenüber anderen Vorschulkindern zeigen. Die Fähigkeit schon vor Schulbeginn Zahlen oder Buchstaben lesen zu können, scheint hier jedoch nicht ausreichend. Vielmehr sollten bereits deutlich ausgeprägte Kompetenzen in den Bereichen Rechnen, Lesen und Schreiben vorhanden sein. Das Ziel einer frühzeitigen Einschulung wird dabei vor allem in einer positiven Unterstützung betreffend bereits vorhandener Fähigkeiten, sowie im Bereich der Lernmotivation gesehen. Neben den entwicklungsbezogenen Voraussetzungen ist aber vor allem auch die Haltung der beteiligten Personen, also Eltern, Kinder und insbesondere der Lehrkraft von großer Bedeutung. Nur, wenn sie dieser Maßnahme positiv gegenüber steht, kann ein gutes Lehrperson-Kind-Verhältnis entstehen und die Umsetzung der Maßnahme gelingen.

Ähnliche Optionen, welche jedoch noch deutlich seltener genutzt werden, beziehungsweise überhaupt möglich sind, stellen etwa optionale Einschulungstermine zu Schuljahresmitte oder die Einschulung direkt in die 2. Klasse dar. Im Zuge solcher Maßnahmen ist jeweils eine Probezeit von ein paar Wochen empfehlenswert, um besser einschätzen zu können, ob die Integration in die bereits bestehende soziale Gruppe der Klasse gelingen kann. In manchen Primarschulen wird auch eine flexible Schuleingangsphase praktiziert, welche je nach Entwicklung der einzelnen Schülerinnen und Schüler zwischen ein und drei Jahre dauern kann. Für diese Zeit werden die Kinder in gemeinsame Klassen zusammengefasst und können entsprechend ihren Fortschritten früher oder später in die dritte Schulstufe aufsteigen. Da hierbei stets mehrere Kinder mitunter unterschiedlichen Alters gemeinsam in die nächste Klasse wechseln, werden etwaige Integrationsprobleme trotz Akzelerationsmaßnahme vermieden (vgl. Lehmann; Jüling, 2004).

Die neben der frühzeitigen Einschulung zweite, häufig angewandte Akzelerationsmaßnahme, ist das Überspringen von Klassen. In Österreich ist dies maximal dreimal erlaubt, „je ein Mal in der Grundschule, nach der Grundschule bis einschließlich der 8. Schulstufe und nach der 8. Schulstufe“ (SchUG, 2018). Wie auch

bei der frühzeitigen Einschulung findet man betreffend dem Überspringen von Klassen zahlreiche Pro-, sowie Contra-Argumente. Allein hinsichtlich sozial-emotionaler Entwicklungstendenzen stehen Ängste davor aufgrund von Unterforderung bei unbeschleunigter Schullaufbahn jenen aufgrund des Wechsels der sozialen Gruppe beim Überspringen von Klassen gegenüber. Laut unterschiedlichen Studien konnten bisher jedoch überwiegend positive Erfahrungen damit gemacht werden, wobei etwaige dabei aufgetretene soziale Probleme meist nicht direkt auf den Sprung zurückgeführt werden konnten, sich eine solche Maßnahme umgekehrt bei den meisten betroffenen Schülerinnen und Schülern jedoch vor allem motivational besonders förderlich ausgewirkt hat (Gallagher, 1975; Riles, 1979; Heinbokel, 1996).

Lehmann und Jüling (2004) empfehlen die Wahl dieser Akzelerationsmaßnahme, wenn bei den betroffenen Kindern und Jugendlichen insbesondere hoch ausgeprägte kognitive Fähigkeiten, Leistungsbereitschaft, Motivation und gute Leistungen in allen Fächern vorliegen. Divergieren diese Qualifikationen jedoch in unterschiedlichen Schulfächern stark, wäre es besser, spezielle Förderungen in den gut ausgeprägten Bereichen anzustreben. So könnte die Schülerin oder der Schüler beispielsweise nur in Mathematik dem Unterricht einer höheren Schulstufe außerhalb der eigenen Stammklasse beiwohnen. In der Praxis lassen sich derlei Konzepte jedoch aufgrund der fixen Stundenpläne meist nur sehr schwer umsetzen.

Eine weitere Variante von Akzelerationsmaßnahmen stellt die Verkürzung der Gymnasialzeit dar. So gab es etwa in Deutschland bis vor einigen Jahren sogenannte G8-Klassen, bei denen eine neunjährige Gymnasialzeit auf 8 Jahre gekürzt wurde. Die Entscheidung für den einen oder anderen Zweig fiel dabei meist erst ab einer gewissen Schulstufe. Da hierbei eigene Klassen für die leistungsstärkeren Schülerinnen und Schüler gebildet wurden, fielen wiederum etwaige Integrationsschwierigkeiten wie beim Überspringen von Klassen weg. Das Curriculum blieb gegenüber den regulären Klassen dasselbe, wurde jedoch in kürzerer Zeit abgewickelt, was besonders leistungswilligen und -starken Schülerinnen und Schülern zugutekam (vgl. Lehmann; Jüling, 2004). Heller und Rindermann (1999) nach zeigten Schülerinnen und Schüler in G8-Klassen darüber hinaus tendenziell mehr Lernmotivation und weniger Versagensängste.

Hinsichtlich des Übergangs zwischen Sekundarstufe und Universität gibt es in Österreich mit dem Programm *„Schülerinnen und Schüler an die Hochschulen“* außerdem die Möglichkeit, schon während der Schulzeit etliche Lehrveranstaltungen an ausgewählten österreichischen Universitäten und Fachhochschulen zu besuchen. Die im Zuge dessen erfolgreich absolvierten Prüfungen werden den Jugendlichen nach Abschluss ihrer Matura auf ihr jeweiliges Studium angerechnet, was zu einer Verkürzung ihrer Studienzeit beiträgt. Angenommene Schülerinnen und Schüler werden dabei von Young Science der Österreichischen Agentur für Bildung und Internationalisierung unterstützt und für die Teilnahme an Hochschul-Lehrveranstaltungen auch teilweise vom Schulunterricht freigestellt (vgl. Young Science, 2021).

Enrichment (Anreicherung, Vertiefung):

Wie nicht nur Lehmann und Jüling (2004) anführen, sind hochbegabte Schülerinnen und Schüler oft in der Lage in gewissen oder mehreren Bereichen komplexere Aufgaben zu lösen, beziehungsweise bereit sich

tiefgehender und selbständiger mit solchen zu beschäftigen als Gleichaltrige. Entsprechend sollten ihnen Möglichkeiten dazu geboten werden, was oft durch sogenannte Enrichmentprogramme realisiert werden kann. Heller (2009) beschreibt Enrichmentmaßnahmen als Förderstrategien, im Zuge derer bei grundsätzlichem Verbleib im Regelunterricht die Förderung spezieller Fähigkeitsschwerpunkte erreicht werden soll. Dazu zählen beispielsweise das bereits angesprochene Hector-Seminar, Bundes-Schülerakademien, sowie Wettbewerbe und Olympiaden, wie zum Beispiel in Mathematik, Physik und Chemie. Negativer Etikettierungsprobleme, sowie soziale Integrationsprobleme, bleiben dabei aufgrund des Verbleibs in den Stammklassen außen vor. Zugleich können laut Lehmann und Jüling (2004) solche Maßnahmen für besonders begabte Schülerinnen und Schüler sogar korrigierende und förderliche Einflüsse auf die Entwicklung des Selbstbildes und die eigene Fremdwahrnehmung haben, da hinsichtlich des im Regelunterricht oft eintretenden BFLP-Effekts durch Kontakt und Vergleich mit ähnlich begabten Schülerinnen und Schülern eine Teilnahme an solchen Enrichmentprogrammen zu einer Relativierung des Selbstbildes und in Folge zu weiterer Lernmotivation führen kann.

Innerhalb des Enrichmentspektrums wird zwischen vertikalen und horizontalen Strategien unterschieden. So werden bei vertikalen Enrichmentmethoden Themen des Pflichtcurriculums vertieft bzw. anschlussfähig erweitert, während bei horizontalen Enrichmentmethoden Themen außerhalb des Pflichtcurriculums im Fokus stehen (Lehmann; Jüling, 2004).

Hinsichtlich der konkreten Formen von Enrichmentstrategien gibt es ganz unterschiedliche Möglichkeiten. Die strukturell gesehen einfachste Variante wäre es, dies direkt in den laufenden Regelunterricht einfließen zu lassen – man spricht dabei von innerer Differenzierung. So können Lehrkräfte etwa bei der Erteilung von Aufgaben während des Unterrichts begabteren Schülerinnen und Schülern schwierigere, komplexere oder umfangreichere Aufgaben zuteilen, als sie durchschnittlich begabte erhalten. Ebenso können Ergänzungsaufträge für besonders schnelle Schülerinnen und Schüler in Aussicht gestellt werden oder bestimmte Hilfestellungen in der Anleitung besonders begabten Schülerinnen und Schülern vorenthalten werden. In den meisten Fällen stellt ein derartig individualisiertes Aufgabenangebot jedoch in der Unterrichtsvorbereitung einen erheblichen Mehraufwand für die Lehrkräfte dar, weshalb leider häufig darauf verzichtet wird. Aus diesem Grund wäre es besonders wünschenswert, wenn derlei differenzierte Aufgabenentwicklungen institutionell erarbeitet und in übersichtlich vernetzten Paketen Lehrkräften für einen Einsatz ohne großen Mehraufwand zur Verfügung gestellt würden (vgl. Weinert, 1998).

Adaptierte Zugänge, welche ebenfalls eine gewisse Entlastung gegenüber einer stundenweisen Vorbereitung für die Lehrkräfte bieten können, sind etwa die Etablierung von Wochenarbeitsplänen in Schulgruppen mit offenem Lernen, oder Projektunterricht. In beiden Fällen können bestimmte Aufgaben als verpflichtend zu absolvieren markiert werden, um die Erfüllung gewisser Mindestanforderungen sicherzustellen, während vertiefende Aufgaben, welche sich beispielsweise auf entdeckendes Lernen oder Problemlösen konzentrieren, zusätzlich bearbeitet werden können. Auch bei Gruppenarbeiten im Unterricht ist es möglich als

Lehrkraft im Sinne der Begabtenförderung gestaltend einzugreifen. So können die einzelnen Gruppen aus möglichst leistungshomogenen Schülerinnen und Schülern gebildet werden, wobei die Ansprüche an die diversen Gruppen mit deren durchschnittlichem Leistungsniveau variieren können, es können aber umgekehrt auch sehr heterogene Gruppen dazu genutzt werden, durch Peerteaching allen Schülerinnen und Schülern individuell gerecht zu werden. Auch ist es denkbar, dass besonders begabte Schülerinnen und Schüler gar keiner Gruppe zugeordnet werden, sondern eine Art Leitungsrolle übernehmen und dabei einzelnen Gruppen mit Erklärungen, Tipps und Anregungen zu weiteren Ideen zur Seite stehen (vgl. Lehmann; Jüling, 2004).

Ein an dieser Stelle zu erwähnender Schulversuch, welcher an einigen Schulen in Österreich bereits seit Jahren sehr erfolgreich durchgeführt wird, ist die sogenannte NOVI, was für Neue Oberstufe mit Verstärkter Individualisierung steht und vor der Einführung der NOST (Neue Oberstufe) unter dem Akronym MOST (Modulare Oberstufe) bekannt war. Im Zuge dieses Schulversuchs wird die Zahl der Wochenstunden für die Bearbeitung des Pflichtcurriculums reduziert und die dadurch freigespielten Wochenstunden in Form von frei von den Schülerinnen und Schülern je nach ihren Interessen und Begabungen wählbaren Modulen angeboten. Besonders begabte Schülerinnen und Schüler haben dabei überdies meist die Möglichkeit, neben den von ihnen gewählten Modulen im Ausmaß des regulären Unterrichtsumfangs noch weitere angebotene Module zu besuchen.

Neben den bisher beschriebenen Methoden zur inneren Differenzierung gibt es auch diverse Fördermöglichkeiten auf Grundlage äußerer Differenzierung. Damit ist gemeint, dass Schülerinnen und Schüler entsprechenden Begabungsniveaus nicht nur zeitweise aus ihren Stammklassen genommen werden, sondern eigens vorgesehene Schulen oder Klassen besuchen, im schulischen Alltag also mehr oder weniger von durchschnittlich begabten Schülerinnen und Schülern separiert werden. Kritikerinnen und Kritiker einer solchen Praxis befürchten dabei neben einer gewissen sozialen Isolation der hierfür ausgewählten Kinder und Jugendlichen, aufgrund fehlender Freundschaften zu weniger begabten Gleichaltrigen, oft auch negative Einflüsse auf die nach einer solchen Extraktion in der ursprünglichen Stammklasse verbleibenden Schülerinnen und Schüler, für welche damit gewisse Vorbilder verloren gehen (vgl. Lehmann; Jüling, 2004). Derartige Bedenken konnten jedoch bisher nicht bestätigt werden (Winner, 1997). Umgekehrt konnten hingegen unter auf diese Weise separierten Schülerinnen und Schülern mitunter deutliche Steigerungen der intellektuellen Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Dies jedoch insbesondere nur dann, wenn damit auch entsprechende Anpassungen des Curriculums einhergingen (Kulik, 1992; Salvin, 1987). Als Beispiel hierzu könnte für Wien die Sir-Karl-Popper-Schule genannt werden, welche als Teil des Wiedner Gymnasiums die Rolle einer solchen quasi-externen Schule für begabtere Schülerinnen und Schüler übernimmt. Ein Einstieg in die Sir-Karl-Popper-Schule ist dabei immer nur zur 5. oder 9. Schulstufe möglich und wie bei den meisten Begabtenklassen oder -schulen dieser Art mit einer Aufnahmetesting verbunden (Sir-Karl-Popper-Schule, 2021).

Abseits dieses Spektrums an schulischen Maßnahmen existiert auch ein breites Feld an außerschulischen Förderstrategien. Zu diesen zählen beispielsweise diverse Arbeitsgemeinschaften, welche oft als unverbindliche Übungen von einzelnen Schulen jedoch häufig schulstandortübergreifend, sowie jahrgangsübergreifend angeboten werden. Hierbei können etwa Themen außerhalb des Pflichtcurriculums in Form von Projekten oder anspruchsvollen und oft offen gestellten Aufgaben allein oder in Gruppen bei regelmäßig stattfindenden Treffen bearbeitet werden. Ein weiterer Unterschied zum Regelunterricht liegt dabei auch auf einem verstärkten Fokus hinsichtlich entdeckenden Lernens, sowie kreativem Problemlösen (vgl. Lehmann; Jüling, 2004). Hany und Heller (1992) berichten neben Zugewinnen an fachlichen Kompetenzen auch von positiven Effekten hinsichtlich selbständiger Arbeiten, sowie einer Förderung sozialer Kompetenzen durch die Zusammenarbeit mit Gleichgesinnten in diesen Arbeitsgemeinschaften. Auch die Arbeitsatmosphäre würde von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern oft als sehr angenehm beschrieben.

Schülerinnen- und Schülerakademien, sowie Sommercamps und ähnliche Formate, stellen hingegen als geblockte Veranstaltungen in den Ferien zusätzliche Optionen für die vertiefende Auseinandersetzung von begabten Schülerinnen und Schülern mit speziellen Themen dar. Je nach Format ist eine Teilnahme an derlei Fördervarianten jedoch wiederum an bestimmte Vorleistungen oder Aufnahmekriterien geknüpft. Nicht zuletzt zählen auch insbesondere Wettbewerbe zu den im Allgemeinen außerschulischen Enrichmentmethoden der Begabtenförderung, wobei diese mitunter auch hinsichtlich Identifikation Hochbegabter eine Rolle spielen können (vgl. Lehmann; Jüling, 2004). Auf diverse Wettbewerbsformate im Bereich Physik in Österreich wird jedoch in Kapitel 2.1.4 noch genauer eingegangen.

Obwohl Enrichmentprogramme oft der Kritik ausgesetzt werden, dass deren Fördereffizienz geringer sei als bei Akzelerationsmaßnahmen, zeigte sich laut Heller (2009), dass auch mit Enrichment deutliche Fördereffekte erreichbar sind (vgl. auch Ziegler, 2017), insbesondere dann, wenn dabei entsprechender Wert auf die Qualität der Auswahlverfahren gelegt wird, ebenso wie auf die Qualität der Förderung hinsichtlich der Themenauswahl, Didaktik und der Unterrichtsqualifikation der Kursleiterinnen oder Kursleiter und durch das Enrichmentprogramm kontinuierlich und über einen längeren Zeitraum hinweg gefördert wird. Zu ähnlichen Schlüssen kommen auch Lehmann und Jüling (2004) und ergänzen, dass eine nicht zu übersehende Voraussetzung für die erfolgreiche Teilnahme von Schülerinnen und Schülern an diversen Enrichmentprogrammen, insbesondere außerschulischer Natur, die grundlegende Kenntnis von Schülerinnen und Schülern über die Existenz dieser Angebote ist. Betreffend die Bereitstellung dieser Informationen zu Möglichkeiten, etwaigen Fristen und Aufnahmekriterien kommt den Lehrerinnen und Lehrern neuerlich eine entscheidende Rolle zu. Zumindest Hellers zweit- und drittgenannte Voraussetzung sollte bei Physikolympiade-Vorbereitungskursen jedenfalls erfüllt sein, da diese in der Regel von Physiklehrkräften im gymnasialen Bereich meist wöchentlich gehalten werden und diverse Vernetzungs- und Fortbildungstreffen zu einer weiterführenden Professionalisierung beitragen (mehr dazu in Kap. 2.2.1). Auch das bereits mehrfach erwähnte Hector-Seminar, welches bislang nur in Nordbaden (Deutschland) etabliert wurde (Hector-Seminar, 2021), richtet sich an Schülerinnen und Schüler ab der 6. Schulstufe und sieht eine sieben- bis

achtjährige wöchentliche Teilnahme der Schülerinnen und Schüler während deren gesamter Gymnasialzeit hindurch vor. Die Förderbereiche decken dabei den gesamten MINT-Bereich ab und kommen in etwa den besten 1-2 % der Gymnasialschülerinnen und -schüler des Einzugsgebiets zugute, sofern sich diese für das Seminar beworben haben (Heller, 2009).

Pull-Out-Programme:

Lehmann und Jüling (2004) sprechen von Pull-Out-Programmen, wenn Förderstunden so angelegt sind, dass möglichst leistungshomogene Gruppen klassenübergreifend angelegt werden, in welchen dann auch auf höher begabte Schülerinnen und Schüler entsprechend eingegangen werden kann. Allgemein geht es bei Pull-Out-Programmen darum, überdurchschnittlich hochleistende Schülerinnen und Schüler zu regelmäßigen Zeiten aus dem Klassenverband herauszuziehen und sie in Form einer Enrichmentmaßnahme einem speziellen, strukturierten Curriculum zuzuführen (vgl. Ziegler, 2017). Ziegler bemängelt hierbei jedoch, dass Hochbegabte nicht bloß zu bestimmten Zeiten, sondern durchgehend hochbegabt seien und demnach auch ein permanent angewandtes eigenes Curriculum benötigten.

Obwohl es also an grundsätzlichen Ideen für unterschiedliche Fördermaßnahmen nicht unbedingt mangelt, ließen sich mit den beschriebenen, traditionellen Förderansätzen bisher noch nicht so hohe Fortschritte nachweisen, wie von manchen erwünscht. In Schulnoten ausgedrückt, wobei eine derartige Quantifizierung jedenfalls sehr kritisch hinterfragt werden darf, reichten diese von durchschnittlich 0,2 Notengrade durch Leistungsgruppen bis 0,5 Notengrade durch Akzelerationsmaßnahmen (Lipsey; Wilson, 1993). Aus diesem Grund wird mitunter versucht, durch gezielte Kombination dieser traditionell zur Verfügung stehenden Maßnahmen noch bessere Ergebnisse zu erzielen. Callahan und Miller (2005) verfolgten beispielsweise eine Idee der Differenzierung hochbegabter Kinder und Jugendlicher in ‚*problemlösende Innovatoren*‘ und ‚*akademische Aktivisten*‘. Erstere seien dabei insbesondere an neuartigen Herausforderungen und selbständigen Lösungsansätzen interessiert, dem in offenen Unterrichtsformen mit Fokus auf problemlösendem Lernen nachgegangen werden kann, insbesondere, wenn sich die Unterrichtsgestaltung vermehrt an Ergebnissen und Ansätzen der Schülerinnen und Schüler selbst orientiert. Die andere Gruppe Hochbegabter nach Callahan und Miller hat ihre Stärken hingegen eher in der Aneignung von vorgelegtem Wissen. Ihnen kommen akzelerierende Maßnahmen durch einen schnelleren und zugleich hochwertigeren Durchlauf des Curriculums eher entgegen.

Abseits der Fördereffizienz diverser Maßnahmen muss jedoch gerade im MINT-Bereich auch leider immer noch auf die Unterbesetzung mit Mädchen in entsprechenden Förderprogrammen eingegangen werden. Heller (2009) verweist diesbezüglich auf eine Studie von Lubinski und Benbow (2002), nach welcher Mädchen und Frauen in MINT-Fächern kaum bis nicht weniger begabt sind als Burschen und Männer. Daher sollte das Augenmerk insgesamt vermehrt auf Motivation und Selbstkonzept gelegt und bei diversen Fördermaßnahmen beispielsweise auch auf eine geschlechterfaire Themenauswahl geachtet werden.

Was Kritikerinnen und Kritikern von Förderprogrammen sowie den durchaus vertretenen Studien, welche vererbte Einflüsse auf den Begabungsgrad von Kindern und Jugendlichen als zumindest existent nahelegen (vgl. Ziegler, 2017, S. 85), entgegengehalten werden kann, ist beispielsweise die Flynn-Studie (Flynn, 1984), in welcher über die zurückliegenden Jahrzehnte ein globaler, durchschnittlicher, jährlicher Zuwachs von 0,3 Punkten betreffend des IQ festgestellt werden konnte, was unter dem Namen Flynn-Effekt bekannt ist. Da eine derartig rasante und räumlich ausgebreitet erscheinende Veränderung des Erbgutes jedoch ausgeschlossen werden kann, sei dies auf die zunehmend besser gewordenen Lernumstände und -umgebungen zurückzuführen (vgl. Ziegler, 2017).

Ziegler stellt letztlich als Orientierung für Begabtenförderungsmaßnahmen vier Prinzipien auf gesellschaftlicher Ebene und vier Dimensionen auf individueller Ebene vor. Im ersten Fall gehe es um Professionalisierung, Aktiotop-Entwicklung, Spezialisierung (Commitment) und einen frühen Beginn (Early Beginning), welche er als PACE-Prinzipien zusammenfasste (Ziegler, 2006). Gemeint ist damit Folgendes: Zunächst sollte die Gesellschaft für höher professionalisierte Lernbegleiter der Heranwachsenden sorgen; sei dies nun hinsichtlich der universitären Ausbildung von Lehrpersonen und darin eingebetteten Lehrveranstaltungen zum Thema Begabungsförderung, die Bereitstellung entsprechend ausgebildeter Fachlehrkräfte während der Nachmittagsbetreuung von Kindern oder die Aufstockung an Schulpsychologinnen und Schulpsychologen, auf dass diese auch die Zeit und Möglichkeit erhalten, sich umfassender mit der Begabungsidentifikation bei Schülerinnen und Schülern auseinander zu setzen. Hinsichtlich der Aktiotop-Entwicklung gehe es vor allem um die Abstimmung des Gesamtumfeldes von Kindern und Jugendlichen auf deren Bedürfnisse. Während einzelne, punktuelle Maßnahmen nur geringeren Einfluss auf die Begabungsförderung haben, ließe sich dies in Gesamtkonzepten deutlich verbessern. Hinsichtlich der Spezialisierung sei es in manchen Intelligenzbereichen wie Sport oder Musik selbstverständlich, dass Leistungsexzellenz jeweils nur in einem oder wenigen Spezialbereichen gelingen kann. Im schulischen Alltag fehlen derartige Spezialisierungsmöglichkeiten jedoch oft. Und nicht zuletzt aufgrund der Dauer, die es schlicht benötigt, um in einem Spezialgebiet Leistungsexzellenz zu erlangen, sollte die Möglichkeit zur intensiven Auseinandersetzung mit Interessensgebieten schon früh, idealerweise spätestens ab dem sechsten Lebensjahr, zur Verfügung stehen und gegebenenfalls angenommen werden.

Auf individueller Ebene lassen sich die von Ziegler vorgestellten Ansprüche für gelingende Begabungsförderung unter dem Akronym GIFT – Verbesserungsorientiertes (goal directed) Lernen, Individualisierung, Feedback und Transferaufgaben – zusammenfassen. Demzufolge ist es wichtig, die Lern- und Übungszeiten konzentriert und verbesserungsorientiert zu nutzen. So gibt man bei der Bearbeitung diverser Aufgaben meist nicht sein Bestes, rechnet etwa langsamer und unkonzentrierter, als man es in Hochleistungsphasen könnte, da sich eine Art Balance zwischen Aufwand und Arbeitserfolg einstellt. Verbesserungen würden jedoch erst dann nachhaltig eintreten können, wenn man stattdessen auf hohem Niveau operiert. Ziel sollte es dabei sein, Übungsaufgaben nicht zu absolvieren, um sie gemacht zu haben, sondern um dabei die eigenen Kompetenzen auszubauen. Ebenso bedarf es einer verstärkten Individualisierung der Lehrprozesse. Ein

1:1-Betreungsverhältnis wäre hierbei am effektivsten und könne auch zu erheblichen Leistungssteigerungen führen (vgl. Bloom, 1984). Hier muss wohl aus bildungsökonomischer Sicht ein Mittelweg aus Angebot und Nachfrage gefunden werden. Ebenso bedeutsam ist für eine zielstrebige Begabungsförderung individuelles und häufiges Feedback dazu, wie sich die Lernenden von ihrem aktuellen Stand aus weiter verbessern können, sowie der Einbau von Transferübungen, in welchen Lernenden vor allem die Übung gegeben wird, Gelerntes in unterschiedlichen, immer neuen Settings einzusetzen oder zu adaptieren (vgl. Ziegler, 2017).

Nicht zuletzt müssen begabte Schülerinnen und Schüler die breitgestellten Förderangebote aber erst auch annehmen und mitunter bereit sein, zusätzlich zu den regulären schulischen Herausforderungen über Jahre hinweg wöchentlich zusätzliche Leistungen zu erbringen. Ein Hauptziel für die Begabtenförderung muss es daher auch schlichtweg sein, die Motivation zur Beschäftigung und Leistungserbringung in diesen Bereichen zu fördern (vgl. Heller, 2009).

2.1.4 Wettbewerbe im Bereich Physik

Ziel von Schülerinnen- und Schülerwettbewerben im Allgemeinen ist es, einen Impuls zur mitunter auch längerfristigen und intensiven Beschäftigung mit bestimmten Themen zu setzen. Während manche Wettbewerbe, wie etwa Olympiaden in Mathematik, Physik und Chemie, grundsätzlich als Klausuren mit einheitlichen Rahmenbedingungen betreffend Aufgabenstellungen, Arbeitszeit und erlaubter Materialien abgehalten werden, geht es bei anderen Wettbewerben um die Ausarbeitung und Einreichung bestimmter Projektergebnisse, bei deren Themenwahl den Teilnehmerinnen und Teilnehmern oft großzügige Freiheiten gelassen werden und deren Bearbeitung meist in Gruppen, manchmal auch mit Unterstützung Erwachsener, mit keinem festgelegten Arbeitszeitpensum gedeckelt ist. Weiters lassen sich unter den Wettbewerben jene mit einmaligen und zeitlich stark begrenzten Durchführungszeiträumen von solchen unterscheiden, bei denen begleitende Arbeitsgemeinschaften zur Vorbereitung beziehungsweise Arbeit an den Wettbewerbsthemen vorgesehen sind, was sich in den meisten Fällen positiv auf den Fördereffekt solcher Wettbewerbe auswirkt. Ein drittes strukturelles Unterscheidungsmerkmal zwischen den unterschiedlichen Wettbewerben findet sich darin, ob diese einmalig und als Sammelveranstaltung für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer stattfinden oder in verschiedenen Stufen durchgeführt werden, wie dies bei besagten Olympiaden mit regionalen, nationalen und internationalen Ebenen der Fall ist (vgl. Lehmann; Jüling, 2004).

Im Folgenden sollen einige, vorwiegend insbesondere in Österreich zur Verfügung stehende Wettbewerbe kurz vorgestellt werden (angeführte URLs zu den jeweiligen Internetauftritten wurden zuletzt aufgerufen am 20.03.2021).

Wettbewerb / Titel: Austrian Young Physicists' Tournament - AYPT		
<i>Region:</i> Österreich + begrenzt internationale Teams	<i>Zielgruppe:</i> Sekundarstufe II	<i>Internetauftritt:</i> https://www.aypt.at/new/index_de.html
<i>Art der Leistungserbringung:</i> „Physics Fights“ – Präsentation, Kritik, Verteidigung und Bewertung selbsterarbeiteter Lösungen zu physikalischen Fragestellungen		<i>Soziale Gruppe:</i> Teams von bis zu drei Schülerinnen oder Schülern + eine Teamleaderin oder ein Teamleader, welche beziehungsweise welcher jedoch nicht an den „Physics Fights“ teilnimmt
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Grundsätzlich keine – es wird auf Eigeninitiative gesetzt. Es stehen jedoch zahlreiche Referenzen zu den einzelnen Aufgabenstellungen, sowie Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner für fachliche Fragen zur Verfügung.		<i>Besonderheiten:</i> Die „Physics Fights“ finden in englischer Sprache statt. Bewertet wird die Performance der Teams hinsichtlich Präsentation, Argumentation, Kritik und wissenschaftlicher Bewertung. Die besten fünf österreichischen Schülerinnen oder Schüler werden für das International Young Physicists' Tournament nominiert.
<i>Kurzbeschreibung:</i> Jeweils zu Schuljahresbeginn werden insgesamt 17 naturwissenschaftliche / physikalische Problemstellungen veröffentlicht, deren Angabe bewusst knapp und offen gehalten wird. Teams von bis zu drei Schülerinnen und Schülern können sich daraufhin formieren und mit der Unterstützung einer Teamleaderin oder eines Teamleaders Experimente, Untersuchungen und Recherchen zu den Themen beginnen. Beim eigentlichen Wettbewerb, welcher im Zuge eines dreitägigen Aufenthalts im Frühling des Schuljahres an der Montanuniversität in Leoben abgehalten wird, treten die Teams in mehreren Dreierkonstellationen in sogenannten <i>Physics Fights</i> gegeneinander an. Dabei nehmen die einzelnen Teams abwechselnd je eine der Rollen <i>Reporter</i> , <i>Opponent</i> oder <i>Reviewer</i> ein. Aufgabe des Reporter-Teams ist es zunächst eine Lösung zu einer der 17 Aufgabenstellungen zu präsentieren. Im Anschluss daran stellt das Opponent-Team Fragen dazu an das Reporter-Team und geht auf ihrer Einschätzung nach gelungene, sowie mangelhafte Aspekte der Lösung ein. Nach einem Austausch der beiden Teams kommt auch das Reviewer-Team zu Wort, stellt weitere Fragen an die beiden Teams und bewertet deren Performance. Sämtliche Präsentationen und Diskussionen finden dabei auf Englisch statt. Eine Fachjury vergibt letztlich nach der Option weitere Fragen an die Teams zu stellen Punkte und nominiert die fünf besten österreichischen Schülerinnen oder Schüler für die Teilnahme am International Young Physicists' Tournament.		

Wettbewerb / Titel: Beamline For Schools – BL4S		
<i>Region:</i> weltweit	<i>Zielgruppe:</i> Sekundarstufe II	<i>Internetauftritt:</i> https://beamlinefor-schools.cern
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Projekteinreichung		<i>Soziale Gruppe:</i> Teams von mindestens fünf Schülerinnen und Schülern und mindestens einem erwachsenen Teamcoach
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> keine		<i>Besonderheiten:</i> Die beiden Siegerteams werden für einen zweiwöchigen Aufenthalt an eine Teilchenbeschleunigereinrichtung (CERN, DESY) eingeladen und dürfen dort ihr Einreichprojekt durchführen.
<i>Kurzbeschreibung:</i> Schülerinnen und Schüler ab 16 Jahren werden vom CERN einmal jährlich eingeladen sich in Teams mit der Physik hinter Teilchenbeschleunigern zu beschäftigen und ein Experiment zu planen, welches an einem Teilchenbeschleuniger durchgeführt werden kann. Die Projektplanung wird schriftlich und in Form einer Vorstellung des Experiments in einem Video eingereicht. Die beiden Gewinnerteams dürfen ihr Experiment schließlich am CERN oder DESY auch durchführen.		

Wettbewerb / Titel: Citizen Science Award		
<i>Region:</i> Österreich	<i>Zielgruppe:</i> Primarstufe, Sekundarstufe I, Sekundarstufe II	<i>Internetauftritt:</i> https://youngscience.at/de/awards-und-guetesiegel/citizen-science-award/
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Datenerhebung	<i>Soziale Gruppe:</i> Klassenverband / auch Einzelpersonen (Kinder oder Erwachsene) möglich	
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Informationsmaterialien, Workshops, betreute Forschungsteams. Forschungs- bzw. Wettbewerbszeitraum rund drei Monate.	<i>Besonderheiten:</i> Angeboten wird meist die Mitarbeit bei unterschiedlichsten, wissenschaftlichen Forschungsprojekten in Form von Datenerhebungen. Die Daten können dabei oft bei Exkursionen, nebenbei oder auch nur mit etwas Glück gesammelt werden.	

Kurzbeschreibung:

Meist handelt es sich hierbei um Projekte, die zwecks Datenerhebung auf die Mitwirkung zahlreicher Menschen aus unterschiedlichsten Gegenden angewiesen sind. Daher richten sich die meisten dieser Projekte sowohl an Schulklassen als auch an Einzelpersonen wie Lehrkräfte, Familien oder andere Personen. Im Zuge einer Mitarbeit an den Projekten können Schülerinnen und Schüler Wissenschaft und Alltag miteinander verknüpfen, oft tatsächlich relevante Beiträge leisten, sich mit bis dahin vielleicht weniger beachteten Themen auseinandersetzen und mit herausragenden eingereichten Beiträgen auch etwas gewinnen.

Wettbewerb / Titel:**Europäische Physikolympiade - EuPhO****Region:**

weltweit

Zielgruppe:

Sekundarstufe II

Internetauftritt:<https://eupho.ee>**Art der Leistungserbringung:**

Experimentelle und theoretische Klausur

Soziale Gruppe:

Einzelarbeit

Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:

keine

Besonderheiten:

Siehe Kap. 2.2

Kurzbeschreibung:

Siehe Kap. 2.2

Wettbewerb / Titel:**European Union Science Olympiad - EUSO****Region:**

Europäische Union

Zielgruppe:

Sekundarstufe I, Sekundarstufe II bis 16 Jahre

Internetauftritt:<http://euso.eu>**Art der Leistungserbringung:**

Mehrtägige, experimentelle Projektarbeit (Klausur)

Soziale Gruppe:

Gruppenarbeit (sechs Teilnehmerinnen oder Teilnehmer pro Land)

Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:

Optionales Vorbereitungstraining – maximal zwei Wochen

Besonderheiten:

Fächerübergreifender Wettbewerb mit praxisbezogenen Aufgabenstellungen zu Physik, Chemie und Biologie

Kurzbeschreibung:

Im Zuge eines einwöchigen Aufenthalts zur EUSO erhalten die aus sechs Mitgliedern bestehenden EU-Mitgliedsstaats-Delegationen im Alter von 16 Jahren oder jünger zwei Aufgabenstellungen, welchen unter anderem in Labors mittels Methoden der Physik, Chemie und Biologie als Team

nachgegangen werden soll. Pro Aufgabenstellung ist ein Bearbeitungstag vorgesehen. Neben einem Verein zur Förderung naturwissenschaftlich begabter junger Menschen versteht sich die EUSO auch als Vorbereitung für die jeweiligen fachspezifischen, internationalen Olympiaden.

Wettbewerb / Titel: Internationale Physikolympiade - IPhO		
Region: weltweit	Zielgruppe: Sekundarstufe II	Internetauftritt: https://www.ipho-new.org
Art der Leistungserbringung: Experimentelle Klausur und theoretische Klausur		Soziale Gruppe: Einzelarbeit
Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum: Fünftägiges Spezialtraining bei Qualifikation über die Österreichische Physikolympiade		Besonderheiten: Siehe Kap. 2.2
Kurzbeschreibung: Siehe Kap. 2.2		

Wettbewerb / Titel: International Young Physicists' Tournament - IYPT		
Region: Weltweit	Zielgruppe: Sekundarstufe II	Internetauftritt: https://www.iypt.org
Art der Leistungserbringung: Siehe AYPT		Soziale Gruppe: Pro Teilnehmerland ist ein Team bestehend aus fünf Schülerinnen und Schülern gestattet.
Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum: Nationale Nominierung		Besonderheiten: Neben physikalischen und darüber hinausgehenden naturwissenschaftlichen Kompetenzen werden den Jugendlichen auch Kompetenzen in Englisch, sowie Rhetorik abverlangt. Der Wettbewerb versucht den Jugendlichen ein Eintauchen in eine Form der Scientific Community zu ermöglichen.
Kurzbeschreibung: Siehe AYPT		

<i>Wettbewerb / Titel:</i> Jugend forscht / Schüler experimentieren		
<i>Region:</i> Deutschland	<i>Zielgruppe:</i> Sekundarstufe I, Sekundarstufe II	<i>Internetauftritt:</i> https://www.jugendforscht.de
<i>Art der Leistungserbringung:</i> schriftliche Projekteinreichung, Gestaltung eines Projektstandes, Präsentation und Jurygespräch		<i>Soziale Gruppe:</i> Einzelprojekt; Zweier- oder Dreier-Gruppen
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Zur Projektbetreuung werden Mentorinnen und Mentoren gesucht. Sofern sich hierfür keine Fachlehrkräfte aus dem eigenen Schulbereich finden, können Projekt-Coaches über Jugendforschungszentren oder die Regionalwettbewerbsleitung vermittelt werden.		<i>Besonderheiten:</i> Wettbewerbsrunden auf Regional-, Landes- und Bundesebene;
<i>Kurzbeschreibung:</i> Mit Unterstützung durch die Projektbetreuung erarbeiten Jugendliche eigene Projektideen zu Themenbereichen der aktuellen Forschung im MINT-Bereich. Dazu ist eine bestimmten formalen Vorgaben entsprechende schriftliche Arbeit einzureichen. Darüber hinaus gestalten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer für die Wettbewerbsrunden einen Projektstand, präsentieren dort ihr Projekt und stellen sich den Fragen einer Fachjury. Die Gesamtbeurteilung erfolgt auf Grundlage all dieser Leistungen.		

<i>Wettbewerb / Titel:</i> Jugend forscht in der Technik		
<i>Region:</i> Tirol	<i>Zielgruppe:</i> Primarstufe, Sekundarstufe I	<i>Internetauftritt:</i> https://www.wko.at/site/Jufo-tech/start.html
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Projekteinreichung, Projektpräsentation bei der Abschlussveranstaltung		<i>Soziale Gruppe:</i> Einzel- Gruppen- oder Klassenarbeit
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Erwachsene, selbst zu organisierende Betreuungsperson während des Projekts		<i>Besonderheiten:</i> Dies und jenes, ...

Kurzbeschreibung:

Schülerinnen und Schüler können für diesen Wettbewerb Forschungsprojektideen aus den Bereichen Technik, Informatik, Mathematik, Umwelttechnik, Chemie und Physik einreichen. Bei Annahme einer Projektidee kann das Projekt durchgeführt und ein schriftlicher Bericht dazu abgegeben werden. Im Zuge einer Abschlussveranstaltung werden die Projektergebnisse durch die Schülerinnen und Schüler nochmals präsentiert und abschließend bewertet.

Wettbewerb / Titel:**Jugend Innovativ****Region:**

Österreich

Zielgruppe:

Sekundarstufe II

Internetauftritt:

<https://www.jugendinnovativ.at>

Art der Leistungserbringung:

Projekteinreichung

Soziale Gruppe:

Einzel-, Gruppen- oder Klassenarbeit; max. 2-4 Gruppenmitglieder bei physischen Veranstaltungen (zB Bundes-Finale)

Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:

Angebote zu Praxisworkshops für Schülerinnen und Schüler, sowie zu Weiterbildungsmaßnahmen für Lehrkräfte mit Fokus auf Innovation und Kreativität

Besonderheiten:

Siegerinnen und Sieger des Bundesfinales haben die Möglichkeit zur Teilnahme an weiterführenden internationalen Wettbewerben dieser Art.

Kurzbeschreibung:

Die äußerst frei angesetzten Rahmenbedingungen des Wettbewerbs Jugend Innovativ bietet Jugendlichen die Möglichkeit innovative Ideen aus unterschiedlichsten Fachbereichen in Form eines Projekts zu entwickeln und einzureichen. Da die beabsichtigte Form der Projektbegleitung vorrangig auf Lehrpersonen gerichtet ist, werden für diese eigene Weiterbildungsangebote bereitgestellt.

Wettbewerb / Titel:**Masterclasses – hands on particle physics****Region:**

Österreich / International

Zielgruppe:

Sekundarstufe II

Internetauftritt:

<https://www.oeaw.ac.at/hep/hy/ausbildung/lehrerinnen-schuelerinnen/masterclasses-schuelerinnen/>

Art der Leistungserbringung:

Nominierung durch (Physik-) Lehrkraft basierend auf besonderem Interesse

Soziale Gruppe:

(2er-) Gruppen

<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Ganzjährig begleitende Arbeitsgemeinschaft / ...	<i>Besonderheiten:</i> Auswertung echter experimenteller Daten vom LHC (CERN)
<i>Kurzbeschreibung:</i> Bei angenommener Nominierung soll man einen Tag in der Rolle einer Teilchenphysikerin oder eines Teilchenphysikers erleben dürfen. Nach Einladung an ein partizipierendes Institut (in Wien: Institut für Hochenergiephysik - HEPHY oder Stefan Meyer Institut – SMI) erhalten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zunächst eine theoretische Einführung in das Standardmodell, sowie in aktuelle Forschungsergebnisse und dürfen anschließend echte Messdaten des LHC (CERN) in 2er-Teams auswerten. Preise sind die Teilnahme am Workshop, sowie eine Urkunde.	

Wettbewerb / Titel: Mystery Challenge		
Region: Österreich	Zielgruppe: Primarstufe, Sekundarstufe I, Sekundarstufe II	Internetauftritt: https://www.waltzingatoms.com/de/mystery-challenge
Art der Leistungserbringung: Videoeinreichung		Soziale Gruppe: Klassenverband
Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum: keine		Besonderheiten: Sehr offenes Aufgabenformat
Kurzbeschreibung: Bei diesem einmal jährlich stattfindenden Video-Wettbewerb wird aus den Bereichen Physik, Chemie, Mathematik und Informatik jeweils ein sehr breit angesetztes Themengebiet vorgegeben, zu welchem Schulklassen beispielsweise in Form eines Projekts ein vierminütiges, kreatives und lustiges Video erstellen und einreichen können.		

<i>Wettbewerb / Titel:</i> Österreichische Physikolympiade - ÖPHO		
<i>Region:</i> Österreich	<i>Zielgruppe:</i> Sekundarstufe II (Sekundarstufe I)	<i>Internetauftritt:</i> http://www.physikolympiade.at/index.php
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Klausuren auf mehreren Ebenen	<i>Soziale Gruppe:</i> Einzelarbeit bei den Klausuren; meist Teamarbeit zu zweit in den Arbeitsgemeinschaften	

<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Ganzjährig begleitende Arbeitsgemeinschaft Vierzehntägiger Intensivtrainingskurs bei Qualifikation zum Bundeswettbewerb	<i>Besonderheiten:</i> Siehe Kap. 2.2
<i>Kurzbeschreibung:</i> Siehe Kap. 2.2	

Wettbewerb / Titel: Papierfliegerwettbewerb		
Region: Wien	Zielgruppe: Grundschule Sekundarstufe I	Internetauftritt: https://www.vhs.at/de/e/planetarium/papierfliegerwettbewerb
Art der Leistungserbringung: Weitwurf eines selbstgebastelten Papierfliegers		Soziale Gruppe: Schülerinnen und Schüler treten im Klassenverband gegeneinander an.
Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum: Angebot eines Trainings-Workshops für Lehrkräfte betreffend physikalischer Effekte bei Papierfliegern.		Besonderheiten: Antritt im Klassenverband – gegenseitige Unterstützung und Peerteaching
Kurzbeschreibung: Im Vorfeld des Wettbewerbs sollten mit der Lehrkraft diverse Falt- und Wurftechniken geübt, sowie die dahinterliegenden physikalischen Phänomene besprochen und genutzt werden. Beim Wettbewerb selbst treten Klassen in vier Kategorien – 1.+2. Schulstufe, 3.+4. Schulstufe, 5.-8. Schulstufe, Klassen aus den Bereichen Inklusion, Diversität und Sonderpädagogik – gegeneinander an. Jede Klasse hat 20 Minuten Zeit, um Papierflieger zu basteln. Anschließend darf jede Schülerin und jeder Schüler einen dieser gebastelten Flieger werfen. Die Wurfweiten der Schülerinnen und Schüler einer Klasse werden aufsummiert und ergeben den Punktestand der Klasse.		

<i>Wettbewerb / Titel:</i> Physik im Advent		
<i>Region:</i> weltweit	<i>Zielgruppe:</i> Sekundarstufe I, Sekundarstufe II	<i>Internetauftritt:</i> https://www.physik-im-advent.de
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Tägliche Multiple-Choice-Frage online zu beantworten	<i>Soziale Gruppe:</i> Einzel-, Gruppen-, Klassen- oder Schulteilnahme	

<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Tägliche Aufgabenstellung und Lösungsvideo zur Aufgabe des Vortags während des Advents	<i>Besonderheiten:</i> Täglich experimentell zu untersuchende Aufgabenstellungen; einfache Materialien für die Durchführung daheim.	
<i>Kurzbeschreibung:</i> Per Video-Clip wird im Advent täglich ein Experiment zum Nachmachen vorgestellt. Per Beantwortung einer dazugehörigen Multiple-Choice-Frage über das Online-Portal am selben Tag können Punkte für den Wettbewerb gesammelt werden. Schülerinnen und Schüler zwischen 11 und 18 Jahren können dabei allein oder im von Lehrpersonen angemeldeten Klassen- oder Schulverband teilnehmen. Alle Angaben werden sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch bereitgestellt.		
<i>Wettbewerb / Titel:</i> Technikerinnen der Zukunft		
<i>Region:</i> Österreich	<i>Zielgruppe:</i> Sekundarstufe II	<i>Internetauftritt:</i> https://www.tuaustria.ac.at/veranstaltungen/preise/tu-austria-maedchenpreise-2021
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Ideenentwicklung und -beschreibung, Videoeinreichung		<i>Soziale Gruppe:</i> Einzelpräsentation, Einzel- oder Gruppenarbeit
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Ganzjährig begleitende Arbeitsgemeinschaft / ...	<i>Besonderheiten:</i> Nur für Schülerinnen (nicht Schüler); Die 10 Bestplatzierten nehmen am TU Austria Kongress teil.	
<i>Kurzbeschreibung:</i> Im Zuge dieses Wettbewerbs sollen zukunftsrelevante Technologien zu einem bestimmten Themenbereich von Schülerinnen angedacht beziehungsweise entwickelt und vorgestellt werden. Auf einem Kongress können die Gewinnerinnen ihre Ideen präsentieren, weitere Workshops besuchen und Kontakte knüpfen. Veranstaltet werden der Wettbewerb und der Kongress von der TU Wien, der TU Graz und der Montanuniversität Leoben.		

Wettbewerb / Titel: Videowettbewerb International Space Camp		
<i>Region:</i> Österreich	<i>Zielgruppe:</i> Sekundarstufe II	<i>Internetauftritt:</i> https://www.fti-re-mixed.at/2020/02/17/video-wettbewerb-gewinne-ein-astronautentraining-in-den-usa/
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Zwei- bis vierminütiges Bewerbungsvideo auf Englisch einreichen		<i>Soziale Gruppe:</i> Einzelarbeit
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> keine		<i>Besonderheiten:</i> Die beiden Bestplatzierten gewinnen einen geförderten, einwöchigen Aufenthalt im Space Camp – Space & Rocket Center, Huntsville, Alabama, USA.
<i>Kurzbeschreibung:</i> Die Bewerbungsvideos sollen die Interessen und Vorkenntnisse der Teilnehmenden hinsichtlich Raumfahrt darlegen, sowie deren Englischkenntnisse demonstrieren. Die beiden Bestplatzierten reisen gemeinsam mit einer Lehrkraft in die USA, wo sie im Zuge des Space Camps wissenschaftliche, technische und mathematische Erfahrungen betreffend Raumfahrt sammeln können. Ein Beispiel dafür wäre eine durchspielte Simulation einer Raumfahrtmission zur International Space Station.		

Wettbewerb / Titel: VWA - Wettbewerbe		
<i>Region:</i> Österreich	<i>Zielgruppe:</i> 12. Schulstufe	<i>Internetauftritt:</i> https://www.ahs-vwa.at/lehrpersonen/wettbewerbe-und-preise
<i>Art der Leistungserbringung:</i> Vorwissenschaftliche Arbeit erfüllt bestimmte Kriterien		<i>Soziale Gruppe:</i> Einzelarbeit (Betreuungslehrkraft)
<i>Begleitende Fördermaßnahmen / Förderzeitraum:</i> Meist nur durch die Betreuungslehrkraft an der Schule. In Einzelfällen werden weitere Begleitmaßnahmen geboten, wie etwa beim Young Science Inspiration Award.		<i>Besonderheiten:</i> Ohnedies verpflichtend zu verfassende vorwissenschaftliche Arbeiten können bei diversen Ausschreibungen eingereicht werden. Es entsteht daher kaum Mehraufwand.

Kurzbeschreibung:

Vorwissenschaftliche Arbeiten zu bestimmten Themen und Fachbereichen können bei unterschiedlichen Ausschreibungen eingereicht werden. Meist werden Geld- und Sachpreise in Aussicht gestellt. Neben bundeslandspezifischen Wettbewerben können an österreichweiten und physikbezogenen Ausschreibungen beispielsweise folgende genannt werden: VWA Wettbewerb: Umweltmanagement und Klimaschutz (FH Joanneum); VWA-Wettbewerb Luftfahrtpreis (FH Joanneum); Dr. Hans Riegel-Fachpreise (Privatstiftung Kaiserschild); Young Science Inspiration Award (BMBWF); Prämierung Vorwissenschaftlicher Arbeiten aus Physik (Österreichische Physikalische Gesellschaft); VWA-Preis Elektrotechnik ETIT (TU Graz).

2.2 Physikolympiade

Wie in den vorangegangenen Kapiteln 2.1.2 und 2.1.3 bereits dargelegt, können Wettbewerbe wie die Physikolympiade mitunter eine Rolle bei der Identifikation hochbegabter Schülerinnen und Schüler spielen. Anders als viele andere Wettbewerbe aus MINT-Bereichen (vgl. Kap. 2.1.4) geht eine Teilnahme an der Physikolympiade in Österreich jedoch im Regelfall mit dem Besuch eines Vorbereitungskurses einher, im Zuge dessen sich Schülerinnen und Schüler in meist wöchentlich zusammentreffenden Arbeitsgemeinschaften im Experimentieren und Bearbeiten von physikalischen Aufgabenstellungen üben. Gerade diese, hinsichtlich Üben und Lernen gegebene Regelmäßigkeit und Kontinuität sieht nicht nur Heller (2009) als wichtigen Baustein für gelungene und effektive Enrichmentprogramme an (vgl. Kap. 2.1.3). Durch die Möglichkeit für Schülerinnen und Schüler über mehrere Jahre hinweg an Physikolympiaden und den begleitenden Vorbereitungskursen teilnehmen zu können, wird in Summe auch einer zweiten Forderung von Heller (2009), nämlich der Förderung über einen längeren Zeitraum hinweg, Rechnung getragen.

Vor diesem Hintergrund stellt die Physikolympiade also einen wichtigen Bestandteil einer Förderlandschaft für Hochbegabte im Bereich Physik dar und kann angesichts des sowohl für den Wettbewerb selbst als auch für die Vorbereitungskurse geschaffenen Umfeldes, in welchem außergewöhnliche Leistungen positiv wahrgenommen und gefördert werden, auch hinsichtlich Problematiken wie Underachievement oder Streber-Angst vorbeugend bzw. vermeidend wirken. Dazu ermöglichen insbesondere kleine Gruppengrößen in Vorbereitungskursen eine vermehrt individualisierte Betreuung der Schülerinnen und Schüler, als dies im Regelunterricht oft möglich ist und können auf diese Weise einen weiteren wichtigen Beitrag zur Begabtenförderung leisten. Kleine Gruppen lassen aber auch hinsichtlich des Aufgabenstellungsangebots an die Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmer mehr Flexibilität für die Betreuungslehrkräfte offen. Während es im Regelunterricht bei der Betreuung großer Klassen rein organisatorisch, aber auch betreffend den Arbeitsaufwand, oft unmöglich ist, den einzelnen Schülerinnen und Schülern individuell auf sie zugeschnittene Aufgabenstellungen anzubieten, welche genau an deren individuellem Vorwissen anschließen und somit eine Basis für einen effektiven Lernprozess darstellen, kann eine dahingehende Differenzierung im

Aufgabenangebot für kleinere Gruppengrößen durchaus umgesetzt werden. In Kombination mit einem verstärkten Aufgabenfokus auf eigenständiges Arbeiten ergibt sich auf diese Weise meist eine Lehrsituation, in welcher die Lehrkraft zwischen den einzelnen Arbeitskleingruppen pendeln und diese höchst individualisiert betreuen kann (vgl. Reichle, 2004 in Kap. 2.1.2). Gegebenenfalls kann eine derart individualisierte Aufgabenzuteilung in Physikolympiade-Vorbereitungskursen auch im Zusammenspiel zwischen Schülerinnen und Schülern mit der Lehrkraft erfolgen. So könnte die Lehrkraft eine Vorauswahl an individuell zu empfehlenden Aufgabenstellungen, möglicherweise aus unterschiedlichen Themenbereichen, basierend auf Anforderungen und Vorwissen der betreffenden Schülerinnen und Schüler treffen, wonach diese ihrerseits danach wählen können, welche Aufgabenstellungen sie am meisten ansprechen und womit sie sich in den nächsten Stunden genau beschäftigen wollen, womit auch dem von Urban (1992) angesprochenen, bei Hochbegabten oft besonders ausgeprägtem Interesse an Selbstbestimmung nachgegangen werden kann. Letztlich bieten klassische Aufgabenstellungen bei Physikolympiaden, sowie Übungsaufgaben aus den Vorbereitungskursen dazu, meist große Freiheiten beim Auffinden zielführender Lösungsansätze. Zwar sind die Aufgabenstellungen hinsichtlich der Zielvorgaben lange nicht so offen gestellt, wie dies etwa beim AYP-T-Wettbewerb üblicherweise der Fall ist, jedoch kommen sie in der Regel Reichles (2004) Forderung nach, dass Schülerinnen und Schüler diese frei nach eigenen Lösungswegen bearbeiten können und deren Leistungen auch nach individuellen Maßstäben bewertet werden können. Dies kann insbesondere auch darauf zurückgeführt werden, dass die Teilnahme an der Physikolympiade inklusive Vorbereitungskurs im Regelfall als unverbindliche Übung stattfindet und somit keine Beurteilung in Notenform erfolgt, sowie keine vorgeschriebenen Bildungsstandards erfüllt werden müssen, wodurch jede und jeder ihr oder sein eigenes Potential frei ausschöpfen kann.

Abseits der unter verschiedenen Aspekten dargelegten Fördermöglichkeiten Hochbegabter durch die Physikolympiade stellt sich insbesondere für die Teilnahme an den begleitenden Vorbereitungskursen nun aber noch die Frage, ob auch weniger begabte Schülerinnen und Schüler daran teilnehmen können sollten. Eine kurze zustimmende Antwort ließe sich hier natürlich basierend auf dem Hochbegabten-Identifikationspotential der Physikolympiade geben. Wie sieht es aber bei Jugendlichen aus, deren Hochbegabung nicht bloß noch nicht entdeckt wurde, sondern die bis dato im Bereich Physik eher mittelmäßig begabt sind beziehungsweise mitunter auch nur mittelmäßiges Interesse am Physik-Regelunterricht zeigten? Sollten die Teilnahmebedingungen an diesen Kursen eher sehr restriktiv festgelegt werden, wie dies beispielsweise für das Hector-Seminar vorgesehen ist, um einen exklusiven Status sicherstellen zu können, oder kann ein solcher Kurs auch für andere Schülerinnen und Schüler eine sinnvolle und fördernde Bereicherung neben dem Regelunterricht darstellen?

Prenzel et.al. (2009) hielten fest, dass das Interesse von Kindern und Jugendlichen an Technik und Naturwissenschaften angesichts der Entwicklungen des Arbeitsmarktes und den damit verbundenen Kompetenzanforderungen an junge Menschen seit Jahrzehnten unzureichend sei. Selbst die Europäische Kommission stellte bereits 2004 eine Notwendigkeit verstärkter Interessensförderung bei jungen Menschen in MINT-

Bereichen fest (vgl. European Commission, 2004). Dabei ist jedoch im schulischen Kontext zu beachten, dass das Interesse am Schulfach nicht selten deutlich vom Interesse am Fachgebiet abweichen kann (vgl. Hoffmann et.al., 1998). Ebenso ließen sich innerhalb der Physik Unterschiede bei Interessensschwerpunkten von Schülerinnen und Schülern feststellen. Während sich manche vor allem für Mechanik begeistern können, liegt das Hauptinteresse bei anderen klar auf der modernen Physik und selbst hinsichtlich eines Themengebiets gibt es Schülerinnen und Schüler, die sich eher für die Herleitung, Analyse und Begründbarkeit von Naturgesetzen interessieren, andere, die sich von technischen Anwendungen wesentlich mehr begeistern lassen und wieder andere, deren Interesse auf den Auswirkungen, Möglichkeiten und Risiken entsprechender Technologien auf die Gesellschaft liegt. Prenzel et.al. kommen zu dem Schluss, dass das Interesse an MINT-Fächern und insbesondere an Naturwissenschaften vom jeweiligen Themengebiet, der Art der Herangehensweise an dieses, dem gewählten Kontext und Lebensweltbezug, sowie der genutzten Arbeitsweisen abhinge (Prenzel et.al., 2009). Insbesondere die Wahl und Behandlung diverser Anwendungen im Unterricht fördere laut Prenzel et.al. (2007) das Interesse junger Menschen an den Naturwissenschaften. Dies wird insbesondere auch dadurch umso bedeutsamer, dass sich in Studien zur Interessensentwicklung bei jungen Menschen zeigte, dass rund 40 % der dabei im Bereich der Naturwissenschaften als Höchstleistende identifizierten Schülerinnen und Schüler angaben, an Naturwissenschaften nicht sonderlich interessiert zu sein (vgl. Seidel et.al., 2007).

Ein verstärktes Augenmerk auf die motivationale Förderung entsprechend den Interessen von Schülerinnen und Schülern zu legen, scheint also aus mehrerlei Hinsicht wichtig und könnte laut Seidel et.al. (2006) vor allem durch vermehrt eingesetzte Schülerinnen- und Schülerversuche mit Bezug zu diversen Anwendungsbereichen der Physik erreicht werden. Jedoch zeigte sich auch, dass es einer gründlichen Vor- und Nachbesprechung jener Experimente samt Erklärungen und daraus gezogenen Schlüssen bedarf, sollen neben der motivationalen Förderung auch entsprechende Leistungssteigerungen erzielt werden (ebd.). Als nützliche Grundlage nennen Prenzel et.al. (2009) hierfür die Blockung von Unterrichtsstunden im naturwissenschaftlichen Bereich zu mindestens Doppelstunden, in welchen ausreichend Zeit für möglichst frei und selbständig durchzuführende Experimente inklusive adäquater Rahmenbearbeitung der Fragestellungen und Ergebnisse gegeben sei (vgl. Prenzel et.al., 2009).

Im Gegensatz zu den Vorbereitungskursen der Physikolympiade sind diese Rahmenbedingungen im Regelunterricht oft nur schwer umsetzbar. Insofern bieten sich diese Kurse und die Teilnahme an der Physikolympiade auch für (noch) nicht hochbegabte Schülerinnen und Schüler an, um sowohl deren Motivation für Physik zu fördern, ihnen die Erfahrungen freieren Forschens zu ermöglichen und sie in der Entwicklung ihrer Kompetenzen zu unterstützen. Natürlich sollte hierbei auch bei der Wahl oder Ausarbeitung von Aufgabenstellungen auf die somit breit gefächerten Interessensschwerpunkte und Leistungsniveaus Bedacht genommen werden (vgl. Kap. 2.2.2).

2.2.1 Wettbewerbs- und Kursstruktur

Auf Basis der Statuten der Internationalen Physikolympiade werden keine speziellen Vorgaben zum Auswahlprozess der entsendeten Schülerinnen- und Schülerdelegation der einzelnen teilnehmenden Staaten gesetzt. Es wird lediglich festgehalten, dass jedes Teilnehmerland maximal fünf Schülerinnen und Schüler entsenden darf, diese an einer allgemeinbildenden oder technischen Schule eingeschrieben sein müssen und nicht älter als 20 Jahre sein dürfen. Außerdem gibt es genaue Regulierungen hinsichtlich Bewerbung, Einladung und Teilnahme einzelner Teilnehmerstaaten. In Einzelfällen sind noch diverse Ausnahmeregelungen vorgesehen, etwa zur direkten Einladung einzelner Schülerinnen und Schüler aus Ländern, bei denen derzeit eine reguläre Einladung einer Delegation schwierig ist (IPhO, 2021, §2), sowie für Schülerinnen und Schüler, welche zum Zeitpunkt der Olympiade die Schule bereits abgeschlossen haben (IPhO, 2021, §3). Aufgrund dieser Freiheiten bei der Wahl der Olympionikinnen und Olympioniken haben diverse Teilnehmerländer unterschiedliche Auswahlverfahren entwickelt.

In Deutschland beispielsweise wird ein vierstufiges Auswahlverfahren zur Delegationsbildung praktiziert. Dabei bestehen die ersten beiden Auswahlsschritte aus zu erledigenden und einzureichenden Hausarbeiten, wobei die zweite deutlich anspruchsvoller als die erste ist. Im Anschluss daran finden die beiden verbleibenden Auswahlsschritte als Klausuren statt, wobei wiederum die zuletzt stattfindende deutlich schwierigere Aufgabenstellungen inkludiert als jene in Schritt drei (vgl. Friege, 2011; Geckeler, 2002).

Österreich geht hier einen etwas anderen Weg. Das Auswahlverfahren setzt sich hier zwar ebenfalls aus vier Teilschritten zusammen, diese bestehen jedoch alle jeweils aus Klausuren, auf welche im Folgenden noch jeweils kurz näher eingegangen wird. Als Grundlage vor der ersten Klausur stehen die bereits angesprochenen Vorbereitungskurse. Als regelmäßig und kontinuierlich stattfindende Arbeitsgemeinschaften stellen diese zumindest unter dem Blickwinkel der aktiven Begabten- und Interessensförderung wohl den wichtigsten Aspekt an der Physikolympiade dar.

Prenzel et.al. (2009) kritisieren, dass das im Regelunterricht vor allem in naturwissenschaftlichen Fächern häufig auftretende ‚learning to the test‘, im Zuge dessen für kurze Zeiträume ausgewählte, testrelevante Inhalte gelernt werden, oft durch gezieltes ‚teaching to the test‘ durch die Lehrperson noch unterstützt wird und dabei eine echte Kompetenzentwicklung hin zu Fähigkeiten, welche bei unterschiedlichsten Problemstellungen situationsbezogen angewandt werden können, erschwert oder sogar verhindert wird. Auch wenn die testrelevanten Inhalte bei der IPhO schon äußerst umfangreich sind, stellt der Wettbewerb an sich doch auch nur eine zeitlich sehr begrenzte Veranstaltung dar und bedingt somit nicht wirklich eine regelmäßige, in die Tiefe gehende und kompetenzentwicklungsfokussierte Auseinandersetzung mit den einzelnen Aspekten des Themenumfangs. In den im Regelfall als unverbindliche Übungen abgehaltenen Vorbereitungskursen hingegen ist eben jenes ‚learning to the test‘ weder sinnvoll noch möglich. Üblicherweise werden den Schülerinnen und Schülern in diesen Kursen mehr oder weniger komplexe physikalische Aufgabenstellungen angeboten, welche von diesen etwa in Zweierteams bearbeitet werden. Häufig inkludieren diese

Aufgabenstellungen sowohl theoretische als auch experimentelle Fragestellungen und weisen oft auch einen Bezug zu diversen Aspekten der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler auf. Bei entsprechender Auswahl der angebotenen Aufgabenstellungen durch die Lehrkraft können auf diese Weise Schülerinnen und Schüler sowohl vom Interessentyp A als auch vom Interessentyp B angesprochen werden (vgl. Kap. 2.2.2), wohingegen der Wettbewerb an sich wohl vorrangig nur Interessentyp A mobilisieren würde.

Abseits dessen betonen Prenzel et.al. (2009) die grundsätzliche Wichtigkeit einer klaren, von den Schülerinnen und Schülern als solche wahrnehmbaren Trennung von Lern- und Leistungssituationen. Speziell wird betont, dass es für einen erfolgreichen Lernprozess unabhängig vom Leistungsniveau, auf welchem dieser stattfindet, absolut wichtig sei, ausreichend Möglichkeiten zu haben, bei denen sich die Schülerinnen und Schüler mehr oder weniger neuen Inhalten oder zu entwickelnden Kompetenzen angst- und stressfrei annähern können und vor allem die Möglichkeit haben, dabei Fehler zu machen. Erstens könnten Fehler beim Lernen ohnedies nicht vermieden werden und gehören einfach dazu. Zweitens stellen gerade die begangenen Fehler, sofern diese sinnvoll und individuell besprochen und aufgearbeitet werden, zentrale Ansätze für individuelle Lernzuwächse und weitere Kompetenzentwicklung dar und drittens zeigte sich in zahlreichen Untersuchungen, dass gerade in Mathematik und naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern aufgrund ihres Rufes öfter Ängste entwickelt werden als in anderen Fächern. Daher bedarf es nicht nur für die begabtesten Schülerinnen und Schüler schulische oder außerschulische Freiräume, in welchen sie sich ohne Leistungs- und Notendruck jedoch professionell betreut mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen auseinandersetzen können und dies in einer Selbständigkeit und Tiefe, wie es im Regelunterricht nur selten möglich ist. Die Physikolympiade-Vorbereitungskurse als unverbindliche Übungen ohne Beurteilung durch Notengebung und durch die Bereitstellung eines Soziotops, welches Forschen, sowie sozialen Austausch dazu auf individuellem Niveau ermöglichen kann, könnten somit auch zu einer Reduktion oder Vermeidung solcher Ängste vor naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern beitragen, sowie einen wichtigen Beitrag zur Förderung von Interesse und Motivation der Schülerinnen und Schüler im Bereich Physik leisten.

Obwohl die Teilnahme von Schülerinnen und Schülern an unverbindlichen Übungen wie diesen Vorbereitungskursen grundsätzlich frei ist, kann mitunter auch eine direkte Ansprache von Schülerinnen und Schülern durch Lehrpersonen, quasi im Sinne einer Rekrutierung, sinnvoll sein, wobei nicht zwangsläufig nur als besonders begabt angesehene Schülerinnen und Schüler zur Teilnahme an einem Vorbereitungskurs eingeladen werden müssen, sondern auch auf zuletzt genannte Aspekte betreffend Interessens- und Motivationsförderung Rücksicht genommen werden sollte.

Rein formell finden die Vorbereitungskurse in Österreich meist wöchentlich mit Doppelstunden statt, wobei in manchen Fällen auch geblockt wird, sodass alle zwei Wochen vier Stunden am Stück dafür genutzt werden. Die Teilnehmerinnen- und Teilnehmerzahl soll dabei im Intervall [7, 14] pro Kurs liegen. Während die meisten Kurse sich an Schülerinnen und Schüler jenes Schulstandortes richten, an welchem diese auch stattfinden, sind grundsätzlich auch schulstandortübergreifend angelegte Kurse möglich und insbesondere

zu Gunsten kleinerer Schulstandorte oft auch erwünscht. Schülerinnen und Schüler, an deren Schulen kein Physikolympiade-Vorbereitungskurs angeboten wird, können regionsabhängig auch an Sammelkursen teilnehmen. Für Schülerinnen und Schüler aus Wien, Niederösterreich und dem Burgenland beispielsweise wird ein derartiger Kurs am SchülerInnen-Forschungszentrum der Universität Wien angeboten (SFZ, 2021), wobei sich dieser Kurs gleichsam auch als Vorbereitungskurs für das AYPT versteht. Hinsichtlich Olympiade werden meist rund um den März Kurswettbewerbe in den einzelnen Vorbereitungskursen abgehalten. Diese finden in Form einer dreistündigen Klausur statt und umfassen zwei theoretische und eine experimentelle Aufgabenstellung aus den Bereichen Mechanik, Optik, Elektrizitätslehre und Wärmelehre. Die drei bestplatzierten Schülerinnen und Schüler jedes Kurswettbewerbs dürfen in Folge am jeweiligen Landeswettbewerb teilnehmen. Wiederum kann erwähnt werden, dass auch ein Qualifikationswettbewerb für Schülerinnen und Schüler angeboten wird, welche an keinem Vorbereitungskurs teilnehmen konnten, jedoch eine vertiefende Physikausbildung genießen, wie etwa durch die Teilnahme an einem Physik-Wahlpflichtfach. Die Bestplatzierten unter ihnen dürfen ebenfalls am Landeswettbewerb teilnehmen. Die Zusammenstellung der Aufgabenstellungen, sowie die Beurteilung der Kurswettbewerbsabgaben obliegt hierbei der jeweiligen Kursleiterin oder dem jeweiligen Kursleiter.

Ähnlich wie die Kurswettbewerbe verlaufen in Folge auch die Landeswettbewerbe als zweite der vier Stufen des österreichischen Auswahlverfahrens. Pro Bundesland werden diese an einem gemeinsamen Standort, meist in einer der Schulen mit Vorbereitungskurs, abgehalten. Auch hier umfassen die eine experimentelle und die drei theoretischen Aufgabenstellungen die Themengebiete Mechanik, Optik, Elektrizitätslehre und Wärmelehre, wobei die Bearbeitungszeit hier nun vier Stunden beträgt. Die Aufgabenstellungen werden hierbei zentral erstellt und allen Bundesländern übermittelt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Aufgaben aller Landeswettbewerbe gleich schwierig sind und es zu keinen Bevorzugungen kommt. Die bestgereihten Schülerinnen und Schüler der Landeswettbewerbe werden im Zuge dessen berechtigt, an der ersten Runde des Bundeswettbewerbs teilzunehmen, wobei jedem Bundesland nach einem vorgegebenen Schlüssel eine bestimmte Zahl an Fixstarterinnen und Fixstartern zugesprochen wird, während die übrigen Plätze für den Bundeswettbewerb bundeslandunabhängig entsprechend den erreichten Punktezahlen vergeben werden.

Der erste Teil des Bundeswettbewerbs, also die dritte Stufe des Auswahlverfahrens, findet üblicherweise in Linz statt, während der Austragungsort für den zweiten Teil des Bundeswettbewerbs, vierte Stufe des Auswahlverfahrens, von Jahr zu Jahr variiert. Im Zuge dieser werden die Aufgabenstellungen zunehmend komplexer, die Themenbereiche umfassender, die verbliebenen, nicht ausgeschiedenen Teilnehmerinnen und Teilnehmer weniger und die Bearbeitungszeiten länger. Beim zweiten Teil des Bundeswettbewerbs etwa finden experimenteller und theoretischer Wettbewerb sogar bereits an zwei unterschiedlichen Tagen statt. Vor diesem Wettbewerb erhalten jedoch alle Schülerinnen und Schüler, welche sich durch den ersten Teil des Bundeswettbewerbs qualifizierten, ein zweiwöchiges Intensivtraining. Ebenso wird auch jenen fünf Schülerinnen und Schülern, welche als Gesamtsiegerinnen und Gesamtsieger aus dem österreichischen

Auswahlverfahren hervorgingen und die somit die österreichische Delegation für die IPhO bilden werden, im Zuge der IPhO neuerlich ein Intensivtraining zuteil (vgl. ÖPhO, 2021).

Die Internationale Physikolympiade letztlich findet für gewöhnlich im Juli in einem der Teilnehmerländer statt. Wiederum gibt es dabei sowohl eine experimentelle als auch eine theoretische Klausur, welche an unterschiedlichen Tagen mit mindestens einem Ruhetag dazwischen stattfinden. Der theoretische Teil umfasst dabei drei unterschiedliche Aufgabenstellungen und bietet eine Bearbeitungszeit von fünf Stunden. Die dabei überprüfbaren Kompetenzen umfassen die Themenbereiche Mechanik, elektromagnetische Felder, Schwingungen und Wellen, Relativitätstheorie, Quantenphysik, Thermodynamik und statistische Physik. Für den experimentellen Teil beträgt die Bearbeitungszeit ebenfalls fünf Stunden, in welchen ein bis zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden sollen. Vordergründige Kompetenzen beziehen sich hierbei auf die Planung von Experimenten, Messmethodik, Messgenauigkeit, Messfehleranalysen und Messdatenauswertung. Darüber hinaus werden mathematische Kompetenzen aus den Bereichen Algebra, Funktionen, Geometrie, Vektorrechnung, komplexe Zahlen, Statistik, Differential- und Integralrechnung, Infinitesimalrechnung und Approximationsmethoden abverlangt (vgl. IPhO, 2021, §5 und Appendix II).

2.2.2 Aufgabenschwerpunkte

Hinsichtlich des allgemeinen Aufbaus von Aufgaben halten Kauertz et. al. drei grundlegende Bestandteile fest, welche sich in jeder Angabe finden sollten. Diese sind eine Situationsbeschreibung, eine Fragestellung und eine Handlungsaufforderung an die Bearbeiterin oder den Bearbeiter der Aufgabe. Je nach Lern- beziehungsweise Testsituation, für welche die Aufgaben erstellt werden und abhängig vom Schwierigkeitsgrad, sowie dem Vorwissen der Lernenden können einer Angabe auch noch diverse Hilfestellungen, beispielsweise betreffend Lösungsweg oder hinsichtlich der formalen Erwartungen betreffend Lösung oder Lösungsweg hinzugefügt werden. Dabei kann das Ziel der Aufgabe je nach Intentionen der Lehrkraft entweder klar vorgegeben oder erst im Zuge der Auseinandersetzung der Lernenden mit der Aufgabe von diesen selbst entwickelt werden. (vgl. Kauertz et. al., 2015, S. 453)

Um unterschiedliche Aufgaben sinnvoll differenzieren beziehungsweise systematisieren zu können, listet Kauertz eine Vielzahl von Merkmalen mit unterschiedlichen Ausprägungsmöglichkeiten auf. So macht es beispielsweise einen Unterschied, ob bei einer Aufgabe konkrete Operationen explizit gefordert werden, was der Übung ebendieser Operationen durch die Lernenden dienlich sein kann, oder ob die Wahl der Mittel zum Finden einer korrekten Lösung offengehalten wird und den Lernenden beispielsweise bei Aufgaben im Unterrichtsfach Physik abverlangt wird, grobe Abschätzungen zu treffen und ihre Annahmen plausibel zu machen. Kauertz teilt diese zahlreichen Merkmale von Aufgaben dabei in vier Aspekte ein, nämlich

- formale Aspekte, wie etwa die Offenheit betreffend möglicher Lösungswege,

- inhaltsbezogene Aspekte, welche unter anderem die zugrundeliegenden elementaren Grundideen hinter einer Aufgabenstellung inkludieren,
- fähigkeitsbezogene Aspekte, wie die Einordnung der Aufgabe im jeweiligen Kompetenzmodell und
- die Beziehung zur Lern- beziehungsweise Testsituation.

Betreffend des letztgenannten Aspektes spielen beispielsweise der Umgang mit Fehlern oder die Berücksichtigung typischer Lernendenvorstellungen eine gewichtige Rolle (vgl. Kauertz et. al., 2015, S. 454-461). Gerade hierfür empfiehlt es sich vor der Ausformulierung von Aufgaben elementare Grundideen, sowie bekannte Lernendenvorstellungen im Zuge einer didaktischen Analyse des jeweiligen Themengebiets zu sammeln. (siehe Kap. 10.1)

Zur besseren Beschreibung des Zusammenhangs zwischen den diversen Aufgabenmerkmalen auf der einen Seite und der Lern- beziehungsweise Testsituation auf der anderen Seite beschreibt Kauertz fünf verschiedene Unterrichtssituationen, in welchen Aufgaben eingesetzt werden können.

- In der Erarbeitungsphase zu einem neuen Thema können Aufgaben etwa bei der Festigung neuer Begriffe, Konzepte oder Gesetze dienlich sein, sowie einen ersten Einblick in das Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten dieser bieten.
- In der Übungsphase lassen sich Aufgaben dafür einsetzen, um gewisse Routinen einzulernen und dadurch mehr und mehr kognitive Ressourcen aus der rein operativen Tätigkeit jener Lösungsverfahren für komplexere Handlungen freizubekommen.
- Wiederum völlig anders sollten Aufgaben für die dritte, die sogenannte Transferphase aufbereitet werden. In dieser Phase sollen Lernende die neu gewonnenen und mitunter bereits routinierten Kenntnisse und Fähigkeiten auf neue und komplexere, sowie vielseitige Alltagssituationen anwenden lernen und dabei auch unterschiedliche Konzepte und Gesetze zunehmend selbständig miteinander verknüpfen. Auch heuristische Kompetenzen, also die Fähigkeiten sich neuen, unbekannten Aufgabenstellungen anzunähern, sowie die Entwicklung und Anwendbarkeit eines breiten Spektrums an themenunspezifischen Problemlösestrategien, kann in dieser Phase trainiert werden. Eine Entwicklung und Festigung grundlegender, fachspezifischer heuristischer Kompetenzen kann bei Lernenden in dieser Phase insbesondere durch Aufgaben unterstützt werden, welche zur expliziten Reflexion der gewählten, möglicherweise auch gescheiterten Lösungsstrategien auffordern. Gerade solche Problemlösestrategien erlauben es den Lernenden, ihre erworbenen Kenntnisse und Kompetenzen zunehmend flexibler einzusetzen.
- In der Leistungsmessungsphase geht es schließlich darum Aufgaben so zu gestalten, dass die in der vorangegangenen Phase beabsichtigten Lernziele durch die nun entwickelten Aufgaben möglichst klar überprüft werden können.

- Ein kaum davon abweichendes Ziel verfolgen Aufgaben in der fünften von Kauertz angeführten Phase, der standardisierten Leistungsmessung, mit dem Unterschied, dass es hierbei um die Überprüfung allgemein festgelegter Unterrichtsziele geht, wie etwa Bildungsstandards diese darstellen.

(vgl. Kauertz et. al., 2015, S. 457-468)

Worin unterscheiden sich nun aber Aufgaben für die Physikolympiade, als Wettbewerb, beziehungsweise Aufgaben für den Vorbereitungskurs der Physikolympiade, wie die in dieser Arbeit entwickelten Aufgabenblätter (vgl. Kap. 3) von jenen für den Einsatz im Regelunterricht? Natürlich lassen sich die folgenden Merkmale nicht nur für die Physikolympiade oder andere in Kapitel 2.1.4 beschriebene Wettbewerbe in großen Teilen übertragen, sondern können auch ganz allgemein betreffend der Förderung begabter Schülerinnen und Schüler relevante Ansätze bieten.

Friege et. al. weisen auf den speziellen Umstand hin, dass eine Teilnahme an der Physikolympiade beziehungsweise den dafür vorbereitenden Kursen im Gegensatz zum Regelunterricht völlig freiwillig erfolgt. Gerade deshalb ist darauf zu achten, dass derartige Aufgaben weder zu leicht sind, was zu einer Unterforderung der Schülerinnen und Schüler führen würde, noch sollte die Bearbeitung der Aufgaben als besonders mühsam wahrgenommen werden und natürlich sollten sie auch nicht zu schwer sein – zumindest nicht regelmäßig. Kurzum, die Aufgaben müssen einen gewissen Reiz auf die Schülerinnen und Schüler ausüben. (vgl. Friege et. al., 2011)

Um herauszufinden, wie dieser Reiz erhalten werden kann, soll zunächst ein kurzer Blick auf die drei von Häußler et. al. beschriebenen Interessentypen betreffend physikalischer Aufgaben geworfen werden.

- Interessentyp A wird von Häußler als jener mit dem höchsten Leistungsniveau beschrieben. Dieses, sowie das Interesse von Schülerinnen und Schülern dieses Interessentyps zeigt sich neben Physik auch in anderen MINT-Fächern, wie Mathematik, Chemie oder Technischem Werken. Dabei gilt deren Faszination allen Themenbereichen der Physik gleichermaßen und auch hinsichtlich des Anteils an Theorie, Experiment und Anwendbarkeit in Alltag und Gesellschaft besteht grundlegendes, großes Interesse.
- Bei Schülerinnen und Schülern des Interessentyps B liegt der Interessensfokus im physikalischen Bereich auf Themen, welche mit dem Menschen und der Natur in enger Verbindung stehen. Das Leistungsniveau dieses Interessentyps liegt in Physik zwischen jenen der anderen beiden Interessentypen und der Fokus des Interesses gilt vornehmlich praktischen Anwendungen.
- Weniger stark ausgeprägt für Physik und andere MINT-Fächer ist das Interesse bei Schülerinnen und Schülern vom Typ C. Hier dominieren eher Sprachen und Kunst, während das Leistungsniveau von Schülerinnen und Schülern dieses Typs im Bereich Physik tendenziell hinter jenen von Typ A und B zurückbleibt. Aufgaben, welche bei Schülerinnen und Schülern des Typs C auf Interesse stoßen, stellen meist soziale Aspekte in den Vordergrund.

(vgl. Häußler et. al., 1996, S. 57-69)

Ziel der Entwicklung von Aufgaben für den Bereich Physikolympiade sollte es daher vorrangig sein, Schülerinnen und Schüler der Interessentypen A und B anzusprechen, während im Regelunterricht hingegen gerade auf Schülerinnen und Schüler des Interessentyps C ganz besonders geachtet werden sollte. Schülerinnen und Schülern, welche Interesse und Talent zur Physik in einen Physikolympiadekurs mitbringen, sollte darüber hinaus insbesondere die Möglichkeit geboten werden, ihre Problemlösekompetenz weiterzuentwickeln und dies in der Praxis zu üben. Dies setzt jedoch voraus, dass die Erarbeitungsphase und die Übungsphase (vgl. Kauertz et. al., 2015) bereits zumindest teilweise durchlaufen wurden und zur Bearbeitung der Aufgabe benötigte Begriffe, Konzepte oder Gesetze des jeweiligen Themenbereichs bereits bekannt sind. Um sich tatsächlich auf die Entwicklung bestimmter heuristischer Kompetenzen einlassen und konzentrieren zu können, sollten die Schülerinnen und Schüler bei offen gestellten Problemlöseaufgaben erkennen können, welche der ihnen bereits bekannten Gesetze hier relevant und anwendbar sind und wie diese untereinander und mit der Situation der Fragestellung zusammenhängen. Aus diesem Grund wählte Friege in seiner Sammlung von *Aufgaben der Physik-Olympiade* (Friege et. al., 2011) auch überwiegend Aufgabenstellungen aus dem Bereich der klassischen Physik, insbesondere der Mechanik, aus und verzichtete größtenteils auf, die ohnehin nicht so zahlreich bestehenden Aufgaben aus dem Bereich der modernen Physik, die im Regelunterricht, welcher als Grundlage des Vorwissens von Schülerinnen und Schülern in Physikolympiadekursen angesehen werden muss, oft nur sehr oberflächlich behandelt wird. (vgl. Friege et. al., 2011)

Bevorzugt werden also im Bereich Physikolympiade oft Aufgaben eingesetzt, deren Lösungsweg noch nicht vorgezeichnet ist, bei denen die benötigten Gesetze bekannt sind oder leicht recherchiert werden können und die auch mathematisch nicht zu anspruchsvoll sein müssen (vgl. Friege et. al., 2011). Aus diesem Grund ist es auch legitim, beziehungsweise hinsichtlich Konzentration auf das Problemlösen mitunter sogar förderlich, dass den Schülerinnen und Schülern bei der Bearbeitung solcher Aufgaben im Zuge des Physikolympiadekurses eine physikalische Formelsammlung bereit gelegt wird. Eine solche darf von den Schülerinnen und Schülern in Österreich auch bei allen nationalen Wettbewerben der Physikolympiade benutzt werden und wurde den Schülerinnen und Schülern auch bei der Erprobung der für diese Arbeit ausgearbeiteten Aufgabenblätter zur Verfügung gestellt. Die Formelsammlung kann im Anhang (Kap. 10.9) eingesehen werden.

Problemlöseaufgaben können laut Kauertz überdies in allen fünf von ihm genannten Phasen eingesetzt werden und erfüllen dabei eine wichtige Rolle bei der Entwicklung ganz spezieller Kompetenzen, wie etwa dem naturwissenschaftlichen Arbeiten. Vor allem beim Einsatz von Problemlöseaufgaben in der Erarbeitungs- oder Übungsphase ist es jedoch oft wichtig, die Schülerinnen und Schüler auf ihrem Lösungsweg durch weitere Fragen und Unterpunkte etwas zu begleiten und durch diese Sequenzierung noch etwas mehr Struktur vorzugeben. Gerade bei Lernaufgaben, zu denen Aufgaben für den Einsatz im Physikolympiadekurs klar zählen, sind nach Kauertz Antwortformate mit frei zu formulierenden Lösungen, sowie Offenheit als Merkmal betreffend der Vielfältigkeit korrekter Lösungswege wünschenswert. Dabei ist jedoch darauf

zu achten, Kriterien festzulegen, unter denen Lösungen beziehungsweise Lösungswege als korrekt angesehen werden. Darüber hinaus können Lernaufgaben durch einen offenen und aufgreifenden Umgang mit Fehlern, dem Angebot diverser Hilfestellungen sowie Fachwissen und experimentelle Anteile in den Aufgaben bereichert werden. (vgl. Kauertz et. al., 2015, S. 453-462)

Geckeler et. al. sowie Friege et. al. publizierten Sammlungen ausgewählter Physikolympiadeaufgaben aus dem deutschen Auswahlverfahren für die Internationale Physikolympiade, sowie aus anderen nationalen Auswahlverfahren. Wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben, läuft das deutsche Auswahlverfahren vierstufig ab. Während Geckeler sich bei seiner Auswahl ausschließlich auf theoretische Aufgaben beschränkte, führte Friege sowohl theoretische als auch experimentelle Aufgaben zur Nutzung als Vorbereitung für eine Teilnahme an der Internationalen Physikolympiade, sowie als Training für angehende Physikstudentinnen und -studenten an und wies dabei experimentelle Aufgaben explizit aus. Insbesondere bei Geckelers Aufgabenauswahl ist auffällig, dass die Angaben meist sehr knapp und offen formuliert wurden, sowie größtmögliche Freiheit hinsichtlich der Wahl möglicher, unterschiedlicher Lösungswege bieten. Ebendies findet sich auch in Frieses Auswahl verbreitet wieder, wobei Friege anmerkt, dass viele Schülerinnen und Schüler in Physikolympiadekursen gerade diese Freiheit bei der Wahl des Lösungsweges sehr genießen. Dennoch lässt sich insbesondere bei jenen Aufgaben, die experimentelle Anteile beinhalten, eine etwas führende Formulierungsweise mit meist einigen Unterpunkten beziehungsweise sukzessive weiterführenden Einzelfragen feststellen. Im Zuge dessen entdeckt man ebenfalls insbesondere bei den experimentellen Aufgabenstellungen eine wesentlich breitere Varianz an konkreten Handlungsanweisungen und Operatoren, wie etwa „miss“, „berechne“, „beschreibe“, „erkläre“, „bestimme“, „erstelle“, „vergleiche“, „stelle dar“, „leite her“, „diskutiere“, „schätze ab“, „skizziere“ und so weiter. (vgl. Geckeler et. al., 2002 und Friege et. al., 2011)

Da viele der bei Friege angeführten, experimentellen Aufgaben im Zuge des deutschen Auswahlverfahrens als Hausübung gemacht werden sollten, sind die Experimente im Allgemeinen mit ausschließlich haushaltsüblichen Gegenständen als Experimentiermaterialien durchführbar. Eine derartige Einschränkung betreffend Materialien besteht natürlich in einem Physikolympiadekurs, sowie bei den Klausuren im Rahmen des Wettbewerbs grundsätzlich nicht. Der Umstand, dass selbst mit derlei alltäglichen Gegenständen durchaus komplexe und vor allem spannende physikalische Fragestellungen entwickelt und gelöst werden können, kann bei einigen Schülerinnen und Schülern jedoch mitunter zu Faszination und Inspiration führen. Dabei sei unbedingt angemerkt, dass experimentelle Aufgaben keineswegs als einfacher gegenüber theoretischen Aufgaben missinterpretiert werden sollten. Im Gegenteil bedarf es der Entwicklung spezieller Kompetenzen, mit dem Umstand umgehen zu können, dass Geräte und Materialien für experimentell zu klärende Fragestellungen oft nicht oder nur teilweise vorgegeben sind, dass passende und plausibel einsetzbare Theorien zur Auswertung und Interpretation erlangter Messresultate selbst gefunden werden müssen und dass oft grobe Abschätzungen und eine Berücksichtigung und Einschätzung der Messgenauigkeit notwendig sind. (vgl. Friege et. al., 2011)

Ein tiefergehender Blick auf die von Friege und Geckeler zusammengetragenen Aufgaben zeigt neben dem breiten Spektrum an unterschiedlichen Handlungsanweisungen und physikalischen Kompetenzen, wie dem Erstellen und Interpretieren von Diagrammen, welche den Schülerinnen und Schülern abverlangt werden, dass auch hinsichtlich benötigter mathematischer Kenntnisse sehr unterschiedliches gefordert beziehungsweise gefördert wird. Neben dem kompetenten Umgang mit logarithmischen Skalen oder der Handhabung von Winkelfunktionen, spielen etwa auch Differentialgleichungen beispielsweise in Bewegungsgleichung oder Schwingungsgleichung immer wieder eine Rolle. Friege meint, dass obwohl viele der Aufgaben im Allgemeinen zwar zu komplex sind, um sie im Regelunterricht beispielsweise als Hausübung von einer Physikstunde auf die nächste zu geben, können einige davon durchaus auch in den regulären Physikunterricht einfließen, etwa als eine Art Semesterprojekt, an dem Schülerinnen und Schüler selbständig und als langfristige Hausübung arbeiten können, oder auch in stark angeleiteter Form als Demonstrationsbeispiele durch die Lehrkraft. Auch für etwaige Vorwissenschaftliche Arbeiten lassen sich aus etlichen Physikolympiadeaufgaben Ansätze ziehen. (vgl. Geckeler et. al., 2002 und Friege et. al., 2011)

Rückblickend auf die von Kauertz beschriebenen, zu differenzierenden Situationen, für welche Aufgaben eingesetzt werden sollen, sind auch bei der Erstellung von Aufgaben für die Physikolympiade die jeweiligen Merkmale entsprechend anzupassen. Dementsprechend befindet man sich in Physikolympiadekursen zur Wettbewerbsvorbereitung meist zwischen Übungs- und Transferphase, während die Situation beim Wettbewerb dann klar der Leistungsmessphase entspricht. Abseits dessen kann es in Physikolympiadekursen auch vorkommen, in die Erarbeitungsphase zu wechseln und Aufgaben dahingehend zu optimieren. Dies kann stattfinden, wenn im Zuge einer Aufgabe vor der Fragenformulierung ein Artikel oder einführender Text steht, beziehungsweise Informationen aus Fachliteratur zu extrahieren sind, um neue Sachverhalte oder physikalische Konzepte einzuführen. Einerseits kann eine solche Herangehensweise gerade in Physikolympiadekursen, in welchen im Allgemeinen Schülerinnen und Schüler aus unterschiedlichen Klassen, mitunter sogar unterschiedlichen Schulen, mit unterschiedlichen Physik-Lehrkräften und aus unterschiedlichen Schulstufen zusammentreffen und somit eine betreffend Vorwissen sehr inhomogene Gruppe zu berücksichtigen ist, dazu eingesetzt werden, um Vorsprünge einzelner Schülerinnen und Schüler aus dem Regelunterricht anderen gegenüber etwas in den Hintergrund zu rücken. Andererseits können auf diese Weise anhand neuer Thematiken und Konzepte allgemeinere bereits erworbene heuristische Kompetenzen geübt werden. (vgl. Kauertz et. al., 2015)

2.3 Forschungsfragen

Im Zuge dieser Arbeit wurden drei Aufgabenstellungen aus den Bereichen Mechanik und Thermodynamik für den Einsatz in Physikolympiade-Vorbereitungskursen entwickelt (Kap. 3). Mittels Erprobung der Aufgaben mit Schülerinnen und Schülern, welche Physikolympiade-Vorbereitungskurse besuchten, sowie anhand von vor und nach der Erprobung durchgeführten Interviews mit eben jenen Schülerinnen und

Schülern, sollen die Aufgabenstellungen analysiert und überarbeitet werden. Besonderer Fokus liegt dabei einerseits auf der Verständlichkeit der Angabentexte, sowie der benötigten Bearbeitungsdauer. Es soll also untersucht werden, wo Fragestellungen möglicherweise gar nicht oder missverstanden werden und wie diese besser formuliert werden könnten. Ebenfalls soll durch die Erprobungen besser abgeschätzt werden können, mit welchem Bearbeitungszeitrahmen man bei den einzelnen Aufgabenstellungen größenordnungsmäßig rechnen sollte. Andererseits soll aber auch der Frage nachgegangen werden, als wie schwierig die Aufgaben von den Probandinnen und Probanden wahrgenommen werden. Sind diese zu leicht, könnte dies zu Langeweile und Desinteresse führen, sind sie jedoch zu schwierig, könnte dies Demotivation und ebenfalls Desinteresse zufolge haben (vgl. Kap. 2.2.2).

In diesem Zusammenhang wurden zu den Aufgaben bei einzelnen Fragestellungen optionale Hilfestellungen entwickelt, welche von den bearbeitenden Schülerinnen und Schülern nur dann eingesehen werden sollen, wenn diese bei einer Aufgabe nicht mehr weiterkommen. Ziel ist es, auf diese Weise individualisierter auf die Diversität bezüglich Leistungsniveau und Vorwissen unter den Schülerinnen und Schülern eingehen zu können. Auch hier stellt sich die Frage, ob diese Hilfestellungen von den Probandinnen und Probanden als hilfreich beziehungsweise notwendig angesehen werden und ob sich im Zuge der Erprobung möglicherweise weitere Situationen zeigen, in denen zusätzliche Hilfestellung benötigt oder sinnvoll wären.

Ein weiterer interessanter Beobachtungsaspekt wird sein, ob sich im Zuge der Erprobung der Aufgaben durch unterschiedliche Schülerinnen und Schüler auch unterschiedliche Lösungsansätze und Herangehensweisen zeigen werden, sowie der Frage nachzugehen, ob die mehr oder weniger bestehende beziehungsweise wahrgenommene Freiheit betreffend der Wahl solcher Lösungswege als motivierend empfunden wird.

Letztlich soll auch speziell darauf geachtet werden, ob sich im Zuge der Interviews beziehungsweise Aufgabenbearbeitung mitunter bekannte oder auch weniger bekannte Lernendenvorstellungen zeigen werden und wie mit diesen anhand der Aufgabenstellungen umgegangen werden kann. Das heißt einerseits, dass diese einfach beobachtet werden sollen, um diese anführen zu können und auf deren Relevanz beim Einsatz der Aufgabenstellungen im Unterricht hinweisen zu können. Andererseits sollen bestimmte Lernendenvorstellungen sowohl vor als auch nach der Erprobung im Zuge der Interviews abgefragt werden, wodurch sich möglicherweise Rückschlüsse darauf ergeben könnten, ob etwa einzelne Fragestellungen und die Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit diesen zu Diskrepanzen innerhalb der Vorstellungswelt der Schülerinnen und Schüler geführt haben könnten, wodurch diese möglicherweise selbst beginnen alte Vorstellungen zu hinterfragen, oder ob etwaige Lernendenvorstellungen durch beziehungsweise trotz korrekter oder inkorrektter Bearbeitung der Aufgaben unbeeinflusst bleiben. Eine Fragestellung dieser Arbeit wird sich demzufolge auch darauf richten, ob Umformulierungen oder Adaptionen der Fragestellungen vorgenommen werden sollten oder könnten, um bestimmten Lernendenvorstellungen noch besser entgegenwirken zu können.

Zusammengefasst lassen sich die zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit wie folgt formulieren:

1. Wurden die Angabentexte ausreichend verständlich formuliert und vermitteln diese klar die jeweiligen Aufgabenstellungen?
2. Mit welcher durchschnittlichen Bearbeitungsdauer kann bei den einzelnen Aufgabenblättern gerechnet werden?
3. Als wie schwierig werden die Aufgabenstellungen empfunden und wirkt sich dies eher motivierend oder demotivierend auf die Schülerinnen und Schüler aus?
4. Werden die teilweise bereitgestellten optionalen Hilfestellungen in Anspruch genommen und falls ja, können diese genutzt werden, um bestehende Schwierigkeiten zu überwinden?
5. Welcher weiteren optionalen Hilfestellungen bedarf es?
6. Bieten die Aufgabenstellungen ausreichend Freiheiten hinsichtlich möglicher Lösungswege?
7. Welche Veränderungen etwaiger Lernendenvorstellungen können im Vergleich der Vor- und Nachinterviews festgestellt werden?

3 Entwicklung und Aufbau der Aufgabenstellungen

Für die vorliegende Arbeit wurden insgesamt drei verschiedene Aufgabenblätter mit jeweils mehreren Fragestellungen für den vorwiegenden Einsatz in Physikolympiade-Vorbereitungskursen entwickelt. Aufgabenblatt A trägt den Titel *Omas Lieblingshäferl*, dreht sich um Mechanik, insbesondere Kinematik, Drehbewegungen, Energieerhaltung und Messgenauigkeit und inkludiert neben einem Experiment die Durchführung einer Videoanalyse, sowie mehrere theoretische Überlegungen und Berechnungen dazu. Alltagsbezüge werden etwa über den Vergleich zur Funktionsweise von Pendeluhren hergestellt.

Aufgabenblatt B wurde *Einer Ärztin täglich Brot* genannt. Themenschwerpunkt stellt dabei die Thermodynamik dar, wobei insbesondere der physikalische Begriff des Drucks eine große Rolle spielt, ebenso wie das Teilchenmodell, Zustandsformen und -änderungen, sowie Kräfte und Kräftegleichgewicht aus der Mechanik. Darüber hinaus soll der Umgang mit Phasendiagrammen praktiziert werden. Im Zentrum der Aufgabenstellung steht ein Experiment mit einer Spritze, welches mehrmals unter leichten Modifikationen durchgeführt, sowie diverse Schlüsse daraus gezogen werden sollen. Mögliche Interessengebiete, die in diesem Zusammenhang tangiert beziehungsweise auch explizit behandelt werden, umschließen medizinische Anwendungen, sowie den Tauchsport.

Rein theoretisch und etwas mathematischer ausgelegt ist das Aufgabenblatt C *Pharao für einen Tag*. Ziel hierbei war es wiederum andere Interessen als durch die beiden Aufgabenblätter A und B anzusprechen, einerseits da hier kein Experiment ins Zentrum des Geschehens gerückt wurde, andererseits durch den geschichtlichen Bezug auf den Pyramidenbau im antiken Ägypten. Physikalisch ist dieses Aufgabenblatt überschneidend den Bereichen Mechanik und Thermodynamik zuzuordnen, wobei unter anderem insbesondere Kräfte, Arbeit und Energie, Masseschwerpunkt, sowie Auftrieb entscheidende Rollen spielen. Als Alltagsbezüge treten etwa der Energiehaushalt des Menschen, die Schifffahrt, Aufzüge, sowie Rampen zur Reduktion der erforderlichen Kräfte explizit in Erscheinung.

Insofern wurde bei der Erstellung der Aufgabenblätter versucht durch den Einbau von Experimenten beziehungsweise Bezügen zu Mensch, Natur und Geschichte auch den Interessenstyp B (vgl. Kap. 2.2.2) ansprechen zu können. Um hierbei einer größeren Bandbreite an Vorwissen und Leistungsniveaus der Schülerinnen und Schüler auf individualisierte Weise gerecht werden zu können, werden bei manchen Aufgabenblättern an verschiedenen Stellen optionale Hilfestellungen auf unterschiedlichen Anforderungsniveaus bereitgestellt, welche durch innere Differenzierung – Hilfestellungen werden nur bei Bedarf von einzelnen Schülerinnen und Schülern angenommen - zur Begabtenförderung beitragen sollen (vgl. Kap. 2.1.3).

Wie in Kapitel 2.3 erwähnt, sollen neben Aspekten zur Durchführbarkeit der Aufgabenstellungen auch Lernendenvorstellungen zu den thematisierten Bereichen der Physik beachtet werden. Aus diesem Grund sei an dieser Stelle auf die durchgeführten didaktischen Analysen zu den drei Aufgabenblättern verwiesen, welchen darin neben bekannten Lernendenvorstellungen auch die entsprechenden elementaren Grundideen zugeschrieben wurden. Jene elementaren Grundideen bildeten in Zusammenhang mit den angeführten Lernendenvorstellungen die Grundlage für Teile der Fragencluster für die Interviewleitfäden zur unterstützenden Analyse der Erprobung der Aufgabenblätter. Außerdem findet sich in den didaktischen Analysen eine Zuordnung aller Aufgabenstellungen der drei Aufgabenblätter zu den Kompetenzbereichen W – „Fachwissen“, E – „Experimentieren und Erkenntnisgewinnung“ und S – „Standpunkte begründen und aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten“ (Lehrpläne, 2019), sowie betreffend Komplexität der Aufgaben, wobei die Abkürzungen *Repro. u. Trans.* für Reproduktion und Transfer stehen, während mit den Abkürzungen *Refl. u. Probl.lös.* Reflexion und Problemlösen gemeint sind. Im Bereich *Etwaige Interessen* wurden jeweils einige fachlich beziehungsweise inhaltlich passende Themenbereiche aus möglicherweise Alltags- und Interessenwelt der Schülerinnen und Schüler angeführt, welche von der Lehrperson bei der Betreuung beim Lösen aufgegriffen werden könnten oder Anstöße für weitere Aufgaben ähnlichen Inhalts, jedoch mit leicht variiertem Thematisierungspunkt je nach den bestimmten Interessen der jeweiligen Schülerinnen und Schüler liefern könnten.

Die konkreten Aufgabenblätter samt Hilfestellungen in der erstentwickelten Version können im Anhang in Kapitel 10.2 eingesehen werden. Die überarbeitete Version dieser findet sich in Kapitel 10.3. Lösungsvorschläge zur überarbeiteten Version für Lehrkräfte sind in Kapitel 10.4 zu finden. Darüber hinaus sei angemerkt, dass bei der Österreichischen Physikolympiade eine standardisierte Formelsammlung verwendet werden darf. Da die Aufgabenblätter für den Einsatz in Physikolympiade-Vorbereitungskursen entwickelt wurden, wurden diese unter der Annahme konzipiert, dass auch bei deren Bearbeitung jene Formelsammlung zur Verfügung steht. Sollten Lehrkräfte diese beim Einsatz der Aufgabenstellungen mit eigenen Schülerinnen und Schülern nicht begeben wollen, kann angedacht werden, einzelne Aufgaben durch die Angabe entsprechender Formeln zu ergänzen. Die standardisierte Formelsammlung für die Österreichische Physikolympiade kann im Anhang in Kapitel 10.8 eingesehen werden. Zum Einsatz bei einem Wettbewerb wie der Physikolympiade eignen sich die Aufgabenblätter in der hier angeführten Version eher nicht, da viele der Aufgabenstellungen auf korrekten Lösungen von zuvor bearbeiteten Aufgabenstellungen aufbauen. Für einen derartigen Einsatz sollten die Aufgabenstellungen daher zumindest insofern modifiziert werden, dass durch die Angabe fiktiver Vorlösungen spätere Aufgabenstellungen auf Basis dieser fiktiven Werte bearbeitet werden können. Teilweise werden jedoch nicht nur numerische Lösungen, sondern auch qualitative Erkenntnisse erworben, welche bei Folgeaufgabenstellungen von Relevanz sind, was bei einer etwaigen Absicht zur Modifikation dieser Aufgabenblätter für einen Wettbewerb ebenfalls zu bedenken wäre.

Im Folgenden sind explizit auf den Aufgabenblättern angeführte Aufgabenstellungen, Texte und optionale Hilfestellungen grau hinterlegt.

3.1 Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl

Das Aufgabenblatt umfasst eine Angabe von zwei A4-Seiten, wobei die erste Seite die thematische Einleitung und die Beschreibung des zentralen Experiments enthält, während sich die einzelnen Aufgabenstellungen gesammelt auf der zweiten Seite befinden und ist inhaltlich dem Bereich der Mechanik zuzuordnen. Optionale Hilfestellungen wurden in dieser ersten Version keine eingeplant. Unter der Annahme einer Bearbeitung zu zweit im Zuge eines Physikolympiade-Vorbereitungskurses wurde mit ungefähr zwei Doppelstunden als Bearbeitungszeit gerechnet. Was den geschätzten Grad an Komplexität beziehungsweise die Schwierigkeit der einzelnen Aufgabenstellungen angeht, wurden diese als alternierend eingeschätzt. Das heißt, dass kein streng monotoner Anstieg des Herausforderungsniveaus von Aufgabe zu Aufgabe etabliert wurde, was jedoch auch bei anderen Physikolympiade-Aufgabenstellungen in der Regel nicht der Fall ist. Schülerinnen und Schüler, welche bei einzelnen Aufgaben etwa im Zuge eines Wettbewerbs nicht weiterkommen, sich aber dennoch die restlichen Aufgaben des Blattes ansehen, können auf diese Weise dafür ‚belohnt‘ werden. Obwohl die Aufgabenstellungen dieses Blattes tendenziell lediglich den beiden Kompetenzbereichen W und E zugeschrieben werden können, unterscheiden sich die konkreten Handlungsanweisungen von Aufgabe zu Aufgabe und decken etwa ein Experiment, eine Videoanalyse, qualitative, sowie quantitative Überlegungen, sowie Transferleistungen ab. Thematische Schwerpunkte liegen bei dieser Aufgabe insbesondere auf der Energieerhaltung, sowie der Modellierung und Fehleranalyse, was anhand dieses Aufgabenblattes auch geübt werden soll. Darüber hinaus soll eine Videoanalyse zur Gewinnung weiterer Messergebnisse eingesetzt werden, womit auch das Kennenlernen und Anwenden dieses Tools einen Teil der Aufgabenbearbeitung ausmacht.

Wie bereits erwähnt, findet sich auf der ersten Seite des Angabeblattes die Einleitung, in welcher man zunächst darauf hingewiesen wird, dass man hier mit *Omas Lieblingshäferl*, also offenbar einem sehr heiklen und kostbaren Objekt hantieren würde. Idealerweise wird dazu von der Lehrkraft auch tatsächlich ein eher teurer aussehendes Häferl gewählt, um den ‚Schockeffekt‘ im Laufe des folgenden Experiments womöglich noch etwas zu verstärken. Daraufhin werden noch die benötigten Materialien angeführt und das Einstiegsexperiment angeleitet:

Polstere die Schachtel rundum und vor allem die Grundfläche gut (mit Polstern bzw. Verpackungsmaterial) aus. Halte die Stativstange mit deiner stärkeren Hand waagrecht in einer Höhe von $1,3\text{m}$ über dem Boden‘ direkt über die gepolsterte Schachtel. Hänge Omas Lieblingshäferl, wie in Abb. a.1 dargestellt, um die Stange und halte es am Ende der Schnur an der Mutter mit deiner anderen Hand gut fest. Ziehe das Häferl so weit hoch, dass die rote Markierung auf der Schnur gerade die Stange berührt. Was auch immer passiert, halte die Stange gut fest und immer waagrecht auf selber Höhe. Lass nun die Mutter los.

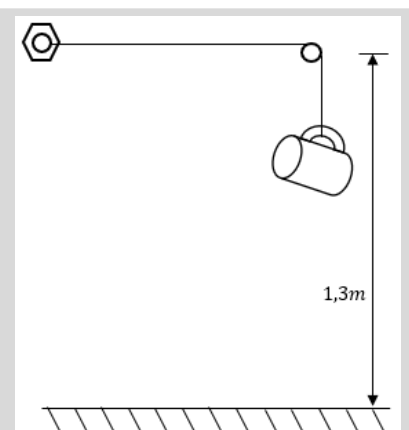


Abb. a.1: Versuchsaufbau

Was daraufhin zu beobachten ist, ist dass das Häferl zunächst hinunterfällt, die Mutter zugleich unter der Stativstange durchschwingt, dann jedoch nicht wie bei gewöhnlichen Fadenpendeln zum Stillstand kommt und wieder zurückschwingt, sondern sich in mehreren Umdrehungen um die Stativstange bewegt, wobei sich die Schur, an welcher Häferl und Mutter hängen, um die Stativstange wickelt, was letztlich zum Stillstand des Häferls führt. Dieser zunächst noch kaum gebremste freie Fall des Häferls kann mitunter ein spontanes Gefühl von Unbehagen – zuvor als Schockeffekt bezeichnet – auslösen, wobei eine mögliche, derartige emotionale Reaktion, insbesondere die Erleichterung, wenn man merkt, dass das Häferl doch nicht zu Bruch geht, in Verbindung mit Lerninhalten sogar förderlich für den Lernprozess sein kann.

In zuvor selbst durchgeführten Probeläufen zeigte sich jedoch, dass abseits des eben nicht eintretenden Falls, dass das Häferl ungebremst zu Boden fällt, dennoch zwei zu beachtende Gefahrenquellen für das Häferl bestehen. Zum einen kann es vor allem, wenn die Stativstange nicht durchgehend waagrecht gehalten wird, passieren, dass die Mutter, nachdem das Häferl zum Stillstand gekommen ist, wieder zurückschwingt, sich in Folge weiter löst, die Schnur entlang der Stativstange zu gleiten beginnt und sich wiederum rückabwickelt, wodurch das Häferl neuerlich und sukzessive in den freien Fall übergeht, was das Häferl letztlich dennoch zerstören kann. Aus diesem Grund wird in der Angabe gefordert, eine gut gepolsterte Schachtel unter das Häferl zu stellen, bevor die Mutter ausgelassen wird. Dies schmälert zwar eventuell die Anspannung und den ‚Schockeffekt‘ beim Versuch, ist jedoch erforderlich, wenn man nicht zu viele Häferl opfern möchte. Für den Fall, dass die Lehrperson den Versuch bei der ersten Durchführung beobachtet und gegebenenfalls eingreifen kann, sollte sich die Schnur wieder abwickeln, kann auf die Schachtel und die Polsterung verzichtet werden. Da der Versuch im Laufe der Bearbeitung jedoch noch mehrmals wiederholt werden soll, sollte man an dieser Stelle die Schülerinnen und Schüler auf diese Gefahrenquelle hinweisen, nachdem sie ihren ersten Versuch durchgeführt haben.

Andererseits besteht die Möglichkeit, dass die Mutter auf ihrer ersten Schwingung das Häferl direkt in dessen Fallbewegung trifft und das Häferl durch diesen Zusammenstoß zu Bruch geht. Um dies zu verhindern, wurden Mutter und Häferl bereits vor dem Versuch an eine gemeinsame Schnur geknüpft, deren Länge mit rund 1m somit vorgegeben war. Darüber hinaus wurde die Schnur mit einer roten Markierung versehen, auf deren Höhe die Schnur vor dem Loslassen an der Stativstange anliegen soll. Nachdem der Versuch erfolgreich durchgeführt wurde, sollen die Schülerinnen und Schüler das Angabeblatt wenden und sich den folgenden Aufgabenstellungen widmen.

3.1.1 Aufgabenstellung 1 – physikalische Deutung

Wieso geht das? Was passiert da? Überlegt gemeinsam und besprecht eure Ideen. Haltet eure Überlegungen (qualitativ, noch nicht rechnen) schriftlich fest.

Bei dieser einleitenden Aufgabenstellung sollen die Schülerinnen und Schüler sich zunächst Gedanken zu den hinter diesem Experiment liegenden physikalischen Konzepten machen und diese miteinander diskutieren. Dabei werden in der Aufgabenstellung zunächst ganz bewusst keinerlei Denkrichtungen vorgegeben, um die Problemlösefähigkeit der Schülerinnen und Schüler anzusprechen. Diese sehr offen formulierte Aufgabenstellung soll den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit bieten unterschiedlichste Ideen anzudenken und gegebenenfalls anzusprechen, diese kritisch zu hinterfragen und in der gemeinsamen Diskussion Argumente für oder gegen unterschiedliche Erklärungsmodelle auszutauschen. Die geforderte Verschriftlichung dieser Überlegungen soll dazu beitragen, dass sich die Schülerinnen und Schüler in der eigenen Gruppe entweder auf ein gemeinsames Erklärungsmodell einigen oder unterschiedliche Konzepte gegenüberstellen. In jedem Fall ist es wichtig, dass die Lehrperson die Schülerinnen und Schüler dazu auffordert, sich nach deren Erledigung dieser Aufgabenstellung bei der Lehrperson zu melden, um ihre Erklärungsansätze und Argumente dafür zu präsentieren und mit der Lehrperson zu besprechen. Hierbei sei angemerkt, dass dies speziell in Physikolympiade-Vorbereitungskursen im Regelfall problemlos möglich ist beziehungsweise es ohnedies üblich ist, dass die Lehrperson dabei ständig von Gruppe zu Gruppe wechselt, um mit diesen etwaige Zwischenstände zu diskutieren. Auf diese Weise können hierbei in der Praxis gezielt Lernendenvorstellungen aufgedeckt und individuell an diesen gearbeitet werden. Für den Einsatz beim Wettbewerb hingegen, könnte die Fragestellung in dieser Form möglicherweise zu offen formuliert sein. Relevante Grundideen, welche im Zuge der Bearbeitung dieser Aufgabenstellung idealerweise diskutiert werden sollten, betreffen den freien Fall, Fadenpendel, potentielle Energie, Energieerhaltung, sowie Reibung.

Lösungsvorschlag:

Das Häferl befindet sich zunächst im freien Fall. Es wird hier also potentielle in kinetische Energie umgewandelt. Da das Häferl über die Schnur mit der Mutter verbunden ist, überträgt sich die auf das Häferl wirkende Gravitationskraft auf die Mutter. → Die Mutter gewinnt an kinetischer Energie. Die Mutter führt eine Schwingung (Fadenpendel) aus. Die Fadenlänge des Pendels nimmt dabei mit der Zeit ab, wodurch die Mutter im Zuge ihrer Schwingung nun jedoch eine deutlich höhere Position erreichen kann, als sie ursprünglich hatte. Dies ist auf die verringerte Höhe des Häferls und die Energieerhaltung im System Häferl-Mutter zurückzuführen. Wickelt sich die Schnur um die Stange, so wächst die Reibungskraft an. Aus dem freien Fall des Häferls wird ein gedämpfter freier Fall, bis die Reibung die Bewegung stoppt.

3.1.2 Aufgabenstellung 2 – Slow Motion Aufnahme

Wiederholt das Experiment und nehmt es mittels Handy in Slow Motion auf. Fertigt eine Skizze vom Aufbau zu dem Zeitpunkt an, ab welchem das Häferl seine Höhe kaum mehr verändert. Besonders interessant ist dabei die Position (Winkel) der Mutter, sowie die Höhe des Häferls zu diesem Zeitpunkt. (Ein Maßstab könnte bei dieser Videoanalyse sehr nützlich sein.)

Obwohl viele moderne Smartphones Videos bereits in Slow Motion mit ausreichender Bildfrequenz aufnehmen können, kann im Allgemeinen nicht vorausgesetzt werden, dass die Schülerinnen und Schüler über ein solches Gerät verfügen. Daher wurde gleich bei der Materialienliste auf der ersten Seite des Angabeblattes darauf verwiesen und es empfiehlt sich, als Lehrperson gegebenenfalls selbst ein Gerät mit dieser Funktion bereitzuhalten. Ebenso wie Aufgabenstellung 1 soll auch die hier geforderte Videoanalyse zu Erkenntnissen führen, welche in die Überlegungen zu den nachfolgenden Aufgabenstellungen einfließen sollten. Speziell geht es dabei vor allem darum zu beobachten, dass einerseits das Häferl tatsächlich nach einer kurzen Phase, in der es sich zweitens näherungsweise im freien Fall befindet, relativ abrupt zum Stillstand kommt. Außerdem sollen hier die Positionen von Mutter und Häferl zum Zeitpunkt des nahezu Stillstands des Häferls durch Analyse des aufgenommenen Videos ermittelt werden. Bewusst wurden hier keine weiteren, genaueren Vorgaben zum exakten Versuchsaufbau gegeben, obwohl bei der Planung dieser Aufnahme einige relevante Dinge zu beachten sind: In welchem Abstand von der Schnur soll die Kamera positioniert werden, um einen ausreichend hoch aufgelösten Bildausschnitt aller relevanten Objekte zu erhalten? Aus welcher Perspektive kann das Video aufgenommen werden, um daran die benötigten Positionen und Winkel ablesen zu können? Wo kann der Maßstab positioniert werden, um perspektivische Fehlerquellen beim Auslesen der Messdaten zu minimieren, das Experiment jedoch nicht zu behindern? Wie lässt es sich verhindern, dass die Stativstange samt haltendem Arm gegebenenfalls mitschwingt, wenn das Häferl abgebremst wird? Ziel ist es hierbei die Kompetenz des Planens von Experimenten anzusprechen und zu fördern. Entsprechend wäre auch hier der neuerliche Austausch zwischen Lehrperson und Schülerinnen beziehungsweise Schülern ratsam. Auf einige der oben formulierten und zu bedenkenden Fragestellungen stoßen die Schülerinnen und Schüler jedoch möglicherweise auch selbst spätestens zu dem Zeitpunkt, zu welchem sie versuchen die Daten aus dem aufgenommenen Video zu extrahieren, modifizieren ihren Aufbau gegebenenfalls entsprechend und wiederholen das Experiment. Eine weitere hierbei angesprochene Kompetenz richtet sich an das Modellieren der Situation. So soll eine Skizze des Experiments von jenem Zeitpunkt gezeichnet werden, zu dem sich die Höhe des Häferls ‚kaum mehr‘ verändert. Diese Angabe lässt hier also bewusst einen gewissen Interpretations- und Diskussionsfreiraum offen.

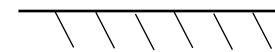
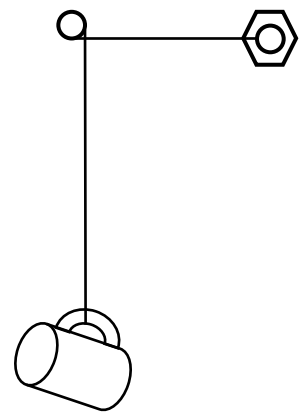


Abb. a.2: Skizze zur Position der Mutter zum Zeitpunkt, ab welchem eine deutliche Bremsbeschleunigung des Häferls zu beobachten ist.

Lösungsvorschlag:

Wichtig ist es, dass ein Maßstab in selber Entfernung von der Kamera, wie der Abstand Schnur-Kamera, senkrecht platziert wird, um bei der Analyse Höhendifferenzen sinnvoll auslesen zu können. Außerdem sollte die Kamera in etwa auf der Drehachse der Mutter, also auf einer gedanklich verlängerten Geraden entlang der Stativstange liegen, um die Position der Mutter bestimmen zu können. Einem eventuell zu stark

mitschwingenden Arm kann durch Befestigung der Stativstange an ein oder zwei Stativen entgegengewirkt werden. Das Häferl kommt bei der verwendeten Schnur und Stativstange relativ abrupt zum Stillstand, nachdem das Pendel einen Winkel von ca. 180° überstrichen hat (vgl. Abb. a.2).

3.1.3 Aufgabenstellung 3 – Geschwindigkeitsbestimmung

Bestimmt die Geschwindigkeit der Mutter zu jenem Zeitpunkt, zu dem sie sich erstmals direkt unterhalb der Stativstange befindet unter der Annahme, dass das Häferl zu diesem Zeitpunkt abrupt (Reibung) stehen bleibt.

(Sollte eure Analyse aus Punkt 2 ergeben haben, dass das Häferl seine Position noch verändert, während die Mutter sich erstmals unterhalb der Stange befindet, könnt ihr von einem freien, ungedämpften Fall des Häferls bis hier-hin ausgehen.)

Hierbei handelt es sich also um eine hypothetische Annahme, die insbesondere aufgrund der nur schwierig abzuschätzenden, jedoch nicht linear anwachsenden Gleitreibung zwischen Schnur und Stativstange, beziehungsweise zwischen einzelnen Schnurabschnitten, getroffen wird, um dennoch zumindest grobe Berechnungen zu Energie und Geschwindigkeit anstellen zu können. Die Sinnhaftigkeit eben dieser Annahmen wird jedoch zu späterem Zeitpunkt in Aufgabenstellung 6 noch explizit thematisiert. Neuerlich ist die Fragestellung recht offen formuliert und gibt keinen konkreten Lösungsweg vor. Intendiert ist jedoch ein Ansatz über die Energieerhaltung. Sowohl Häferl als auch Mutter verlieren bis zum beobachteten Zeitpunkt potentielle Energie, welche offenbar in kinetische Energie des Häferls, in Rotationsenergie der Mutter (kinetische Energie) und in Wärme umgewandelt wird. Da in der Angabe angenommen wird, dass das Häferl abrupt stehen bleibt, wird diesem also keine kinetische Energie mehr zugeschrieben. Um darauf hinzuweisen, dass auch die Wärme aufgrund von Reibung, etc. bei dieser recht fiktiven Betrachtung vernachlässigt werden soll, wurde in Klammer angemerkt, dass von einem ungedämpften, freien Fall des Häferls bis dahin ausgegangen werden soll. Ob diese Überlegungen von den Schülerinnen und Schülern als solche verstanden werden, wird ein Beobachtungsfokus während der Erprobung der Aufgabenstellung sein. Ziel bei dieser Aufgabenstellung ist es vorrangig, dass die Schülerinnen und Schüler nun neuerlich auf die bei Aufgabenstellung 1 diskutierten physikalischen Phänomene zurückgreifen und an einer Idee zur Quantifizierung der gesuchten Geschwindigkeit arbeiten. Neuerlich sollte also auch der argumentative Austausch zwischen den Schülerinnen und Schülern beziehungsweise in Folge auch mit der Lehrkraft fokussiert und hierfür auch ausreichend viel Zeit eingeräumt werden. Darüber hinaus soll auch die mathematische Anwendung bekannter Zusammenhänge etwa betreffend potentieller und kinetischer Energie, Tangentialgeschwindigkeit, Höhendifferenz, etc. durch diese Aufgabenstellung geübt werden.

Lösungsvorschlag:

Aufgrund der Angabe (Modellierung) kann angenommen werden, dass nun die gesamte vom System umgewandelte Energie in der Bewegung (zu diesem Zeitpunkt waagrecht) der Mutter steckt. Die Massen von

Häferl $m_{Häf}$ und Mutter m_{Mut} müssen getrennt mittels Waage bestimmt werden. Die Masse der Schnur kann vernachlässigt werden. Mittels Videoanalyse kann die bis dahin überwundene Höhendifferenz des Häferls $\Delta h_{Häf}$ abgelesen und daraus die umgewandelte potentielle Energie $\Delta E_{pot,Häf}$ berechnet werden. Auch die in der Mutter umgewandelte potentielle Energie $\Delta E_{pot,Mut}$ wird berechnet und zur Gesamtenergie $E_{kin,Mut}$ addiert. Diese ergibt sich aus der überwundenen Höhendifferenz der Mutter Δh_{Mut} (Schnurlänge von Mutter bis rote Markierung l_1 abzüglich überwundener Höhendifferenz des Häferls $\Delta h_{Häf}$) und ihrer Masse. Die so ermittelte Gesamtenergie entspricht nun der kinetischen Energie der Mutter. Daraus lässt sich die Geschwindigkeit der Mutter berechnen.

Die folgenden Messwerte entsprechen jenen, welche mit den konkreten, auch bei der Erprobung verwendeten Materialien erzielt wurden. Insbesondere die Masse des Häferls kann eine andere sein, wenn das Experiment mit eigenen Materialien nachgemacht wird. l_{Schnur} ist die Gesamtlänge der Schnur zwischen Mutter und Häferl. Sie wird hier jedoch nicht weiter verwendet und wird lediglich zwecks etwaigem Nachbau angeführt.

$$m_{Häf} \approx 255 \text{ g} \quad m_{Mut} \approx 11,0 \text{ g} \quad l_{Schnur} \approx 101 \text{ cm} \quad l_1 \approx 82 \text{ cm} \quad \Delta h_{Häf} \approx 52 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} E_{kin,Mut} &= \Delta E_{pot,Häf} + \Delta E_{pot,Mut} = (m_{Häf} \cdot \Delta h_{Häf} + m_{Mut} \cdot (l_1 - \Delta h_{Häf})) \cdot g \\ &\approx (0,255 \cdot 0,52 + 0,011 \cdot (0,82 - 0,52)) \cdot 9,81 \approx 1,33 \text{ J} \end{aligned}$$

$$E_{kin,Mut} = \frac{m_{Mut} \cdot v^2}{2} \approx 1,33 \text{ J} \quad \Rightarrow \quad \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin,Mut}}{m_{Mut}}} = v \approx 15,6 \text{ m/s}$$

3.1.4 Aufgabenstellung 4 – Salto

Angenommen, die Reibung würde zu diesem Zeitpunkt (aus Frage 3) schlagartig groß genug werden, um das Häferl zum Stillstand zu bringen. Würde die Mutter den Salto dann dennoch schaffen? Rechnet nach!

Auch diese Fragestellung bezieht sich neuerlich auf potentielle Energie sowie die Energieerhaltung insbesondere beim Fadenpendel. Dennoch ist Aufgabenstellung 4 weniger komplex als Aufgabenstellung 3 und kann beispielsweise, falls es bei Aufgabenstellung 3 Probleme gab und etwas intensivere Unterstützung und Tipps vonseiten der Lehrperson nötig waren, nun als leicht variierte Transferaufgabe zum Üben dienen. Sollte Aufgabenstellung 3 nicht über den Energiesatz gelöst worden sein, so soll Aufgabenstellung 4, welche hinsichtlich möglicher Lösungswege und angesichts der Einfachheit einer Lösung über den Energiesatz, diesen hier nun doch noch ins Spiel bringen.

Lösungsvorschlag:

Für einen Salto müsste die Mutter das Doppelte der momentanen Fadenlänge des Fadenpendels an Höhe überwinden können. Ein Vergleich dieser benötigten potentiellen Energie $\Delta E'_{pot,Mut}$ mit der aktuellen Energie des Systems zeigt, dass dies möglich ist.

$$\Delta h_{Mut} = l_1 - \Delta h_{Haf} \approx 0,3 \text{ m}$$
$$\Delta E'_{pot,Mut} = m_{Mut} \cdot g \cdot 2 \cdot \Delta h_{Mut} \approx 0,011 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 0,3 \approx 0,065 \text{ J} < 1,33 \text{ J} = E_{kin,Mut}$$

3.1.5 Aufgabenstellung 5 – Katapult

Katapult: Stellt euch vor, die Mutter würde zu diesem Zeitpunkt (aus Frage 3) den Kontakt zum Seil verlieren („losgelassen werden“). Wie weit (waagrechte Entfernung) würde die Mutter fliegen, bevor sie den Boden berührt?

Nach einigen Betrachtungen zur Energie soll nun auch noch der waagrechte Wurf behandelt werden. Zentrale Grundideen sind dabei das Unabhängigkeitsprinzip, sowie Newtons erstes und zweites Axiom. Die Mutter würde in diesem Fall eine horizontale, gleichmäßige, gleichförmige und zugleich eine konstant beschleunigte senkrechte Bewegung ausführen. Erstere bestimmt, wie weit (horizontale Distanz) die Mutter auf ihrem Flug kommt, zweitere bestimmt, wie lange sie dafür Zeit hat, bevor sie am Boden auftrifft. Zumeist sollten diese Zusammenhänge aus dem Regelunterricht bereits gut bekannt sein und hier bloß als relevant erkannt und entsprechend angewendet werden.

Lösungsvorschlag:

Bei gegebener horizontaler Anfangsgeschwindigkeit v der Mutter, kann die gesuchte Distanz s mittels aktueller Höhe h der Mutter über dem Boden und der Formeln für den waagrechten Wurf berechnet werden. Die Flugdauer t ist dabei selbstverständlich für die waagrechte, sowie die senkrechte Bewegung dieselbe. Die Mutter befindet sich derzeit ca. $1,00 \text{ m}$ über dem Boden. Freier Fall:

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \approx \sqrt{\frac{2}{9,81}} \approx 0,45 \text{ s}$$

Waagrechtlicher Wurf:

$$s = v \cdot t \approx 15,6 \cdot 0,45 \approx 7,03 \text{ m}$$

3.1.6 Aufgabenstellung 6 – Vereinfachungen bei Modellierung

Welche Vereinfachungen wurden bei obigen Berechnungen angenommen? Wie sinnvoll schätzt ihr diese ein? Haltet eure Überlegungen schriftlich fest.

In den vorangegangenen Aufgaben wurden bestimmte Annahmen getroffen und als solche vorgegeben, obwohl diese nicht eins zu eins so mit den Beobachtungen aus der Videoanalyse übereinstimmten. Aufgabe

der Schülerinnen und Schüler ist es nun diese Annahmen zu bewerten. Dazu müssen sie eine sinnvolle Fehlerabschätzung durchführen und idealerweise miteinander darüber diskutieren. Dabei tritt auch erneut die Frage in den Mittelpunkt, ab wann bestimmte Modelle als Vereinfachungen der Realität zulässig sind.

Lösungsvorschlag:

Es wird angenommen, dass die Reibungskraft plötzlich einsetzt und augenblicklich groß genug ist, um die Gravitationskraft auf das Häferl zu kompensieren. Dies entspricht nicht der Realität, ist aber eine nötige Vereinfachung für die weiteren Abschätzungen/Berechnungen in dieser einfachen Art. Eine detailliertere Videoanalyse zeigt jedoch, dass die Bewegung des Häferls bis zum Zeitpunkt, an dem sich die Mutter erstmals direkt unter der Stange befindet, im Vergleich zu den Messfehlern (z.B. Höhen anhand der Videoanalyse ablesen) durchaus als freier Fall angenommen werden kann. Da sich die Höhe des Häferls (Videoanalyse) kaum noch ändert ab jenem Zeitpunkt, zu dem das Pendel erstmals einen Winkel von 180° überwunden hat, nimmt die Reibungskraft in diesem Zeitintervall tatsächlich relativ rasch ausreichend große Werte an. Für eine grobe Abschätzung der Verhältnisse kann diese Methode angesichts der Messfehler also durchaus herangezogen werden.

3.1.7 Aufgabenstellung 7 – Pendeluhr

Vergleicht dieses Experiment mit der Funktionsweise einer Pendeluhr. Welche Ähnlichkeiten könnt ihr feststellen? Welche Unterschiede gibt es? Haltet eure Überlegungen schriftlich fest.

Bei dieser abschließenden Fragestellung kann es interessant sein zu beobachten, wie tiefgehend die Schülerinnen und Schüler Analogien herstellen. Natürlich bietet sich an dieser Stelle an, sich zunächst auf ein frei schwingendes Pendel zu beziehen und festzuhalten, dass hierbei aufgrund der Energieerhaltung die Amplitude stets konstant bliebe, im Vergleich zum Versuch jedoch das Pendel keinen Überschlag vollführt. Bezieht man Reibungseffekte, welche spätestens durch Aufgabenstellung 6 in der einen oder anderen Form diskutiert worden sein sollten, jedoch mit ein, so nimmt die Amplitude einer Pendeluhr nur deshalb nicht ab, da in regelmäßigen zeitlichen Abständen, ähnlich wie im vorliegenden Experiment, dem massearmen Pendelkörper durch stückweises Fallen einer anderen, an das Pendel gekoppelten, deutlich größeren Masse, Energie zugeführt wird. Möglicherweise kann dieser abschließende Vergleich, mit dem versucht wird, den gespannten Modellierungsbogen durch ein Anwendungsbeispiel wieder zu schließen, einzelne Schülerinnen und Schüler dazu anregen, sich weitergehend mit derlei groben Modellierungen und Bewertungen dieser im Alltag zu befassen, quasi als Spiel.

Lösungsvorschlag:

Auch bei einer Pendeluhr wird eine große Masse immer dann mit dem Pendel gekoppelt und für einen kurzen Moment dem freien Fall ausgesetzt, wenn die Amplitude des Pendels zu gering wird. Diese Rückkopplung hält das Pendel trotz kleiner Verluste für eine längere Dauer bei ausreichender (für die Beobachterin beziehungsweise den Beobachter) Amplitude am Schwingen.

3.2 Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot

Das Aufgabenblatt fokussiert physikalisch inhaltlich auf die Thermodynamik. Bei wiederum intendierter Bearbeitung zu zweit im Zuge eines Physikolympiade-Vorbereitungskurses wird von einer Bearbeitungsdauer von abermals rund zwei Doppelstunden ausgegangen. Das Aufgabenblatt enthält zehn Aufgabenstellungen, wobei die Aufgabenstellungen 1 bis 7 sich mit den grundlegenden Ideen befassen, während die übrigen drei Aufgabenstellungen als Vertiefungsaufgaben für besonders interessierte Schülerinnen und Schüler gedacht sind und auch mathematisch etwas anspruchsvoller sind. Der Vertiefungsblock wird mit einem kurzen Theorieinput eingeleitet und an einer Stelle auch mit einer besonders langen, dreiseitigen, optional lesbaren Zusatzinformation zur Herleitung einer an sich angegebenen Formel durch das Lösen einer Differentialgleichung ausgestattet, um innerhalb des Vertiefungsblocks abermals leistungsdifferenziert vorgehen zu können. Es ist jedoch eher davon auszugehen, dass dieses Zusatzangebot vermutlich nur einzelne Schülerinnen und Schüler des Interessentyps A ansprechen wird, auf welche hier aber nicht vergessen werden soll. Das reine Angabeblatt ohne genanntem optionales Zusatzangebot umfasst vier A4-Seiten, wobei der grundlegende Teil mit Einleitung, Materialien und den Aufgabenstellungen 1 bis 7 eine Seite umfasst. Der Vertiefungsteil mit den drei tiefergehenden Aufgabenstellungen samt Theorieinput findet sich auf zwei weiteren Seiten und die vierte Seite enthält ein Phasendiagramm, welches bei mehreren Aufgabenstellungen immer wieder auf unterschiedliche Weise genutzt werden soll. Neuerlich wechseln sich einfachere Aufgabenstellungen mit anspruchsvolleren ab – Vertiefungsteil ausgenommen – insgesamt wird das gesamte Aufgabenblatt aber als komplexer, umfassender – was die diversen benötigten physikalischen Grundkenntnisse betrifft – und daher schwieriger eingeschätzt als die beiden anderen Aufgabenblätter. Darüber hinaus bleibt hinsichtlich der Erprobung vor allem die Frage offen, inwieweit Schülerinnen und Schüler sich davor bereits mit Phasendiagrammen etwa im Regelunterricht auseinandergesetzt haben und wie gut sie mit diesen bereits umgehen können, beziehungsweise ob die Arbeit mit einem solchen auf Basis der entwickelten Aufgabenstellungen hier bereits ohne explizite ‚Aufklärung‘ durch eine Lehrkraft zu Kompetenzverbesserungen in diesem Bereich führen können.

Thematisch befasst sich das Aufgabenblatt mit Zustandsänderungen von Wasser in einer Spritze, wobei unterschiedliche Beziehungen zu Alltagsbereichen hergestellt werden, beziehungsweise von den Schülerinnen und Schülern hergestellt werden sollen, so etwa Erkenntnisse zum Umgang mit Infusionen für medizinisches Personal, das Kochen bei unterschiedlichen Luftdrücken wie etwa im Gebirge, als auch zum Tauchsport. Sofern diese intendierten Verknüpfungen bei den Schülerinnen und Schülern auch wie erhofft entstehen, sollte das Aufgabenblatt, insbesondere der grundlegende Teil davon, auch Schülerinnen und Schüler des Interessentyps B ansprechen können. Vorausgesetzt beziehungsweise strapaziert und entwickelt werden sollen Kompetenzen zu den Bereichen und physikalischen Begriffen Kraft und Newton'sche Axiome, Zustandsformen, Teilchenmodell und Druck. Dabei müssen im Laufe der Aufgabenstellungsbearbeitung immer wieder experimentelle Messdaten erhoben, kleine Experimente durchgeführt,

Beobachtungen gemacht und formuliert, sowie Diagramme genutzt oder erstellt und diverse Rechnungen durchgeführt werden. Auch hinsichtlich Diversität der gestellten Kompetenzanforderungen stellt sich dieses Aufgabenblatt gegenüber den anderen beiden also als das komplexeste dar.

3.2.1 Aufgabenstellung 1 – Vorbereitung

Stelle dir etwas Wasser aus der Wasserleitung bereit. Miss und notiere nun folgende, wichtige Versuchsbedingungen: Wassertemperatur, Raumtemperatur, Luftdruck (mit der Handyapp phyphox).

Für diese einführende und simple Vorbereitungs- und Messaufgabe stehen den Gruppen ein Becherglas, ein Alkoholthermometer und die Handyapp phyphox zur Verfügung. Ziel dieser einleitenden Aufgabe ist es, die Schülerinnen und Schüler sanft in das Aufgabenblatt einzuführen, wobei auch hier bereits auf einige Dinge geachtet werden muss oder kann, anhand derer Diskussionen innerhalb der Gruppe oder auch mit der Lehrperson angeknüpft werden können. So lässt sich beispielsweise rein messtechnisch die Raumtemperatur am besten vor der Wassertemperatur messen, da das Thermometer sich dieser voraussichtlich bereits angepasst hat, oder man lässt das Wasser im Becherglas etwas ruhen, sodass es die Raumtemperatur annimmt und man somit mit stabileren Bedingungen fortfahren kann. Außerdem wäre es schön, wenn auch hier noch nicht erforderlich, wenn die Messwerte direkt in SI-Einheiten angegeben werden. Des Weiteren sind die in Smartphones verbauten Barometer durchaus präzise genau, um via phyphox schon kleine Höhenänderungen von wenigen Zentimetern durch die entsprechende Druckänderung auszugeben. Die gemessenen Druckwerte werden dabei von phyphox in hPa und auf $0,1 Pa$ genau angegeben. Hier wird jedoch sinnvolles Runden basierend auf einer groben Fehlerabschätzung angesichts der Dauer der Bearbeitung des Aufgabenblattes und der möglicherweise nicht immer konstanten Experimentierhöhe angebracht sein. Sollte die Bearbeitung des Aufgabenblattes unterbrochen und an verschiedenen Tagen durchgeführt werden, kann die Lehrperson hier auch etwa explizit nachfragen, ob mit den Messwerten vom letzten Mal weitergerechnet werden kann, oder ob sich an diesen etwas maßgeblich verändert hat.

Lösungsvorschlag:

Das Wasser aus der Wasserleitung kann in einem der beiden Bechergläser bereitgestellt werden. Damit die Wassertemperatur T_W im Laufe der Experimente halbwegs konstant bleibt, empfiehlt es sich, das Wasser eine Zeit lang stehen zu lassen, damit sich dessen Temperatur der Raumtemperatur T_{atm} angleichen kann. Wasser- und Raumtemperatur können mit dem Alkoholthermometer nacheinander gemessen werden. Die Messung des aktuellen Luftdrucks p_{atm} kann mit dem Smartphone in der App phyphox im Bereich ‚Sensoren‘ > ‚Luftdruck‘ gemessen werden.

Für die Berechnungen im Zuge des Lösungsvorschlags werden die folgenden Werte angenommen, welche natürlich im Allgemeinen von den Messungen der Schülerinnen und Schüler abweichen werden:

$$T_W \approx T_{atm} \approx (22 \pm 1) ^\circ C, \quad p_{atm} \approx (950 \pm 0,2) hPa$$

3.2.2 Aufgabenstellung 2 – Koexistenz zweier Phasen

Befülle die Spritze mit ausschließlich 5 ml flüssigem Wasser bei aktuellem Luftdruck. (Achte darauf, dass keine Luft eingeschlossen ist.) Verschließe nun den Spritzenzylinder mit deinem Finger und ziehe kräftig am Spritzenkolben. Halte deine Beobachtungen zur Flüssigkeit im Zylinder fest! Beschreibe auch, was sich im Zylinder befindet und wie sich das Volumen des flüssigen Wassers darin ändert!

Die Erfüllung dieser Aufgabenstellung ist bereits deutlich komplexer als bei der vorherigen Aufgabe. Zunächst sollen die Schülerinnen und Schüler den angeführten Versuch durchführen. Dafür ist eine Kraft von ungefähr 45 N erforderlich (vgl. Kap. 3.2.5), was insbesondere dann schon recht viel ist, wenn man diese mit den Fingern so ausüben muss, dass Spritzenzylinder und Spritzenkolben gut umfasst und in entsprechender Position gehalten werden, zugleich darauf geachtet wird, dass der Zylinder vorne gut mit dem eigenen Finger verschlossen bleibt und man während man diese Kraft ausübt, auch noch möglichst genaue Beobachtungen des Wassers im Inneren anstellen soll. Arbeiten die Schülerinnen und Schüler jedoch zu zweit zusammen, sollte es leicht möglich sein, jeweils entweder die Spritze zu halten oder das Innere zu beobachten und anschließend Rollen zu wechseln. Die im Angabentext zuletzt angeführte Handlungsanweisung bezieht sich diverse Lernendenvorstellungen zum Begriff Gas (vgl. Kap. 10.1.2) und soll sie allgemein dazu anregen sich genau zu überlegen, womit vor allem jener Raum im Inneren der Spritze, welcher sich oberhalb des offensichtlich mit flüssigem Wasser gefüllten Volumens befindet, gefüllt ist. Dabei wird auch auf die Änderung des Volumens des flüssigen Wassers Bezug genommen, um damit subtil auf die sehr unterschiedlichen Dichteverhältnisse in der flüssigen beziehungsweise gasförmigen Phase des Wassers in der Spritze und die damit in Verbindung stehende Inkompressibilität des flüssigen Wassers hinzuweisen. Insgesamt ist diese Aufgabenstellung erneut bewusst sehr offen formuliert, soll zu intensiven Diskussionen anregen und zunächst hier rein qualitativ, phänomenologisch beantwortet werden.

Lösungsvorschlag:

Nach der erzwungenen Volumenvergrößerung bilden sich im flüssigen Wasser gut erkennbare Gasbläschen. In diesen, sowie über dem flüssigen Wasser befindet sich nun Wasser in gasförmiger Phase mit dem Siededruck entsprechend der Wassertemperatur (bei diesem Druck können flüssige und gasförmige Phase parallel koexistieren). Der Gasdruck im Inneren des Spritzenzylinders ist somit unabhängig vom Volumen, da bei Volumsvergrößerung quasi instantan mehr Teilchen aus der flüssigen in die gasförmige Phase übergehen und den Gasdruck wieder angleichen.

Aufgrund der Inkompressibilität von Flüssigkeiten und der deutlich geringeren Dichte im Wassergas verglichen zur flüssigen Phase nimmt das Volumen des flüssigen Wassers zwar minimal ab, dies ist jedoch in der Praxis und mit freiem Auge nicht beobachtbar.

3.2.3 Aufgabenstellung 3 – Phasendiagramm und Molrechnung

Nutze das Phasendiagramm in Abb. b.1 um den Gasdruck im Inneren des Spritzenvolumens zu eruieren. Für eine Expansion von anfänglich ausschließlich 5 ml flüssigen Wassers im Spritzenzylinder auf insgesamt 20 ml Innenvolumen berechne, um wieviel sich die Masse des flüssigen Wassers dabei verringert und um wieviel die Höhe der Wassersäule im Spritzenzylinder bei senkrecht gehaltener Spritze dabei abnimmt!

Die angegebene Abb. b.1 kann in Kapitel 10.2.2 dieser Arbeit eingesehen werden, ist jedoch auch weiter unten im aktuellen Kapitel in manipulierter Form als Teil des Lösungsvorschlags ersichtlich. Die Aufgabenstellung ist deutlich komplexer als die beiden vorangegangenen, einleitenden Aufgabenstellungen und ist auch die erste, bei welcher quantitative Berechnungen durchgeführt werden sollen. Wichtig ist es, dass die Schülerinnen und Schüler aus Aufgabenstellung 2 mitgenommen haben, dass sich im Spritzenzylinder nach der Expansion immer noch nur Wasser, jedoch in flüssigem und nun auch gasförmigem Aggregatzustand befindet. Die Abfolge der Arbeitsanweisungen in der Aufgabenstellung soll einen kleinen Leitfaden zur Vorgehensweise bei der Berechnung der Volumenänderung der flüssigen Phase des Wassers im Zylinder darstellen, setzt jedoch dabei voraus, dass die Schülerinnen und Schüler die einzelnen Aufträge auch in eben jener Reihenfolge abarbeiten.

So sollen die Schülerinnen und Schüler sich zunächst auf der ‚Suche nach dem gefragten Gasdruck‘ mit dem angeführten Phasendiagramm vertraut machen. Sowohl Druck als auch Temperatur sind hier jeweils in zwei unterschiedlichen Einheiten auf den gegenüberliegenden Achsen ablesbar. Dies kann bei den Schülerinnen und Schülern möglicherweise dazu führen, diese jeweiligen Einheiten miteinander zu verknüpfen und sich auf die jeweiligen SI-Einheiten zu besinnen, was insbesondere beim Rechnen mit diesen Größen im folgenden Verlauf der Bearbeitung dieser Aufgabenstellung noch relevant sein wird. Weiters ist es zunächst erforderlich, dass die Schülerinnen und Schüler die diversen Bereiche, welche bestimmten Phasen entsprechen, als solche im Diagramm zu erkennen, sowie die Grenzlinie zwischen flüssiger und gasförmiger Phase als Siedekurve zu identifizieren. In Vorbereitungskursen zur Physikolympiade sollten sich die Schülerinnen und Schüler hier mit Fragen an die Lehrperson richten können, um etwaige Unterschiede betreffend Vorwissen auszugleichen. Dennoch ist das das Ziel, dass das angeführte Diagramm hinreichen selbsterklärend ist, um bei hinlänglicher Beschäftigung der Schülerinnen und Schüler mit diesem gegebenenfalls selbst zu diversen relevanten Erkenntnissen führen zu können. Ist die Siedekurve einmal entdeckt, soll zum aus Aufgabenstellung 1 bekannten Temperaturwert nur noch der zugehörige Funktionswert des Drucks abgelesen werden.

Für den zweiten Teil der Aufgabenstellung, nämlich zur Berechnung der Masse des aus flüssiger in gasförmige Phase gewechselten Wassers, kann nun gegebenenfalls auf die Physikolympiade-Formelsammlung zurückgegriffen werden und mittels Allgemeiner Gasgleichung und etwas Molrechnung die gesuchte Massendifferenz aus dem eruierten Gasdruck berechnet werden. Hierbei spielen diverse elementare Grundvorstellungen zum Teilchenmodell eine wichtige Rolle, welche durch die Bearbeitung der Aufgabenstellung

strapaziert beziehungsweise geübt werden sollen. Die Beantwortung der letzten Fragestellung nach der Volumenänderung des Wassers in flüssiger Phase setzt voraus, dass den Schülerinnen und Schülern bekannt ist, dass das Wasser in flüssiger Phase nahezu inkompressibel ist. Abgesehen davon sollte die Aufgabe aber bei zuvor berechneter Massendifferenz und Messung des Innendurchmessers des Spritzenzylinders über die Dichte möglich sein. Hilfestellungen wurden vorab auch bei dieser Aufgabenstellung keine festgehalten. Ziel der Erprobung wird es daher auch sein zu beobachten, ob und falls ja, welche optionalen Hilfestellungen hier gegebenenfalls ergänzt werden könnten.

Lösungsvorschlag:

Das Phasendiagramm (Abb. b.1) zeigt (unter anderem) die Siedekurve von Wasser. Wie die in Abb. b.3 eingezeichneten gelben Linienmarkierungen zeigen, siedet Wasser mit einer Temperatur von $T_W \approx 22\text{ }^\circ\text{C}$ bei einem Druck $p_{Gas} \approx 23\text{ hPa}$.

Aufgrund der nahezu Inkompressibilität des flüssigen Wassers ergibt sich mit einem Gasvolumen von $V_{Gas} \approx 15\text{ ml}$, der Boltzmann-Konstanten $k_B \approx 1,381 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$ und der allgemeinen Gasgleichung:

$$N = \frac{p_{Gas} \cdot V_{Gas}}{k_B \cdot T_W} \approx \frac{2300 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}}{1,381 \cdot 10^{-23} \cdot 295} \approx 8,468 \cdot 10^{18}\text{ Teilchen}$$

Mit der Avogadro-Konstanten $N_A \approx 6,022 \cdot 10^{23}\text{ /mol}$ ergibt sich für die Stoffmenge n an gasförmigem Wasser:

$$n = \frac{N}{N_A} \approx 14,1\text{ }\mu\text{mol}$$

und somit über die molare Masse $M = 18\text{ g}$ für ${}^1_1\text{H}_2\text{}^{16}_8\text{O}$ eine Masse m von

$$m = n \cdot M \approx 2,5 \cdot 10^{-7}\text{ kg}$$

Bei einer Dichte $\rho \approx 998\text{ kg/m}^3$ für flüssiges Wasser bei $22\text{ }^\circ\text{C}$ (Druckauswirkung vernachlässigbar) entspricht dies einer Reduktion des Volumens des flüssigen Wassers im Spritzenzylinder $\Delta V_{fl.}$ von

$$\Delta V_{fl.} = \frac{m}{\rho} \approx 2,5 \cdot 10^{-10}\text{ m}^3$$

und unter Berücksichtigung des Spritzenzylinder-Innenradius $R \approx 1,05\text{ cm}$ (zB. mittels Geo-Dreieck gemessen) einer Änderung der Höhe des Wasserzylinders in flüssiger Phase Δh von

$$\Delta h = \frac{\Delta V_{fl.}}{R^2 \cdot \pi} \approx 0,73\text{ }\mu\text{m}$$

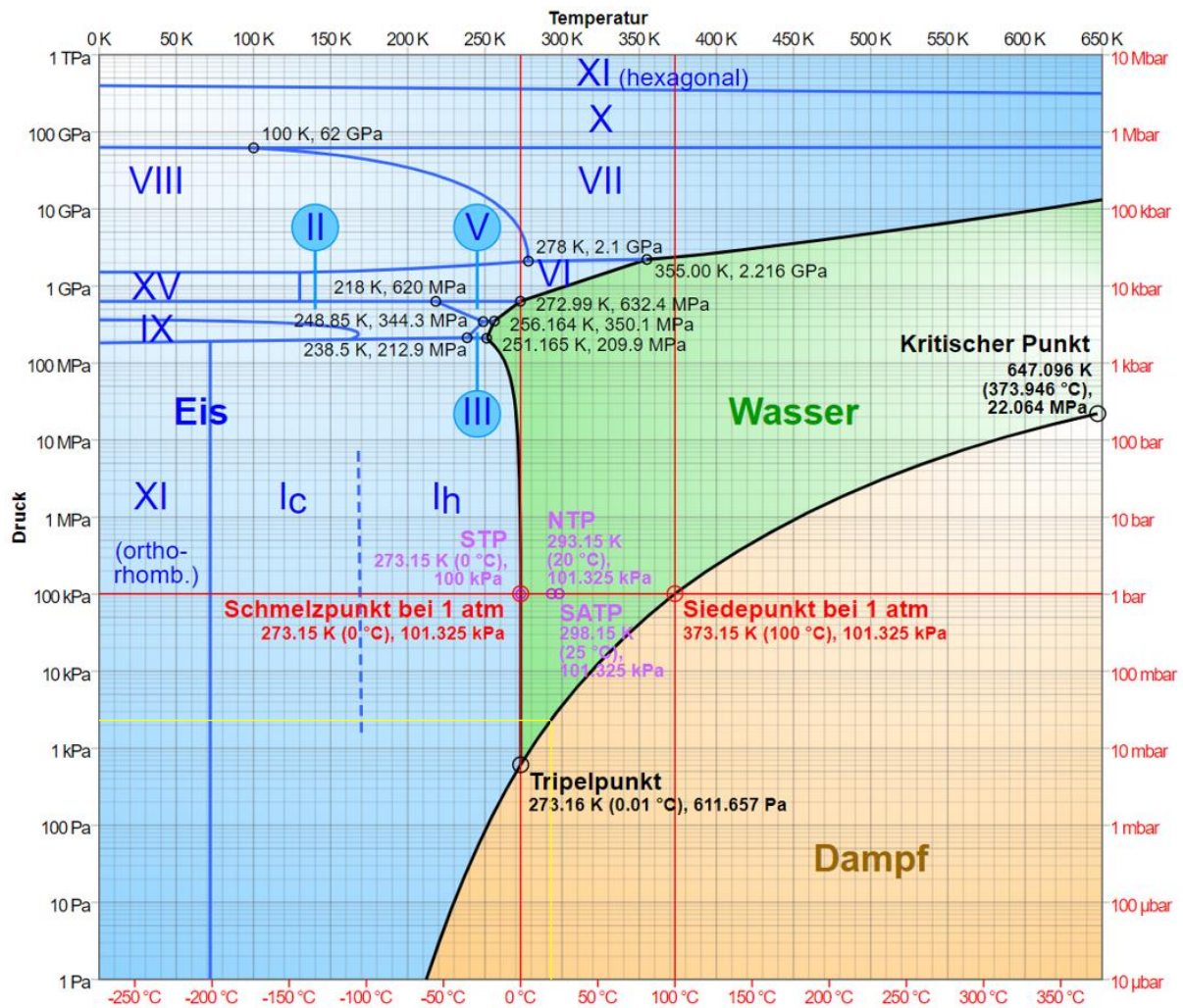


Abb. b.3: Phasendiagramm von Wasser. Die gelben Linienmarkierungen erlauben ein Auslesen des Siededruckes p_1 von Wasser bei einer Temperatur von $T_{W1} \approx 22\text{ °C}$. (Verändert nach Chaplin, 2000-2020).

3.2.4 Aufgabenstellung 4 – Kräftegleichgewicht I

Gib die Kraft an, welche du aufbringen musst, um den Kolben in Aufgabe 3. bei 20 ml Innenvolumen zu halten!

[Vernachlässige den hydrostatischen Druck bei den Aufgaben 4. und 5.!]

Ziel dieser Aufgabenstellung ist es, Vorstellungen zum Begriff des Drucks weitergehend auszubauen beziehungsweise zu festigen. Dass hier eine Kraft aufgewandt werden muss, wie es der Fragestellung zugrunde gelegt wurde, sollte angesichts des zuvor selbst durchgeführten Experiments offensichtlich Teil der Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler sein. Ebenso haben sie bereits selbst festgestellt, dass die aufzubringende Kraft nach außen gerichtet ist, also eine nach innen gerichtete Gegenkraft bestehen muss, was somit der Lernendenvorstellung, Luft unter atmosphärischem Druck sei normal und übe keine Kraft aus (Wodzinski, 1999-1 nach Séré, 1982), widerspricht und gegebenenfalls zu intrinsisch motiviertem Umdenken führen sollte. Eine weitere Hürde, bedingt durch eine eventuell bestehende Lernendenvorstellung,

ergibt sich hinsichtlich der Annahme, dass auch das Wassergas im Inneren des Spritzenzylinders einen Druck ausübt und nicht etwa dieser, gegenüber dem atmosphärischen Druck geringere, Unterdruck ‚saugt‘. Hierbei besteht die Hoffnung, dass dies jedoch als im Widerspruch zum zuvor aus dem Phasendiagramm abgelesenen und über das Teilchenmodell analysierten Gasdruck stehend erkannt wird. Intendiert ist, dass Schülerinnen und Schüler die Aufgabe letztlich mittels Überlegungen zum Kräftegleichgewicht lösen. Dazu ist es erforderlich, dass erkannt wird, dass der Kolben ruht, wenn man diesen nur in Position hält und daher entsprechend des ersten Newton'schen Axioms die Gesamtkraft auf den Kolben Null sein muss. Auch hierzu gibt es diverse Lernendenvorstellungen (vgl. Kap. 10.1.2), welche durch Überlegungen zur vorliegenden Aufgabenstellung möglicherweise ans Tageslicht treten könnten und gegebenenfalls in der Diskussion mit der Lehrperson weiterführend besprochen werden können.

Lösungsvorschlag:

Sowohl der Druck p_{Gas} innerhalb, als auch jener p_{atm} außerhalb der Spritze üben eine Kraft $\vec{F}_{p_{Gas}}$ bzw. $\vec{F}_{p_{atm}}$ auf den Kolben aus. Um ein Kräftegleichgewicht herzustellen, damit der Kolben gehalten werden kann (die Reibung wird hier vernachlässigt), ist eine Kraft $\vec{F}_E$ durch die Experimentatorin bzw. den Experimentator erforderlich (vgl. Abb. b.4).

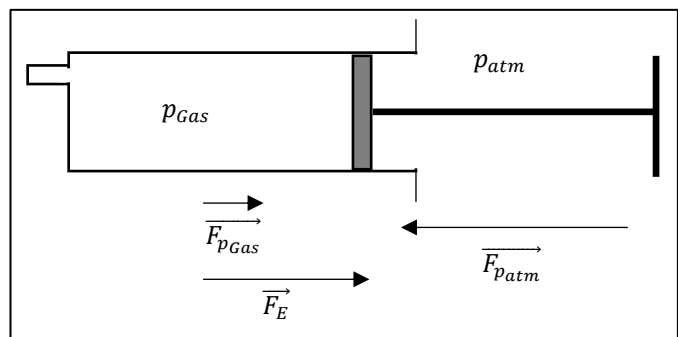


Abb. b.4: Kräftegleichgewicht am Spritzenkolben.

Mit der Querschnittsfläche des Spritzenkolbens A gilt:

$$|\vec{F}_{p_{Gas}}| = p_{Gas} \cdot A, \quad |\vec{F}_{p_{atm}}| = p_{atm} \cdot A \quad \text{und} \quad |\vec{F}_{p_{Gas}}| + |\vec{F}_E| = |\vec{F}_{p_{atm}}|$$

Es folgt:

$$|\vec{F}_E| = A \cdot (p_{atm} - p_{Gas}) \approx A \cdot 927 \text{ hPa}$$

Zur Bestimmung von A kann beispielsweise der Innendurchmesser ($d \approx 2,1 \text{ cm}$) der Spritze mittels Geo-Dreieck abgemessen werden, oder ein bekanntes Innenvolumen der Spritze (zB. 20 ml) durch die mittels Geo-Dreieck gemessene Höhe ($h \approx 5,7 \text{ cm}$) des entsprechenden Zylinders im Inneren der Spritze dividiert werden.

Es ergibt sich eine Fläche von rund $A \approx 3,5 \text{ cm}^2$ und damit:

$$|\vec{F}_E| \approx 32 \text{ N}$$

3.2.5 Aufgabenstellung 5 – Kräftegleichgewicht II

Überlege dir ein Experiment, mit welchem du die Reibungskraft zwischen Spritzenzylinder und Spritzenkolben näherungsweise messen kannst. Führe die Messung durch und gib die Gesamtkraft an, welche mindestens nötig ist, um das Innenvolumen der Spritze wie in Aufgabe 3. auf 20 ml zu erhöhen!

Im Gegensatz zur vorherigen Aufgabenstellung soll hier nun also die Reibungskraft explizit berücksichtigt werden. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass in Aufgabenstellung 4 die Haftreibungskraft vernachlässigt wurde, während es hier nun natürlich um die Gleitreibungskraft geht. Zentral bei Überlegungen zu dieser Aufgabenstellung ist wiederum das erste Newton'sche Axiom, welches besagt, dass keine Kraft auf einen Körper wirkt, wenn sich dieser mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Eine derart konstante Geschwindigkeit ist absolut ausreichend, um den Kolben aufzuziehen, womit also lediglich die Gleitreibungskraft durch eine zusätzlich per Hand ausgeübte Kraft kompensiert werden muss. Die Gleitreibungskraft hängt hier von der Relativgeschwindigkeit zwischen Kolben und Zylinder ab und wächst mit zunehmender Geschwindigkeit marginal an. Da jedoch in der Angabe nach der geringsten Kraft gefragt wird, welche nötig ist, um den Kolben aufzuziehen, die Haftreibungskraft aber größer als die Gleitreibungskraft ist, sollte jene Reibungskraft betrachtet werden, welche bei geringer, aber konstanter Relativgeschwindigkeit auftritt. Zur Bestimmung dieser würde sich ein Federkraftmesser anbieten, welcher jedoch nicht auf der Materialienliste steht. Jedoch ist dort auch vermerkt, dass weitere Materialien nach Bedarf angeboten werden könnten. Sollten Schülerinnen und Schüler also nach einem solchen fragen, kann dieser gerne genutzt werden, um die Reibungskraft zu messen, jedoch könnte es schwierig werden, den Haken des Federkraftmessers passend am Spritzenkolben einzuhängen. Im unten angeführten Lösungsvorschlag wurde eine andere Methode gewählt, welche sich angesichts der flachen Oberseite des Kolbengriffs anbietet und auf der einfachen Berechenbarkeit der Gewichtskraft bekannter Massen auf der Erde basiert. Grundsätzlich stehen hier den Schülerinnen und Schülern aber neuerlich große Freiheiten zur Versuchsplanung offen, womit auch gerade das speziell durch diese Aufgabenstellung trainiert werden soll.

Lösungsvorschlag:

Die gesuchte Gesamtkraft ist hier die Summe aus $|\vec{F}_E|$ und der Gleitreibungskraft $|\vec{F}_R|$. Zur Bestimmung der Gleitreibungskraft können sich die SuS diverse Versuchsaufbauten einfallen lassen. Eine Möglichkeit wäre, die Spritze im expandierten Zustand an der Fingerauflage auf zwei Holzklötze oder andere stabile Körper zu stützen und anschließend mehr und mehr Masse m auf den Spritzenkolben zu legen (bzw. wieder zu entfernen), bis die Gewichtskraft $\vec{F}_G$ ausreicht, um den Kolben gerade noch bei konstantem Tempo am Sinken zu halten (vgl. Abb. b.5).

Mit der Erdbeschleunigung g ergibt sich

$$|\vec{F}_R| = |\vec{F}_G| = m \cdot g \approx (1,3 \pm 0,1) \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = (13 \pm 1) \text{ N}$$

Und somit für die Gesamtkraft $|\vec{F}_{Ges}| \approx 45 \text{ N}$.



Abb. b.5: Aufbau zur Messung der Gleitreibungskraft zwischen Spritzenkolben und Zylinder.

3.2.6 Aufgabenstellung 6 – hydrostatischer Druck

Überprüfe, ob die Vernachlässigung des hydrostatischen Drucks in den Aufgaben 4. und 5. gerechtfertigt war, indem du den hydrostatischen Druck bei 5 ml Wasservolumen in der senkrecht gehaltenen Spritze mit dem atmosphärischen Druck vergleichst!

Durch diese Aufgabenstellung soll nun erstmals neben Gasdrücken auch der hydrostatische Druck in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen. Im Zuge des Vertiefungsteils wird auf diesen später noch genauer eingegangen. An dieser Stelle liegt der Fokus jedoch vor allem darauf, durch das mitunter überraschende Ergebnis neuerlich aufzuzeigen, dass der Gasdruck, selbst bei Unterdruck gegenüber des atmosphärischen Drucks im Vergleich zum hydrostatischen Druck eine große Rolle spielt. Daneben soll durch diese Aufgabenstellung exemplarisch trainiert werden, welche Einflüsse bei experimentellen Untersuchungen wann vernachlässigt werden können, dies aber auch etwa quantitativ begründet werden sollte. Beabsichtigt wird hier eine Berechnung des hydrostatischen Drucks entsprechend der wiederum in der Formelsammlung ersichtlichen Formel, wobei sich im Zuge der Erprobung zeigen wird, ob dies mit der bereitgestellten Fragestellung klar ist, oder es hier einer expliziteren Formulierung bedarf. Die Dichte des flüssigen Wassers sollte näherungsweise bekannt sein.

Lösungsvorschlag:

Der hydrostatische Druck p_{hyd} nimmt mit der Höhe h der Flüssigkeitssäule über dem Messpunkt zu und lässt sich mittels der Dichte $\rho \approx 10^3 \text{ kg/m}^3$ für Wasser und der Erdbeschleunigung $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ bestimmen:

$$p_{hyd} = \rho \cdot g \cdot h$$

Die Höhe h ergibt sich über die bereits in Aufgabe 4. bestimmte Querschnittsfläche A des Kolbens (vgl. Abb. b.6).

$$p_{hyd} = \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot \frac{V_{fl.}}{A} \approx 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$p_{hyd} \approx 1,4 \text{ hPa} \ll 23 \text{ hPa} \approx p_{Gas}$$

Die Vernachlässigung ist angesichts anderer Rundungsfehler und Messungenauigkeiten also jedenfalls gerechtfertigt.

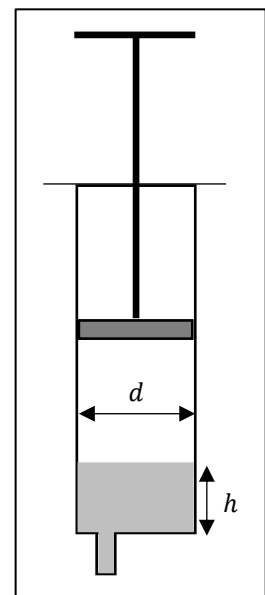


Abb. b.6: Skizze zum hydrostatischen Druck im Spritzenzylinder.

3.2.7 Aufgabenstellung 7 – Siedetemperatur

Der höchste Gipfel Österreichs, der Großglockner, liegt auf ca. 3798 m über Meeresniveau (Statistik Austria, 2020). Bei welcher Temperatur siedet Wasser am Großglockner? Vergleiche dein Ergebnis mit der Siedetemperatur am Mount Everest auf einer Höhe von rund 8848 m (vgl. Berghold, 2019).

[Gehe von einem durchschnittlichen Luftdruck $p_0 \approx 100.000 \text{ Pa}$ und einer Luftdichte von $\rho_0 \approx 1,2041 \text{ kg/m}^3$ auf Meeresniveau aus (vgl. Fricke, 2017).]

Im Prinzip sollen die Schülerinnen und Schüler hier neuerlich mit einer im Formelheft zu findenden Formel, nämlich jener für den aerostatischen Luftdruck, diesen entsprechend der jeweiligen Höhe berechnen und anschließend die korrespondierenden Temperaturwerte aus dem Phasendiagramm ablesen. Zugleich steckt im Vergleich der beiden Formeln für den hydrostatischen beziehungsweise den aerostatischen Druck eine spannende Erkenntnis, welche den Schülerinnen und Schülern zwar möglicherweise bereits bekannt ist, gegebenenfalls sonst aber auch noch mit ihnen besprochen werden kann. Die Formel für den hydrostatischen Druck ist auffällig einfach, da Flüssigkeiten als nahezu inkompressibel auftreten und somit der Druck nur von Masse und Gravitationskraft abhängt. Beim aerostatischen Druck ist das anders, da Gase kompressibel sind und sich somit die Dichte der Luft mit dem jeweiligen Druck ändert, Luft also weiter unten in einer Luftsäule dichter als weiter oben ist und somit auch der Gesamtdruck nicht mehr linear mit der Höhe variiert. Sollte sich im Zuge der Erprobung zeigen, dass diese Betrachtung untergeht, wäre es überlegenswert, mittels einer zusätzlichen Fragestellung oder etwaigen zusätzlichen Hinweisen darauf aufmerksam zu machen.

Lösungsvorschlag:

Ausgehend vom Meeresniveau als Referenzhöhe, ergibt sich der Wert des aerostatischen Luftdrucks p_L als:

$$p_L = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot h}{p_0}}$$

$p_0 \approx 10^3 \text{ hPa}$... aerostatischer Luftdruck auf Meeresniveau

$\rho_0 \approx 1,2041 \text{ kg/m}^3$... Dichte der Luft auf Meeresniveau

$g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$... Erdbeschleunigung

h ... Höhe über Meeresniveau; Großglockner: $h_{GG} \approx 3798 \text{ m}$; Mount Everest: $h_{ME} \approx 8848 \text{ m}$

Zur Bestimmung der jeweiligen Siedetemperatur von Wasser kann zunächst der aerostatische Luftdruck p_L auf dem Großglockner bzw. dem Mount Everest berechnet werden und anschließend neuerlich die entsprechende Siedetemperatur aus dem Diagramm in Abb. b.1 abgelesen werden.

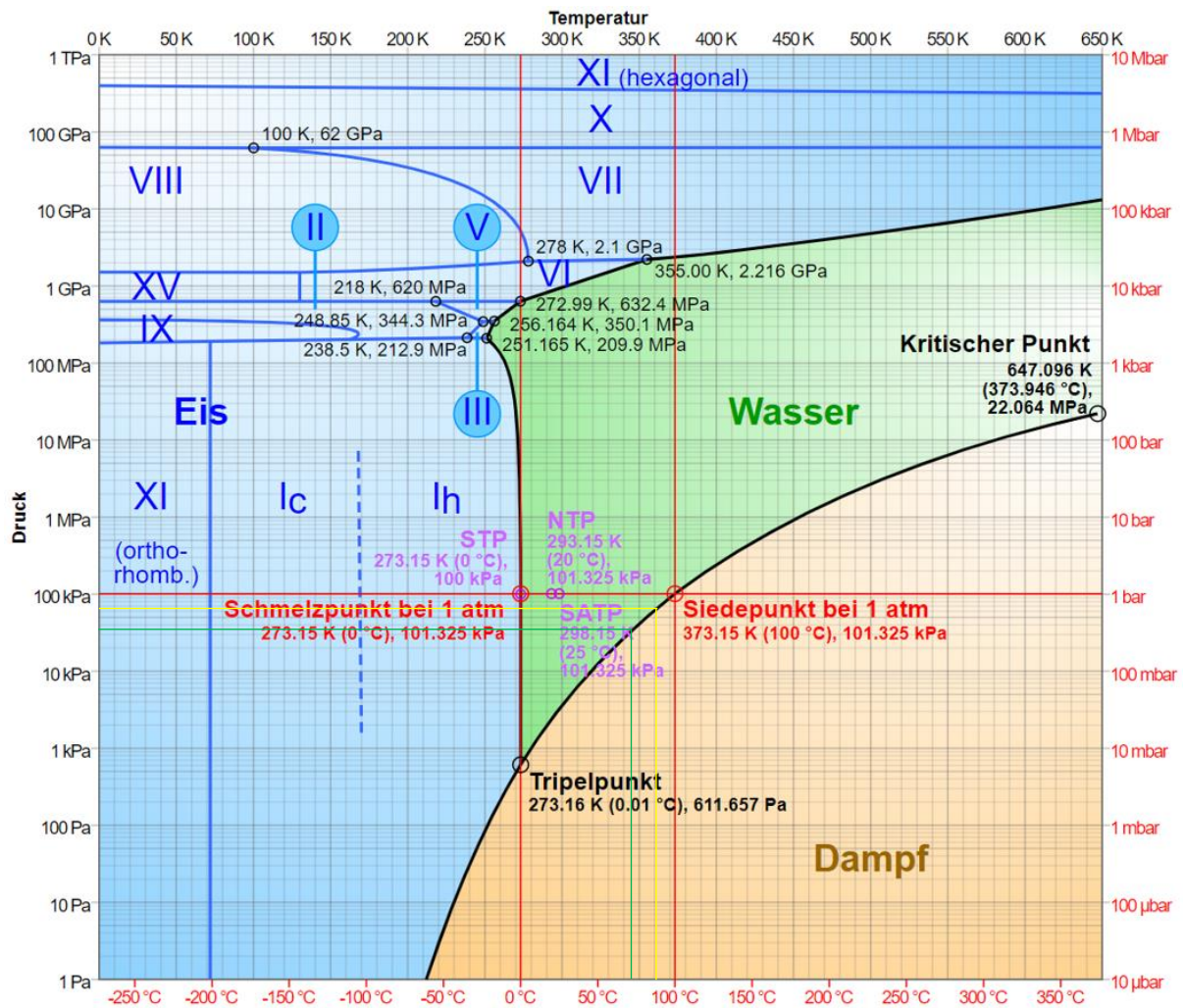


Abb. b.7: Phasendiagramm von Wasser. Die gelben Linienmarkierungen erlauben ein Auslesen der Siedetemperatur T_{GG} , die grünen Linien der Siedetemperatur T_{ME} . (Verändert nach Chaplin, 2000-2020).

Großglockner

$$p_{LGG} \approx 639 \text{ hPa}$$

$$T_{GG} \approx 90 \text{ °C}$$

(vgl. Abb. b.7, gelbe Linienmarkierungen)

Mount Everest

$$p_{LME} \approx 352 \text{ hPa}$$

$$T_{ME} \approx 73 \text{ °C}$$

(vgl. Abb. b.7, grüne Linienmarkierungen)

3.2.8 Vertiefungsteil – Theorieinput

Meist arbeiten Ärztinnen jedoch mit Spritzen inklusive sogenannter Kanülen (dünne Metall-Hohlzylinder, umgangssprachlich Nadel). Oft werden dabei zunächst flüssige Substanzen durch die Kanüle in die Spritze aufgesogen und anschließend wiederum durch die Kanüle in Venen oder Muskel des menschlichen Körpers gespritzt.

Wie sich durch Aufsetzen der Kanüle auf die Spritze und neuerlichem Einsaugen bzw. Ausspritzen von Wasser durch die Kanüle leicht feststellen lässt, stellt die enge Kanüle einen erheblichen Widerstand für die Stromstärke (bzw. Fließgeschwindigkeit) des Wassers dar. Probiere dies nun selbst aus!

Die Geschwindigkeit des Wassers durch ein Rohr ist nicht für alle Moleküle gleich. Für geringe Fließgeschwindigkeiten kann sie als „laminare Strömung“ beschrieben werden. Dabei bewegen sich die Teilchen am Rohr aufgrund der größeren Reibung langsamer als jene in der Mitte des Rohres (siehe Abb. b.2).

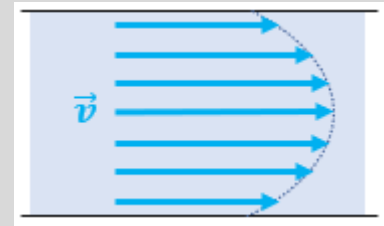


Abb. b.2: Geschwindigkeitsverteilung laminarer Strömungen im Rohr (verändert nach Schlichting, 2006).

Das Hagen-Poiseuillesche Gesetz beschreibt für solche laminaren Strömungen einer Flüssigkeit mit Viskosität η (siehe Tab. b.1) durch ein Rohr der Länge l und mit Innenradius r den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ durch das Rohr in Abhängigkeit vom Druckunterschied Δp zwischen den beiden Enden des Rohres.

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Dabei fließt die Flüssigkeit pro Zeiteinheit $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ natürlich stets vom Ende höheren Drucks zum Ende niedrigeren Drucks (vgl. Prandtl, 1931).

Stoff	η in $[mPa \cdot s]$
Luft ($10^5 Pa$)	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Helium ($10^5 Pa$)	$1,9 \cdot 10^{-2}$
Benzol	0,65
Wasser	1,002
Ethanol	1,20
Quecksilber	1,55
Schweröl	660
Glyzerin	1480,0

Tabelle b.1: Viskosität einiger Flüssigkeiten und Gase bei $T = 20^\circ C$. (verändert nach Demtröder 2008, S. 240)

Dieser einleitende Text zum Vertiefungsteil des Aufgabenblattes baut nun auf den zuvor erlangten Erkenntnissen auf und bringt weitere physikalische Größen wie etwa die Viskosität und vor allem den Volumenstrom als zeitabhängige Größe, sowie eine etwas komplexere und nun auch nicht mehr in der offiziellen Formelsammlung der Österreichischen Physikolympiade enthaltene Formel, nämlich das Hagen-Poiseuillesche Gesetz ins Spiel. Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler hierbei ist es neben dem Lesen und Nachvollziehen des Textes, den angesprochenen Versuch zur Spritze mit aufgesetzter Kanüle auch selbst durchzuführen, um die Inhalte des Textes besser nachvollziehen zu können. Dabei wurden bewusst die Begriffe Widerstand und Stromstärke, welche den meisten Schülerinnen und Schülern vermutlich eher aus der Elektrizitätslehre bekannt sein werden, eng hintereinander verwendet, um hier vielleicht an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen zu können und den vermutlich unbekannten Begriff Volumenstrom etwas anschaulicher zu machen.

3.2.9 Aufgabenstellung 8 – Hagen-Poiseuillesches Gesetz

Berechne den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ an Wasser durch die Kanüle, wenn man bei einer mit 2 ml Wasser gefüllten Spritze mit Kanüle das Spritzenvolumen plötzlich auf 20 ml erhöht und das Ende der Kanüle in Wasser getaucht ist!

[Vernachlässige dabei erneut den hydrostatischen Druck! Die Länge der Kanüle beträgt rund $l = 23 \text{ mm}$. Für den Innendurchmesser kann mit $d = 0,225 \text{ mm}$ gerechnet werden.]

Im Prinzip sollen die Schülerinnen und Schüler bei dieser Aufgabenstellung lediglich die bereits zuvor gewonnenen Werte für Wassergas- und Luftdruck in das Hagen-Poiseuillesche Gesetz einsetzen, den Volumenstrom berechnen und eine korrekte Einheit angeben. Hierzu bieten sich etwa die Einheiten m^3/s oder ml/s an, wobei der Wert in Folge bei Aufgabenstellung 9 mit einem experimentell gewonnenen Wert verglichen werden soll, womit voraussichtlich zumindest einmal an einer der beiden Stellen eine Umrechnung zwischen diesen beiden Einheiten durchgeführt werden muss. Verwendet wurden dabei 26G-Kanülen (braun).

Die beiden Volumenangaben in der Aufgabenstellung sind grundsätzlich für deren Lösbarkeit irrelevant, solange der hydrostatische Druck wie angegeben vernachlässigt wird, was wiederum nur bei geringen Füllhöhen mit flüssigem Wasser sinnvoll ist und solange im Inneren des Spritzenzylinders flüssige und gasförmige Phase des Wassers parallel existieren. Würde sich bezogen auf das expandierte Innenvolumen zu wenig Wasser im Zylinder befinden, würde es komplett in gasförmige Phase übergehen und der Gasdruck entspräche nicht mehr dem in Aufgabenstellung 3 eruierten Wert. Umgekehrt steigt mit zunehmender Wassermenge bei konstantem Zylinderdurchmesser und bei senkrecht gehaltener Spritze die Wassersäulenhöhe und somit der in Folge immer relevanter werdende hydrostatische Druck. Insofern ist also sinnvoll besagte Volumenwerte vorzugeben, es wird sich jedoch im Zuge der Erprobung noch herausstellen müssen, ob dies zu mehr Verwirrung als Sicherheit bei den Schülerinnen und Schülern führt.

Lösungsvorschlag:

Mit dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz, Tabelle b.1 und den Ergebnissen der Aufgaben 1. und 3. ergibt sich:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \approx \frac{(950 - 23) \cdot 10^2 \text{ Pa} \cdot \pi \cdot (1,125 \cdot 10^{-4} \text{ m})^4}{8 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}} \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{0,25 \text{ ml/s}}$$

3.2.10 Aufgabenstellung 9 - Volumenstrommessung

Überprüfe deinen Wert aus Aufgabe 9. experimentell und gib an um wieviel Prozent der Messwert vom berechneten Wert abweicht! Welche Ursachen könnte die Abweichung haben?

Die Schülerinnen und Schüler sollen bei dieser Aufgabenstellung neuerlich ein kleines Experiment durchführen, deren Vorbereitung mangels detaillierter Anleitung einer gewissen Planung bedarf. Insbesondere spielen dabei Quellen von Messfehlern, sowie deren Bewertung eine entscheidende Rolle, welche im zweiten Teil der Aufgabenstellung dann auch noch ins Rampenlicht gerückt wird. Neben den im Lösungsvorschlag genannten Messfehlern durch welche sich auch speziell der bei der experimentellen Bestimmung niedrigere Wert erklären lässt, kann hier natürlich auch auf Fehler bedingt durch die Genauigkeit der

Messinstrumente wie Skalierung des Becherglases, Stoppuhr und Reaktionszeit, etc. eingegangen werden. Ganz grundsätzlich soll durch diese Aufgabe das Bewusstsein zum nicht tilgbaren Vorhandensein von Messfehlern bei Experimenten aufgefrischt werden.

Lösungsvorschlag:

Zur experimentellen Messung des Volumenstroms kann mittels Stoppuhr bestimmt werden, wie lange es dauert, bis ein bestimmtes Volumen an Wasser in die Spritze eingesogen wurde. Je größer das Zeitintervall der Messung gewählt wird, desto stärker verringert sich im Laufe der Messung bei senkrecht gehaltener Spritze der Druckunterschied zwischen den beiden Enden der Kanüle aufgrund des steigenden hydrostatischen Drucks im Spritzenzylinder, was zu einem geringeren Wert für den Volumenstrom gegenüber der Berechnung aus Aufgabenstellung 8 führt. Darüber hinaus können nach größeren Zeitintervallen, für welche man Wasser durch die Kanüle einströmen lässt, nach der Entspannung des Systems kleine Lufteinschlüsse im Inneren des Spritzenkolbens festgestellt werden, was darauf hindeutet, dass der Spritzeninnenraum, nicht vollkommen dicht abgeschlossen war (Dichtheitsmängel zw. Spritzenkolben und Spritzenzylinder, sowie zwischen Zylinder und Kanülenfassung). Auch dieser Effekt führt zu einer sinkenden Druckdifferenz und somit einem abnehmenden Volumenstrom. Wählt man das Zeitintervall hingegen möglichst kurz, wird es umso schwieriger das eingeströmte Volumen genau zu bestimmen. Beides spielt in die Messungsgenauigkeit mit ein und bedingt eine ausbalancierte Wahl des Zeitintervalls.

Im Zuge einer kleinen Messreihe (siehe Tabelle b.2 im Anhang, Kap. 10.2.3) ergaben sich typische Werte von

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx (0,23 \pm 0,02) \text{ ml/s}$$

Die Abweichung entspricht somit rund 10 % des berechneten Wertes.

(Eine weitere potentielle Fehlerquelle stellt der angegebene Wert für den Innendurchmesser der Kanüle dar. Dieser wurde weder vom Hersteller noch vom Händler angegeben und auch bei diversen Kontaktversuchen konnte der genaue Wert samt Genauigkeit leider nicht angegeben werden. Daher wurde der Innendurchmesser selbst experimentell abgeschätzt mit einem Fehler von rund $d \approx (0,225 \pm 0,025) \text{ mm}$.)

3.2.11 Aufgabenstellung 10 – Maximale Wassersäulenhöhe mit Geobra

Was passiert, wenn man immer mehr Wasser durch die Kanüle einströmen lässt? Gehe nun von einer unendlich langen, senkrecht stehenden Spritze aus, deren Kanülenende wieder in Wasser getaucht ist und deren Kolben sehr weit (jedenfalls immer höher als der Stand des flüssigen Wassers) herausgezogen wurde. Höhe und Geschwindigkeit des einströmenden Wassers sollen nun berücksichtigt werden. Das heißt, anders als in Aufgabe 8. soll der hydrostatische Druck zwar nach wie vor in der Kanüle, nicht mehr aber im

unendlich langen Spritzenzylinder vernachlässigt werden. Stelle eine Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ für den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ in Abhängigkeit von der Höhe h der Wassersäule im Spritzenzylinder auf!

Mittels Differential- und Integralrechnung lassen sich auch die beiden folgenden Funktionen herleiten:

- $h(t)$... die aktuelle Höhe h der Wassersäule in Abhängigkeit von der Einströmdauer t seit Start (beginnend bei leerem Spritzenzylinder)

$$h(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} \right)$$

- $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$... das aktuelle Tempo $\frac{\Delta h}{\Delta t}$, mit dem die Wassersäule steigt in Abhängigkeit von der Einströmdauer t seit Start (beginnend bei leerem Spritzenzylinder)

$$\frac{\Delta h}{\Delta t}(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}$$

Dabei ist

- p_{atm} ... Umgebungsdruck
- p_{Gas} ... Druck des Wassergases in der Spritze
- ρ ... Dichte des flüssigen Wassers im Spritzenzylinder
- g ... Erdbeschleunigung
- R ... Innenradius des Spritzenzylinders

Zeichne alle drei Funktionen in GeoGebra und interpretiere sie!

[Falls du an der Herleitung der beiden Funktionen interessiert bist, frage nach Kuvert Nr. b10.]

[Das Gefäß, aus dem das Wasser durch die Kanüle entnommen wird, wird als unendlich breit angenommen, sodass sich der Wasserstand durch die Entnahme nicht ändert.]

Bisher wurde bei der Bearbeitung dieses Aufgabenblattes bereits mehrfach mit mehr oder weniger komplexen Formeln gearbeitet. Diese Auseinandersetzung mit Formeln beschränkte sich jedoch im Großen und Ganzen soweit auf das Einsetzen und Ausrechnen von Werten, sowie algebraisch erkennbare physikalische Zusammenhänge zwischen den beteiligten Größen und Konstanten. Zum Abschluss dieses Aufgabenblattes sollen nun aber auch noch der Funktionsbegriff, funktionale Abhängigkeiten, Diagramme und das physikalische Interpretieren dieser eingebracht werden.

Zunächst sollen die Schülerinnen und Schüler im Prinzip Aufgabe 8 wiederholen, jedoch mit dem Unterschied, dass die Druckdifferenz nun als Höhenabhängige Variable eingesetzt wird. Die Formel des hier benötigten hydrostatischen Drucks ist dabei bereits aus Aufgabenstellung 6 bekannt. Die in Klammern gesetzte Anmerkung am Ende der Aufgabenstellung soll festhalten, dass der hydrostatische Druck außerhalb der Spritze konstant bleiben und somit bei dieser Aufgabenstellung vernachlässigt werden soll. Der zweite Teil der Aufgabenstellung enthält einen Informationsblock, in welchem zwei weitere Funktionen zur

Abhängigkeit der Wassersäulenhöhe von der Zeit, sowie deren zeitliche Ableitung vorgestellt werden, bevor die Schülerinnen und Schüler letztlich dazu aufgefordert werden, diese drei Funktionen mittels GeoGebra zu zeichnen und deren Graphen im Anschluss zu interpretieren. Für besonders interessierte Schülerinnen und Schüler, welche bereits grundlegende Einblicke in die Differenzial- und Integralrechnung erworben haben, also ausgehend vom österreichischen Lehrplan für Mathematik in der AHS Oberstufe vorwiegend Schülerinnen und Schüler der 11. bis 12. Schulstufe, wird unter dem Titel *Kuvert Nr. b10* auf einen zusätzlichen Text mit Erklärungen zur mathematischen Herleitung der beiden letztgenannten Funktionen verwiesen. Wer möchte, kann sich diesen also von der Lehrperson geben lassen und versuchen, die angeführten Herleitungen nachzuvollziehen. Eine fast idente Vorgangsweise kann beispielsweise auch bei der Herleitung des Zerfallsgesetzes verwendet werden, womit es durchaus sinnvoll scheint, diese Strategie zum Lösen homogener Differenzialgleichungen zu üben beziehungsweise an unterschiedlichen Anwendungsbeispielen ab und zu optional einfließen zu lassen.

Kuvert Nr. b10:

Mathematische Herleitung für die beiden Funktionen $h(t)$ und $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$:

Wir gehen von der Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ aus, welche du vermutlich bereits selbst gefunden hast:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} - \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot h$$

Setzt man die Formel für das Zylindervolumen $V = R^2 \cdot \pi \cdot h$ ein, so erhält man die Gleichung:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t}(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} - \frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot h(t)$$

Die aktuelle Höhe $h(t)$ steckt hier bereits drin, ebenso wie Höhenänderung $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$, jedoch sind diese leider miteinander verknüpft und hängen voneinander ab. Um besser zu erkennen, worum es sich bei dieser Gleichung handelt, nennen wir vorübergehend:

$$\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} = s$$

$$\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} = a$$

Und weil uns eigentlich das Momentantempo der Wasserhöhe interessiert, gehen wir vom Differenzenquotienten $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$ zum Differenzialquotienten $h'(t)$ über und erhalten:

$$h'(t) + a \cdot h(t) = s$$

Wir haben es hier also mit einer inhomogenen Differenzialgleichung 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten zu tun. (Vielleicht hast du mit so etwas Ähnlichem schon mal beim Zerfallsgesetz zu tun gehabt...?)

Die Lösung $h(t)$ einer solchen inhomogenen Differenzialgleichung setzt sich immer als Summe aus der Lösung der homogenen Differenzialgleichung $h_h(t)$ und der partikulären Lösung $h_p(t)$ zusammen.

$$h(t) = h_h(t) + h_p(t)$$

Betreffend partikulärer Lösung haben wir hier Glück, denn die Koeffizienten a und s sind konstant und daher beträgt diese ganz einfach

$$h_p(t) = \frac{s}{a}$$

Nun lösen wir noch die homogenen Differenzialgleichung

$$h'(t) + a \cdot h(t) = 0$$

durch Trennung der Variablen:

$$h'(t) = -a \cdot h(t)$$

$$\frac{dh}{dt} = -a \cdot h$$

$$\int \frac{1}{h} dh = \int -a dt$$

Wir integrieren also links des Gleichheitszeichens über die Höhe h und rechts des Gleichheitszeichens über die Zeit t und fassen die beiden Integrationskonstanten dieser unbestimmten Integrale mit $\tilde{c}$ zusammen.

$$\ln(h) = -at + \tilde{c}$$

$$h = e^{-at + \tilde{c}}$$

$$h = e^{\tilde{c}} \cdot e^{-at}$$

Wir nennen $e^{\tilde{c}}$, was ja auch immer konstant ist, der Einfachheit halber c .

$$h_h(t) = c \cdot e^{-at}$$

Die gesamte Lösung ist nun also

$$h(t) = h_h(t) + h_p(t)$$

$$h(t) = c \cdot e^{-at} + \frac{s}{a}$$

Die Integrationskonstante c können wir nun auch berechnen, indem wir als Nebenbedingung verwenden, dass die Spritze ganz am Anfang leer sein soll, also $h(t = 0) = 0$. Damit erhalten wir:

$$h(t = 0) = c \cdot e^0 + \frac{s}{a} = c + \frac{s}{a} \stackrel{!}{=} 0$$

$$c = -\frac{s}{a}$$

Und somit haben wir unsere erste Funktion:

$$h(t) = -\frac{s}{a} \cdot e^{-at} + \frac{s}{a}$$

Wenn wir nun $h(t)$ einmal nach t ableiten, haben wir auch $h'(t)$:

$$h'(t) = s \cdot e^{-at}$$

Zum Schluss ersetzen wir unsere Hilfsvariablen a und s wieder durch die Größen, die wir kennen und erhalten so:

$$h(t) = -\frac{s}{a} \cdot e^{-at} + \frac{s}{a}$$

$$\begin{aligned}
h(t) &= -\frac{\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}}{\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}}{\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}} \\
h(t) &= -\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4 \cdot 8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot r^4} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4 \cdot 8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot r^4} \\
h(t) &= -\frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \\
h(t) &= \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}\right)
\end{aligned}$$

Ebenso ergibt sich:

$$\begin{aligned}
h'(t) &= s \cdot e^{-at} \\
h'(t) &= \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}
\end{aligned}$$

Die Aufforderung, die drei in GeoGebra gezeichneten Funktionen zu interpretieren ist hier natürlich extrem offen formuliert. Der unten angeführte Lösungsvorschlag inkludiert einige interessante Informationen, welche man den drei Funktionsgraphen sinnvollerweise entnehmen könnte. Diese reichen von einem Vergleich mit den Messwerten aus Aufgabenstellung 9 über eine quantitative Einschätzung der Relevanz des hydrostatischen Drucks bei diversen vorangegangenen Aufgabenstellungen bis hin zu Folgerungen zum hydrostatischen Druck beim Tauchsport. Grundsätzlich ist hier die Idee den Schülerinnen und Schülern Freiraum bei der Interpretation zu geben und die Hoffnung, dass insbesondere bei der Durchführung zu zweit spannende Diskussionen zwischen den Schülerinnen und Schülern, sowie in Folge mit der Lehrkraft entstehen könnten und die Schülerinnen und Schüler dabei möglicherweise ein Gefühl von Faszination erfahren, wenn sukzessive herauskommt, wie viel man aus solchen Darstellungen letztlich herauslesen beziehungsweise ableiten kann.

Lösungsvorschlag:

Der Druckunterschied Δp zwischen den beiden Enden der Kanüle (vgl. Abb. b.8) beträgt unter Berücksichtigung des hydrostatischen Drucks p_{hyd} der Wassersäule im Spritzenzylinder:

$$\Delta p = p_{atm} - (p_{Gas} + p_{hyd}) = p_{atm} - p_{Gas} - \rho \cdot g \cdot h$$

Durch Einsetzen ergibt sich:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} - \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot h$$

$h(t)$ und $h'(t)$ wurden bereits mit Kuvert Nr. b10 hergeleitet.

Durch Einsetzen aller Konstanten ergibt sich für die drei Funktionen:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} - \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot h$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) \approx \frac{(95000 - 2300) \cdot \pi \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2}} - \frac{10^3 \cdot 9,81 \cdot \pi \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2}} \cdot h$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) \approx 2,535 \cdot 10^{-7} - 2,683 \cdot 10^{-8} \cdot h$$

$$h(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}\right)$$

$$h(t) \approx \frac{(95000 - 2300)}{10^3 \cdot 9,81} \cdot \left(1 - e^{-\frac{10^3 \cdot 9,81 \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot (1,05 \cdot 10^{-2})^2} t}\right)$$

$$h(t) \approx 9,450 \cdot (1 - e^{-7,746 \cdot 10^{-5} \cdot t})$$

$$h'(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}$$

$$h'(t) \approx \frac{(95000 - 2300) \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot (1,05 \cdot 10^{-2})^2} \cdot e^{-\frac{10^3 \cdot 9,81 \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot (1,05 \cdot 10^{-2})^2} t}$$

$$h'(t) \approx 7,320 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-7,746 \cdot 10^{-5} \cdot t}$$

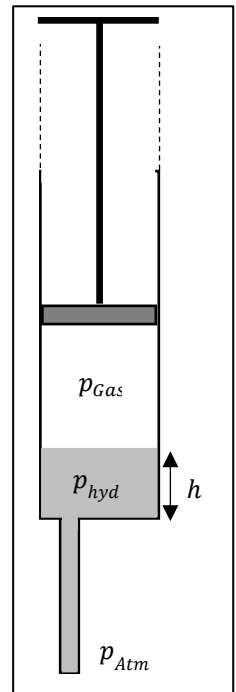


Abb. b.8: Skizze zu den Druckverhältnissen bei idealisierter Spritze mit Kanüle.

Die Abbildungen b.9, b.10 und b.11 zeigen die drei Funktionen dargestellt mit GeoGebra.

Abb. b.9 lässt erkennen, dass der Volumenstrom bezüglich momentaner Höhe der Wassersäule im Zylinder linear abfällt und bei einer Höhe von rund **9,45 m** zum Erliegen kommt.

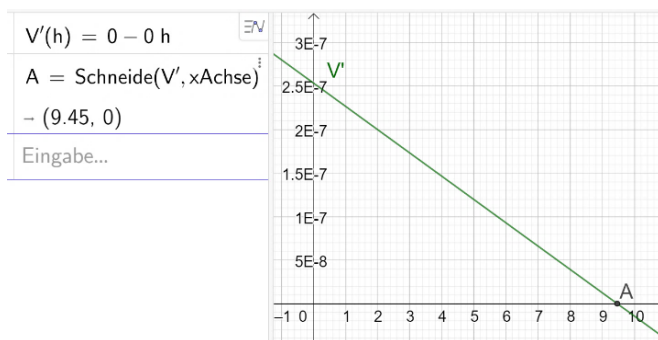


Abb. b.9: Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ ausgewertet mit GeoGebra.

Wie aus Abb. b.10 ablesbar ist, steigt die Höhe der Wassersäule im Spritzenzylinder von **0 m** beginnend zeitlich gesehen streng monoton an.

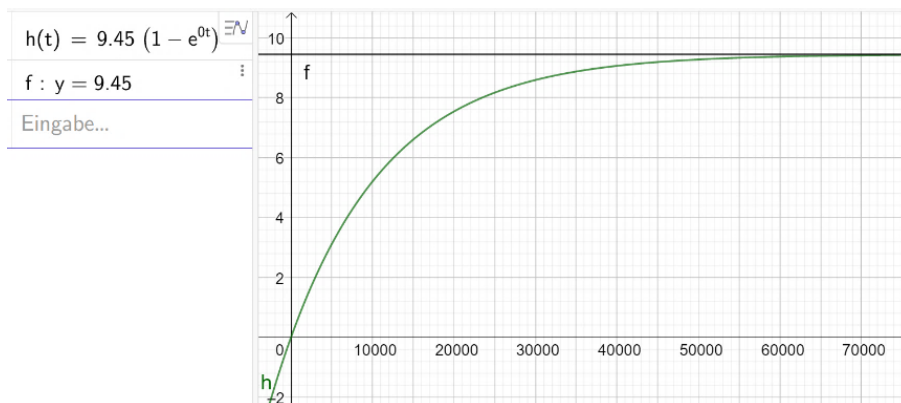


Abb. b.10: Funktion $h(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.

Der Anstieg wird jedoch exponentiell kleiner und die Höhenfunktion schmiegt sich letztlich asymptotisch ihrem Maximalwert von rund **9,45 m** an.

Auch Abb. b.11 zeigt den zeitlich gesehen exponentiellen Abfall des Tempos mit dem die Wassersäulenhöhe steigt. Zu Beginn des Experiments ist Abb. b.11 ein Tempo von rund $7,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ zu entnehmen. Dies entspricht bei von hier an konstant angenommenem Tempo einer Überwindung von **5,1 cm** Höhendifferenz ($\approx$ Höhe der Wassersäule im Spritzenzylinder bei **18 ml** Füllvolumen) in rund **70 s**, was gut zu den Messwerten aus Tabelle b.2 (siehe Anhang) passt.

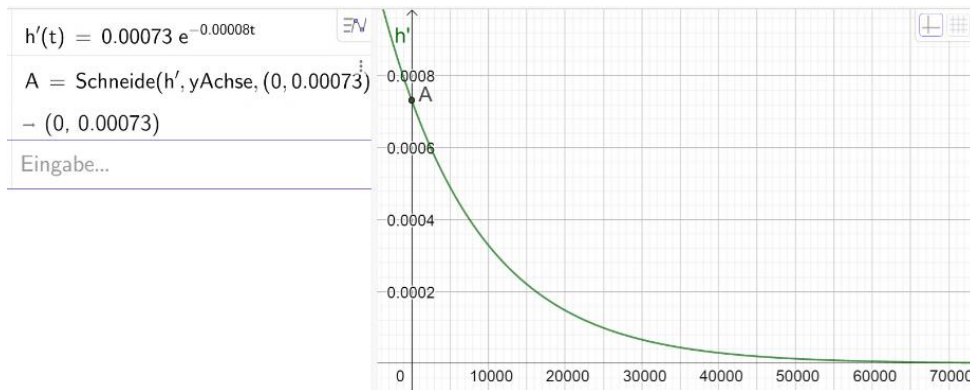


Abb. b.11: Funktion $h'(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.

Die maximal zu erreichende Wassersäulenhöhe zeigt, dass der bis dahin dominant gewordene, hydrostatische Druck einer rund **10 m** hohen Wassersäule (aufgerundet, da ja auch noch der Wassergasdruck wirkt) in etwa dem aerostatischen Druck auf Höhe der Experimentdurchführung gleicht. Es lässt sich daher ableiten, dass der Druck etwa beim Tauchen um rund **1 atm** pro **10 m** Tauchtiefe ansteigt.

3.3 Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag

Ein wiederum ganz anderes Setting findet man im Aufgabenblatt C vor. Hier wurde als Rahmenhandlung, in welche die einzelnen physikalischen Fragestellungen kontextual eingebunden wurden, der Pyramidenbau im antiken Ägypten gewählt, um mit dieser Aufgabe neben Schülerinnen und Schülern des Interessentyps A auch jene anzusprechen, welche sich besonders für Archäologie oder Geschichte interessieren. So findet sich auf Seite 1 des Aufgabenblattes ganz zu Beginn eine kleine historische Einführung dazu, welche in Kapitel 10.2.4 nachgelesen werden kann. Im Zuge der insgesamt vier Aufgabenstellungen, welche zum Teil aus mehreren Unterpunkten bestehen, wird ein Bogen vom Transport der Baumaterialien für die Cheops-Pyramide über den Nil, über den Transport der angelieferten Steine vom Hafen bis zu ihrer finalen Position als Teil der Pyramide, betrachtet unter verschiedenen archäologischen Ansätzen und unter Einbezug der Leistungen der Bauarbeiter bis hin zu einer fiktiven, umgekehrten Pyramide gespannt, wobei immer wieder einzelne archäologische Befunde als hoffentlich interessante Zusatzinformationen eingeflochten wurden. Jeder der vier Aufgabenstellungen wurde jeweils eine A4-Seite gewidmet. Zu einzelnen Unterpunkten wurden auch optionale Hilfestellungen erstellt, welche bei Bedarf von den Schülerinnen und Schülern in Anspruch genommen werden können, sollten sie an diesen Stellen nicht weiterkommen. Ausgelegt

wurden diese dabei so, dass die einzelnen Hilfestellungen gedruckt in unterschiedlichen, beschrifteten Kuverts etwa am Lehtisch bereitgelegt werden und von dort von den Schülerinnen und Schülern geholt werden können, wenn sie diese einsehen wollen.

Themenschwerpunktmäßig geht es bei diesem Aufgabenblatt um Grundgrößen der Mechanik und deren Anwendung, den Auftrieb und ein paar mathematisch-physikalische Überlegungen. Konzepte zu Massenschwerpunkt, Kräften, Hebelgesetz, Auftrieb, Arbeit und Energie, sowie zum Wirkungsgrad sollen hierbei gefestigt werden. Dabei wird bei der Bearbeitung zu zweit im Zuge eines Physikolympiade-Vorbereitungskurses von einer durchschnittlichen Bearbeitungsdauer von vier Schulstunden ausgegangen. Einige Aufgabenstellungen enthalten hierbei relativ klare Arbeitsanweisungen mit, im Vergleich zu den anderen beiden Aufgabenblättern, nicht ganz so offen formulierten Fragestellungen betreffend Lösungsweg, andere hingegen lassen unterschiedliche Ansätze und Überlegungen durchaus zu. Eine Aufgabenstellung jedoch wurde hier noch offener im Sinne einer Fermi-Aufgabe formuliert. Hinsichtlich Schwierigkeit der Aufgaben ist anzunehmen, dass diese zwischen den beiden anderen Aufgabenblättern zu verorten ist, wobei die letzte der vier Aufgabenstellungen bestimmt mathematisch am anspruchsvollsten ist. Für alle Aufgabenstellungen wurden nach dem historisch einleitenden Text folgende mittlere Annahmen für die zu betrachtenden Steine beim Pyramidenbau vorgegeben:

Alle verwendeten Steinblöcke sind quaderförmig, haben eine Dichte von $\rho_B = 2,778 \text{ g/cm}^3$ und eine Masse von $m_B = 2,5 \text{ t}$. (Masse: vgl. Abitz, 1992, S. 62; Dichte Kalkstein: vgl. Osthuess, 2014 und Neufert, 1992; Dichte Granit: vgl. Grotzinger, 2017, S. 10; Dichte Basalt: vgl. Jaumann, 2018, S. 39)

3.3.1 Aufgabenblock 1 – Schiffbeladung

Berechne, wie viele Steinblöcke maximal gleichzeitig in einem Schiff transportiert werden konnten, wenn die Eigenmasse des Schiffes $m_S = 20 \text{ t}$ beträgt und dieses (vereinfacht) als Prisma mit Höhe $h_S = 4 \text{ m}$ und der Grundfläche aus Abb. c.1 angenommen wird!

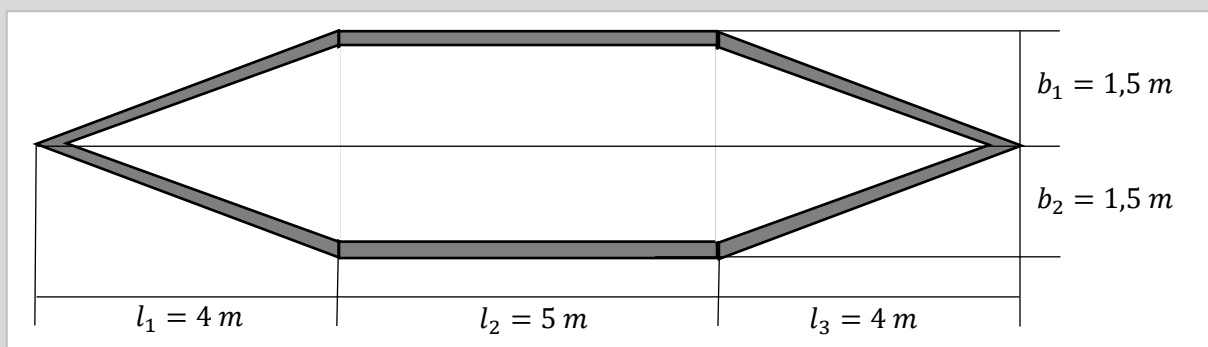


Abb. c.1: Angenommene Maße für ein Steintransportschiff.

Zunächst muss bei dieser Aufgabenstellung der Begriff Prisma korrekt verstanden werden und sollte nicht mit der Form jener Prismen mit dreieckiger Grundfläche verwechselt werden, die aus dem Optikunterricht

vermutlich vorwiegend bekannt sind. Nun sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst überlegen und miteinander diskutieren, was denn die Menge an auf einem Schiff transportierbaren Steinblöcken überhaupt beschränken könnte. Möglicherweise stoßen hierbei einige auf die Idee, dass das Schiff durch seine vorgegebenen Maße nur Platz für eine begrenzte Anzahl an Steinquadern bieten könnte. Da jedoch keine genauen Maße für die Blöcke vorgegeben wurden, ebenso die Dicke der Schiffswände nicht ersichtlich ist, womit das Innenvolumen höchstens geschätzt werden könnte und die Steinblöcke außerdem auch so aufgetürmt werden könnten, dass sie über die Oberkante des Schiffs hinausragen, stellt sich ein reiner Volumenvergleich als nicht sinnvoll heraus. Außerdem würde man hierbei auf eine viel zu hohe Zahl an Steinblöcken kommen. Stattdessen ist zu hoffen, dass die Schülerinnen und Schüler bei ihren Überlegungen selbst auf das Problem des mit zunehmender Masse immer tiefer eintauchenden Schiffes und dem damit verbundenen Konzept des Auftriebs stoßen. Zur Berechnung der maximal aufladbaren Steinblöcke kann nun angenommen werden, dass das Schiff bis zu seiner Gesamthöhe, beziehungsweise fast bis zu dieser, unter Wasser getaucht werden darf. Darüber lässt sich über die Dichte des Wassers, sowie die Massen des Schiffs sowie der Steinblöcke die Lösung berechnen, wobei hier das Kräftegleichgewicht zwischen Gravitationskraft und Auftriebskraft von zentraler Bedeutung ist.

Lösungsvorschlag:

Berechnung des Schiffvolumens V_S :

$$b := b_1 + b_2 = 3m$$

$$V_S = h_S \cdot b \cdot (l_1 + l_2) = 108 m^3$$

Gesamtmasse m_{ges} (Schiff + Ladung):

$$m_{ges} = m_S + x \cdot m_B = (20.000 + 2.500x)kg$$

Dichte von Wasser: $\rho_W \approx 1.000 kg/m^3$

Berechnung der max. aufladbaren Steinblöcke x_{max} :

$$\frac{m_{ges}}{V_S} \leq \rho_W$$

$$\frac{20.000 + 2.500x}{108} \leq 1.000$$

$$x \leq 35,2$$

$$x_{max} = \mathbf{35 \text{ Blöcke}}$$

3.3.2 Aufgabenblock 2 – Hafenrampe

Vom Hafen am Nilufer aus wurden die Steinblöcke vermutlich einzeln auf Holzschlitten über eine Rampe bis zum Pyramidenfuß gezogen. Der Pyramidenfuß lag dabei etwa $d = 550 m$ (horizontale Distanz) vom Hafen entfernt und ca. $40 m$ über diesem. Manche Archäologinnen und Archäologen gehen davon aus, dass

diese Rampe mit fortlaufendem Bau der Pyramide immer weiter aufgebaut und somit auch steiler wurde (vgl. Abitz, 1992). Wir folgen hier dieser Idee:

Der Einfachheit halber soll beim Pyramidenfuß ein Gerüst stehen, von welchem aus ankommende Steine waagrecht bis zu ihrer Endposition verschoben werden können (vgl. Abb. c.2). Der oberste Stein muss über die Rampe daher auf eine Höhe von ca. 186 m über dem Hafenniveau gezogen werden (Die Höhe der Cheops-Pyramide beträgt ca. 146,59 m (Abitz, 1992, S. 61)).

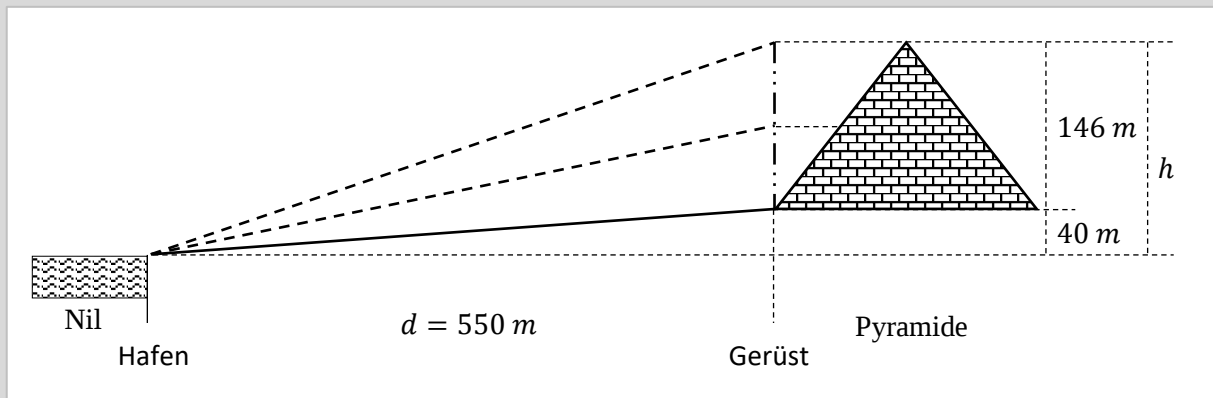


Abb. c.2: Die Steinblöcke werden über eine immer steiler gebaute Rampe vom Hafen bis auf ihre endgültige Höhe am Gerüst gezogen.

2a. Um wieviel Prozent ändert sich

- i) die Reibungskraft ii) die Hangabtriebskraft
- beim Transport vom ersten (Basis) bis zum letzten (obersten) Stein?

[Tipp: Kuvert Nr. c2a]

Diese zu Aufgabenstellung 2 einleitende Aufgabe lässt sich mittels Kräfteparallelogramm und Prozentrechnung lösen - beides Dinge, die vermutlich seit der 9. Schulstufe wohl bekannt sind und zum Standardrepertoire der Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler in den Bereichen Physik und Mathematik zählen. Daher sollte die Bearbeitung der Aufgabenstellung vermutlich nicht besonders schwer fallen und zur Übung und Auffrischung dieser Kompetenzen dienen. Eine kleine Hürde könnte sich dadurch ergeben, dass Schülerinnen und Schüler mangels Angabe zum Reibungskoeffizienten womöglich anfängliche Ideen zur Berechnung der Reibungskraft wieder verwerfen, wobei der Reibungskoeffizient hier letztlich gar nicht benötigt wird, da nur nach dem Verhältnis der beiden angesprochenen Reibungskräfte gefragt wird und sich dieser somit weg kürzt. Für den Fall, dass Schülerinnen und Schüler jedoch in dieser Sackgasse landen sollten, wurde eine optionale Hilfestellung (siehe unten) vorbereitet, welche nahelegt, zunächst Aufgabenstellung 2b zu betrachten, in deren Angabe dann ein Reibungskoeffizient enthalten ist. Dies soll den Schülerinnen und Schülern gegebenenfalls wieder die Sicherheit zurückgeben, mit der Formel für die Reibungskraft arbeiten zu können, wobei sie im Verlauf der Berechnungen möglicherweise noch feststellen werden, dass dieser wieder wegfällt.

Optionale Hilfestellung:

Tipp Nr. c2a: Solltest du bei Aufgabe 2a nicht weiterkommen, versuche zunächst Aufgabe 2b. Vielleicht stößt du dabei auf eine Idee für 2a.

Lösungsvorschlag:

Abbildung c.6 zeigt die vektorielle Verteilung der Gravitationskraft auf einen Steinblock in eine normal und eine parallel zur Rampe stehende Kraft.

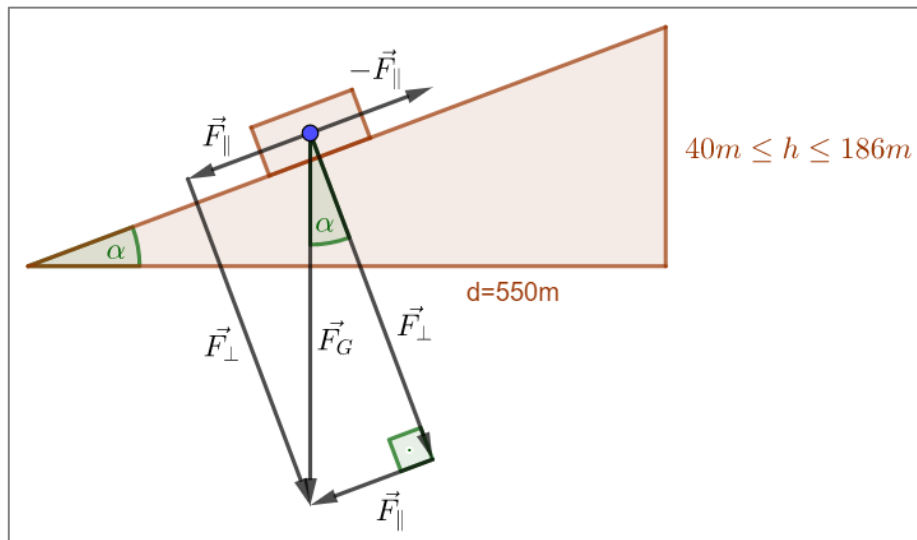


Abb. c.6: Kräfteparallelogramm beim Aufzug von Steinblöcken über die Hafenrampe

Gewichtskraft $\vec{F}_G$:

$$|\vec{F}_G| = m_B \cdot g$$

Steigungswinkel α :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)$$

Normalkraft $\vec{F}_\perp$ in Abhängigkeit der Rampenhöhe h :

$$|\vec{F}_\perp|(h) = \cos(\alpha) \cdot |\vec{F}_G|$$

$$|\vec{F}_\perp|(h) = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g$$

Hangabtriebskraft $\vec{F}_\parallel$ in Abhängigkeit der Rampenhöhe h :

$$|\vec{F}_\parallel|(h) = \sin(\alpha) \cdot |\vec{F}_G|$$

$$|\vec{F}_\parallel|(h) = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g$$

Reibungskraft $\vec{F}_R$:

$$|\vec{F}_R| = |\vec{F}_\perp| \cdot \mu$$

$$|\vec{F}_R|(h) = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g \cdot \mu$$

a) Relative Änderung der...

i) Reibungskraft:

$$\frac{|\vec{F}_R|(186)}{|\vec{F}_R|(40)} = \frac{\cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{186}{550}\right)\right)}{\cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{40}{550}\right)\right)} \approx 0,95$$

$$\frac{|\vec{F}_R|(186)}{|\vec{F}_R|(40)} - 1 \approx -0,05$$

Die Reibungskraft nimmt um ca. **5%** ab.

ii) Hangabtriebskraft:

$$\frac{|\vec{F}_\parallel|(186)}{|\vec{F}_\parallel|(40)} = \frac{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{186}{550}\right)\right)}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{40}{550}\right)\right)} \approx 4,42$$

$$\frac{|\vec{F}_\parallel|(186)}{|\vec{F}_\parallel|(40)} - 1 \approx 3,42$$

Die Hangabtriebskraft nimmt um ca. **342%** zu.

2b. Angenommen, die Pyramide und mit ihr das Gerüst würden immer höher gebaut werden (bis über 1000 Meter). Gib an, bei welcher Gerüsthöhe die größte Zugkraft erforderlich wäre!

[Als Reibungskoeffizient wird $\mu = 0,6$ angenommen (vgl. Müller, 2010, S. 115).]

[Tipps: Kuverts Nr. c2b1, c2b2, c2b3]

Nach dem Vergleich einzelner Maße für die Reibungs- beziehungsweise Hangabtriebskraft in Aufgabenstellung 2a sollen die Schülerinnen und Schüler nun die jeweiligen funktionalen Zusammenhänge näher betrachten und das Maximum der gesamt benötigten Zugkraft in Abhängigkeit von der Rampensteigung ermitteln, beziehungsweise konkret die Rampenhöhe bei diesem Maximum angeben. Im Prinzip handelt es sich hierbei also um eine typische Extremwertaufgabe. Dank GeoGebra sollte es jedoch auch für Schülerinnen und Schüler, welche noch vor der 11. Schulstufe stehen und noch nichts zu Differenzialrechnung gehört haben, möglich sein, die Aufgabe durch Zeichnen der Funktionsgraphen zu lösen, wozu wiederum eine optionale Hilfestellung ‚Tipp Nr. c2b3‘ bereitgestellt wurde. Hilfestellung ‚Tipp Nr. c2b1‘ soll etwaigen Problemen mit den Begriffen Zugkraft, Hangabtriebskraft und Reibungskraft entgegenwirken, daher auch vektoriell angegeben, um zu zeigen, dass diese drei Kräfte parallel wirken. ‚Tipp Nr. c2b2‘ hat ebenso die Absicht auf GeoGebra als nützliches Werkzeug zur raschen Beantwortung der Fragestellung hinzuweisen. Obwohl für die Zugkraft als Funktion der Höhe die Stelle des Maximums unabhängig von der Masse, sowie der Erdbeschleunigung ist und nur der Funktionswert an dieser Stelle dadurch beeinflusst wird, welcher jedoch in der Fragestellung nicht explizit gefordert wird, kann es sich für die Schülerinnen und Schüler mitunter einfacher gestalten, diese Werte einzusetzen und so die bereits aus Aufgabenstellung 2a bekannten Funktionen zu plotten. Spannend dabei ist, dass es sich bei den drei Funktionen um keine linearen Funktionen handelt. Während die Reibungskraft mit zunehmendem Steigungswinkel sukzessive abnimmt, ergibt

sich für die Hangabtriebskraft eine streng monoton steigende Funktion, welche sich jedoch asymptotisch der Gravitationskraft auf den Steinblock nähert. Damit ergibt sich tatsächlich ein lokales (= globales) Maximum für die Zugkraft, während das globale Minimum beim gegebenen Reibungskoeffizienten entsprechend bei einem Steigungswinkel von 0° auftritt. Eine gemeinsame Diskussion dieser Kurven, gegebenenfalls auch mit der Lehrkraft könnte hierbei also spannend sein.

Optionale Hilfestellungen:

Tipp Nr. c2b1: *Zugkraft = Hangabtriebskraft + Reibungskraft* $\vec{F}_Z = \vec{F}_\parallel + \vec{F}_R$

Tipp Nr. c2b2: Setze für die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ und für die Masse des Steinblocks $m_B = 2,5 \text{ t}$ ein. GeoGebra könnte bei der Aufgabe sehr nützlich sein.

Tipp Nr. c2b3: Zeichne in GeoGebra die Funktionsgraphen für die Reibungskraft $F_R(h)$ und die Hangabtriebskraft $F_\parallel(h)$ jeweils in Abhängigkeit von der Rampenhöhe (im für den Pyramidenbau relevanten Höhenintervall).

Lösungsvorschlag:

b) Zugkraft:

$$\vec{F}_Z(h) = \vec{F}_\parallel(h) + \vec{F}_R(h)$$

Auswertung mit GeoGebra (siehe Abb. c.7):

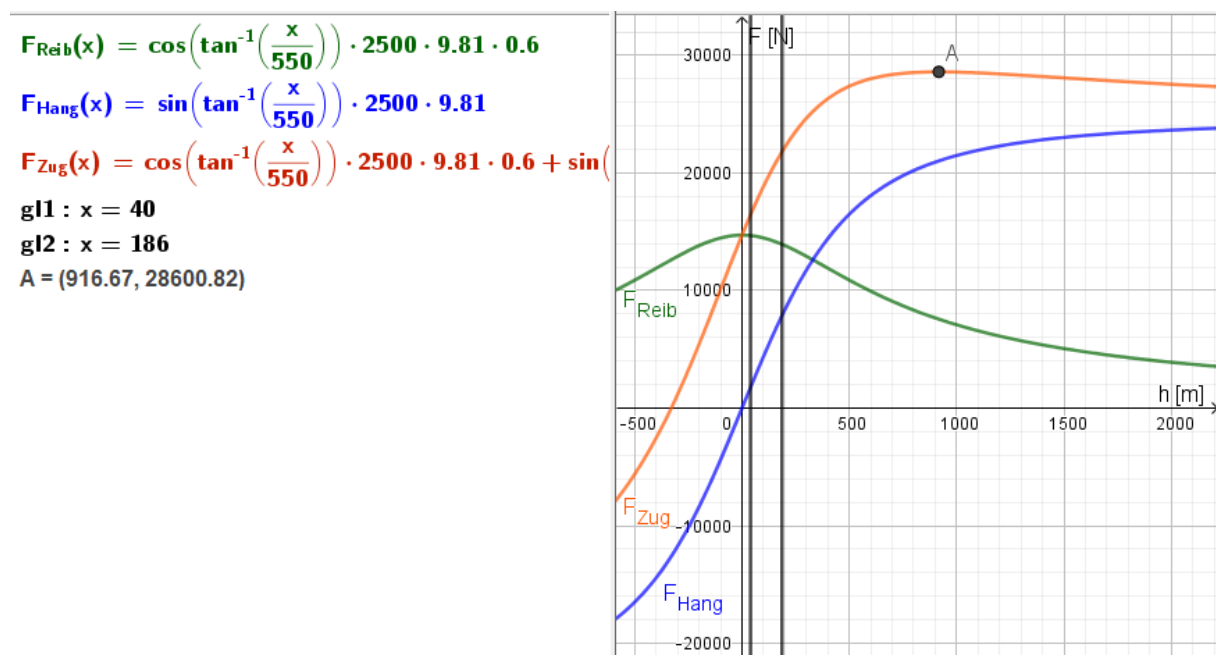


Abb. c.7: Screenshot aus GeoGebra zur Bestimmung der maximalen Zugkraft bei unbegrenzt wachsender Gerüsthöhe h . Der Punkt A markiert diesen Punkt.

Wie anhand von Abb. c.7 erkennbar ist, erreicht die erforderliche Zugkraft bei einer Gerüsthöhe von ca. **917 m** ihr Maximum mit rund **28,6 kN**. Die Stelle, an welcher die Funktion $\vec{F}_Z(h)$ ihr Maximum erreicht, ist natürlich unabhängig von der Steinblockmasse m_B , sowie der Erdbeschleunigung g .

2c. Friedrich Abitz schrieb unter anderem zu dieser Rampenidee:

„Beispielhaft würde die Verlängerung des Transportweges um nur 1 m dem Kraftaufwand entsprechen, 1 Block von 2,5 t Gewicht über 2300 km zu schleppen.“ (Abitz, 1992, S. 65)

Formuliere dazu einen Satz so, dass er physikalisch korrekt ist!

Im vorliegenden Zitat werden unterschiedliche physikalische Größen teils explizit, wie etwa Kraft oder Gewicht, teils implizit, wie etwa Arbeit oder Masse in aus physikalischer Sicht sinnlose Zusammenhänge gebracht. Was genau der Autor mit diesem Satz ausdrücken wollte ist ungewiss. Insofern können die im Zitat genannten Werte nur vor dem Hintergrund des bisher durch Bearbeitung dieses Aufgabenblattes erlangten Wissens und grundlegenden physikalischen Gesetzen der Mechanik betrachtet und interpretiert werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen bei dieser Aufgabe einen zum Zitat passenden und im Gegensatz zu diesem physikalisch korrekten Satz formulieren. Dazu ist es zunächst erforderlich sich mit den teilweise aus Lernendenvorstellungen bekannten Irrtümern des Autors zu beschäftigen und diese als solche zu erkennen, um in Folge zu diskutieren, welche sinnvollen Schlüsse sich aus den numerischen Angaben ziehen lassen könnten. Das genaue Ziel hinsichtlich der Aussage eines Antwortsatzes kann jedoch nicht eindeutig ausgemacht werden, wodurch die Schülerinnen und Schüler ganz im Sinne von Kauertz (2015, S. 453) dazu angehalten sind, dieses Ziel erst selbständig bei einer Diskussion untereinander zu entwickeln.

Lösungsvorschlag:

c) Zitat:

Eine einzelne korrekte Antwort kann es hier nicht geben, da das Zitat physikalisch gesehen aufgrund mehrerer Aspekte sinnlos ist:

8. Zum einen sind 2,5 t kein Gewicht, sondern eine Masse. Bei einer Steinblockmasse von 2,5 t würde dies auf der Erdoberfläche einer Gewichtskraft von rund 25 kN entsprechen.
9. Eine Verlängerung des Transportweges, also der Hypotenuse der Rampe bei gleicher zu erreichender Höhe, würde die Hangabtriebskraft verringern, die Reibungskraft erhöhen und die erforderliche Zugkraft in Abhängigkeit vom Maß der Verlängerung verändern.
10. Was mit dem angesprochenen „Kraftaufwand“ hier genau gemeint ist, ist unklar. Abitz verwechselte hier wohl die Begriffe Kraft und Energie.
11. Eine Masse horizontal zu tragen, erfordert stets den gleichen Kraftaufwand, unabhängig von der Distanz.
12. Die verrichtete Arbeit beim horizontalen Tragen einer Masse (Reibungseffekte ausgeklammert) ist stets 0 J.

Ein möglicher, physikalisch korrekter Satz könnte beispielsweise lauten:

„Beispielsweise würde die Verlängerung des horizontalen Transportweges um nur 1 m bei gleicher maximaler Rampenhöhe $h = 186 \text{ m}$ die erforderliche Zugkraft für den Schlussstein zwar von rund 21,796 kN auf rund 21,786 kN verringern, die dabei zu verrichtende Arbeit würde jedoch von rund 12,655 MJ auf rund 12,670 MJ steigen.“

3.3.3 Aufgabenblock 3 – Schrägaufzug

Eine andere Theorie, wie die Steinblöcke beim Pyramidenbau auf die benötigte Höhe befördert werden konnten, geht von so genannten Schrägaufzügen aus (vgl. Abb. c.3). Dabei liegt eine Rolle (z.B. Baumstamm) auf zwei aus Ziegeln gemauerten, parallelen Wänden. Über die Rolle wird ein Seil gelegt, welches an einem Ende mit einer Plattform verbunden ist, auf welche die Steinblöcke einzeln gelegt werden. Am anderen Seilende hängt ein Käfig, in welchen Arbeiter durch ein Loch in der Ziegelwand steigen können. **Jeder Arbeiter** kann dabei natürlich auch noch **pro Hand** einen deutlich kleineren Stein als **zusätzliche Masse** tragen.

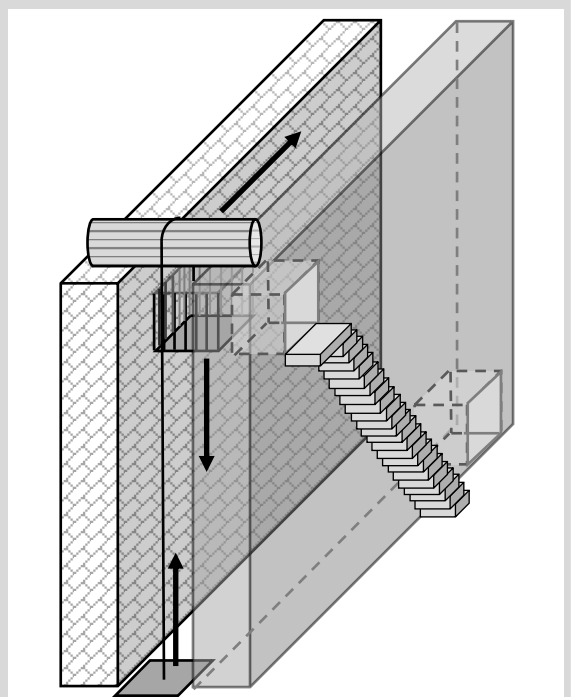


Abb. c.3: Schematische Darstellung eines Schrägaufzugs nach Vorlage von Abitz, 1992, S. 67.

Sobald ausreichend viele Arbeiter samt ihren getragenen Steinen im Käfig sind, rollt der Stamm auf den Wänden ab und befördert dabei den Steinblock schräg nach oben und die Arbeiter nach schräg unten. Der Steinblock kann nun oben von anderen Arbeitern horizontal entnommen werden. Über eine äußere Treppe gelangen die Arbeiter mit ihren Tragmassen wieder nach oben für den nächsten Arbeitsschritt (vgl. Abitz, 1992).

3a. Angenommen wird ein Schrägaufzug, welcher die Steinblöcke **um 10 m nach oben** befördert. Berechne die von einem Aufzugsarbeiter (jene, die raufgehen und runterfahren) mittlere, täglich verrichtete Arbeit (physikalisch) und vergleiche diese mit der Energie eines Müsliriegels (siehe Nährwertetabelle in Tabelle c.1)! Gib alle Größen an, welche du geschätzt hast und erkläre kurz, wie du zu dieser Schätzung kamst!

Nährwerte eines Müsliriegels	
Energie	453 kJ / 108 kcal
Fett	3,7 g
Kohlenhydrate	16,8 g
davon Zucker	9,0 g
Eiweiß	1,3 g
Salz	0,10 g

Tab. c.1: Nährwerte eines Müsliriegels

[Für die verrichtete Arbeit ist ausschließlich das fortlaufende aufwärts Befördern der Steinblöcke zu berücksichtigen – natürlich inklusive wieder hinaufgehen. Reibungseffekte sollen vernachlässigt werden.]

Aufgabenblock 3 ist strukturell völlig anders als die übrigen Aufgabenstellungen, bei denen, zumindest wenn Berechnungen durchzuführen sind, konkrete Werte bekanntgegeben wurden oder eindeutig eruiert werden können, wie eine Fermi-Aufgabe gestaltet. Derartige Ansätze stellen nicht nur im gegebenen historischen Setting oft die einzige Möglichkeit dar, zumindest grobe Abschätzungen zu machen anhand derer bestimmte Hypothesen gegebenenfalls widerlegt werden können, es soll durch diese Aufgabe auch die grundsätzliche Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler trainiert werden, mittels grober

Überschlagsrechnungen und begründeter Annahmen bestimmte Alltags- sowie Professionssituationen quantitativ und größenordnungsmäßig einordnen zu können. Entsprechend können auch in der Lösungserwartung keine exakten Ergebnisse vorgegeben werden. Es geht vielmehr darum mit den individuellen Berechnungen in der annähernd gleichen Größenordnung zu landen und wie in der Aufgabenstellung gefordert begründen zu können, wie man zu den zugrunde gelegten Annahmen kam. Themenmäßig geht es bei dieser Aufgabe vorwiegend um die Begriffe Arbeit und Energie insbesondere um Hubarbeit und potentielle Energie im Gravitationsfeld der Erde. Dass das Ergebnis zur verrichteten Arbeit in der Größenordnung der Energie eines einzelnen Müsliriegels liegt, soll hier sowohl überraschen als auch als Grundlage für die Aufgabenstellung 3b dienen.

Lösungsvorschlag:

Diese Fragestellung entspricht vom Prinzip her einer Fermi-Aufgabe. Im Vordergrund steht daher das Ausmachen von Einflussfaktoren und die Abschätzung derer.

Unter folgenden Annahmen:

- Masse eines Arbeiters $m_A = 70 \text{ kg}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 66)
- Maximale Masse eines pro Hand getragenen Massestücks der Arbeiter $m_H = 25 \text{ kg}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 66)
- Durchschnittliche Dauer eines Arbeitsschrittes inklusive beladen des Aufzugs, Treppe hochgehen, Aufzug besteigen, Aufzugsfahrt, abladen und aussteigen, Aufzug zurücklassen (Arbeitstakt) $t_T = 15 \text{ min}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 69)
- Arbeitstag ohne Pausen $t_D = 10 \text{ h}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 69)

und den bekannten Größen:

- Masse eines Steinblocks $m_B = 2,5 \text{ t}$
- Höhe $h_A = 10 \text{ m}$
- Erdbeschleunigung $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$
- Masse von Aufzug (Seil, Käfig, Ladeplattform) wird so wie die Reibung vernachlässigt

ergibt sich eine erforderliche Arbeiterzahl Z von

$$m_B \leq Z \cdot (m_A + 2m_H)$$

$$Z = 21$$

und damit eine pro Arbeiter an einem Tag verrichtete Arbeit W von

$$W = \frac{t_D}{t_T} \cdot \frac{m_B}{Z} \cdot g \cdot h_A \approx \mathbf{467 \text{ kJ}}$$

Dies entspricht in etwa der Energie eines Müsliriegels (vgl. Tab. c.1).

Anmerkung: Natürlich sind die Reibungskräfte bei diesem Aufbau in der Realität nicht so einfach zu vernachlässigen. So spielen hier wohl die Oberflächenbeschaffenheit von Baumstamm und Ziegelmauer eine große Rolle. Ebenfalls nicht zu vernachlässigen ist vermutlich die Härte des für die Aufzugsrolle verwendeten Holzes, welches angesichts der verhältnismäßig kleinen Auflagebereiche und dem entsprechend

hohen Druck wohl auch verformt und abgenutzt wird. Bei Interesse oder zur Vertiefung könnten die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung dieser Aufgabe zu einer Diskussion hinsichtlich Einschätzung zur tatsächlichen Auswirkung von Reibung bei diesem Vorgang angeregt werden.

3b. Wie anstrengend schätzt du die tägliche Tätigkeit eines Aufzugarbeiters im Verhältnis zur in Aufgabe 3a. berechneten erforderlichen physikalischen Arbeit ein? Beschreibe, weshalb ein Müsliriegel pro Tag den Bedarf an zugeführter „chemischer“ Energie eines solchen Arbeiters bei Weitem nicht decken kann! Gehe in deiner Beschreibung auch auf den Wirkungsgrad ein!

Bei dieser Aufgabenstellung soll nun auf genau jene, bei Aufgabenstellung 3a bereits angesprochene Diskrepanz zwischen der berechneten Hubarbeit sowie der in einem Müsliriegel enthaltenen Energie und dem tatsächlichen Tagesbedarf an Energie eingegangen werden. Dabei kann unterschiedlich tief in ernährungsphysiologische Prozesse eingetaucht werden, jedenfalls enthalten sein sollten in der Diskussion und der Lösung jedoch der Wirkungsgrad, Wärme und der Grundumsatz des Menschen.

Lösungsvorschlag:

Der Wirkungsgrad des Menschen betreffend die Umwandlung chemischer Energie in die gewünschte mechanische Energie einer Tätigkeit, wie jener aus 3a., hängt von der durchgeführten Tätigkeit, sowie den biologischen Gegebenheiten der jeweiligen Person ab. Neben dem Energieaufwand für diverse innerkörperliche Aktivitäten, wie dem An- und Entspannen von Muskeln, wird auch ein großer Teil der Bruttoenergie in Wärme umgewandelt. Beim Treppensteigen kann beispielsweise von einem Wirkungsgrad von lediglich 16 bis 25 % ausgegangen werden (vgl. Hollmann, 1925). Neben all dem ist auch der Grundumsatz des Menschen zur Aufrechterhaltung sämtlicher Organtätigkeiten, Zellerneuerung, etc. nicht zu vernachlässigen.

3.3.4 Aufgabenblock 4 – Verkehrte Pyramide

Aufgabenblock 4 wird durch einen kurzen Schwenk über die Entwicklung des Pyramidendesigns und eine kleine Geschichte eingeleitet, aufgrund derer eine auf dem Kopf stehende, trichterförmige Pyramide errichtet werden sollte (siehe Kap. 10.2.4).

Betrachtet wird zur Vereinfachung lediglich eine Steinreihe. Dabei soll Stein für Stein jeweils so **unter** die bisherigen Steine gelegt werden, dass die darauf liegenden Steine so weit über die linke Kante des neuen Steins ragen, dass der „Turm“ gerade noch nicht umfällt (siehe Abb. c.4). Alle Steine haben dieselbe Masse, Form und Volumen und sind homogen (Dichte überall genau gleich).

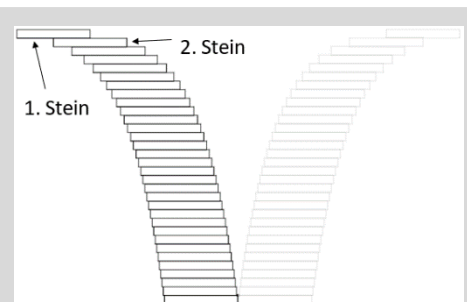


Abb. c.4: verkehrte Pyramide

4a. Wie weit darf der erste Stein maximal über den zweiten ragen? Gib auch deren gemeinsamen Schwerpunkt an!

Beim gesamten Aufgabenblock geht es um den Masseschwerpunkt beziehungsweise um Kräftegleichgewicht und Hebelgesetz. Der im Folgenden angeführte Lösungsvorschlag ist in dieser Form gleich daraufhin ausgerichtet auch die folgenden Aufgabenstellungen möglichst direkt lösen zu können. Bei Aufgabenstellung 4a sind die darin angeführten Überlegungen und Reihen jedoch noch nicht in dieser Form erforderlich. Hier genügt es im Prinzip, zu wissen, dass der Masseschwerpunkt des oberen Steins, welcher aufgrund der angegebenen Beschaffenheit der Steinblöcke in deren geometrischem Mittelpunkt liegt, gerade über der Kante des unteren Steins liegen muss. Quasi als Tipp für die folgenden Aufgabenstellungen wird bereits hier auch verlangt, den gemeinsamen Masseschwerpunkt der beiden Steine anzugeben. Dies soll einerseits dazu führen, dass sich die Schülerinnen und Schüler bereits zu diesem Zeitpunkt, zu welchem die Zusammenhänge noch nicht sehr komplex sind, eine eigene Nomenklatur für die jeweiligen Masseschwerpunkte und Längen überlegen. Andererseits liegt in dieser Handlungsaufforderung aber auch die Idee des Masseschwerpunkts als relevante Größe selbst offen, weshalb diese erste Aufgabenstellung nicht sonderlich schwierig sein sollte. Optionale Hilfestellungen wurden daher zu dieser Aufgabenstellung keine vorbereitet. Um für einen Vergleich von Ergebnissen die gleiche Nummerierung der Blöcke vorzugeben, wodurch auch die Formulierungen der Aufgabenstellungen einfacher konkret ausfallen, wurde diese durch die Skizze in Abbildung c.4 nochmals verdeutlicht.

Lösungsvorschlag:

Um gerade noch auf dem untersten Stein ruhen zu können (labiles Gleichgewicht) muss der gemeinsame Massenschwerpunkt aller darüber befindlichen Steinblöcke gerade über der Kante des untersten Steins liegen (vgl. Abb. c.5).

Mit folgender Nomenklatur

13. S_i ... horizontale Komponente des Massenschwerpunkts des i-ten Steinblocks
14. S_i' ... horizontale Komponente des gemeinsamen Massenschwerpunkts von i übereinander liegenden Steinblöcken, die mit maximalem Überhang auf dem (i+1)-ten Steinblock ruhen
15. l_i ... maximaler Überhang des i-ten Steinblocks über den (i+1)-ten
16. l ... Länge eines Steinblocks

ergibt sich in rekursiver Schreibweise:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= S_1' = l_1 = \frac{l}{2} \\
 S_i &= S_{i-1}' + \frac{l}{2} \quad \forall i: 2 \leq i \in \mathbb{N} \\
 S_i' &= \frac{(i-1) \cdot S_{i-1}' + S_i}{i} \quad \forall i: 2 \leq i \in \mathbb{N} \\
 l_i &= S_i' - S_{i-1}' \quad \forall i: 2 \leq i \in \mathbb{N}
 \end{aligned}$$

a) erster Stein

$$l_1 = \frac{l}{2} \quad S_2' = \frac{3l}{4}$$

4b. Wie weit darf der zweite Stein maximal über den dritten ragen? Gib auch den gemeinsamen Schwerpunkt der drei Steine an!

[Tipp: Kuvert Nr. c4b]

Prinzipiell gilt hier dieselbe Voraussetzung wie in Aufgabenstellung 4a, nämlich dass der Gesamtschwerpunkt der oberen beiden Steine über der Kante des untersten Steins liegen muss. Der Gesamtschwerpunkt der oberen beiden Steine wurde bereits in Aufgabenstellung 4a berechnet. Als neue Herausforderung sollen die Schülerinnen und Schüler nun aber nur jene Länge des zweiten Steins angeben, mit welcher dieser über den dritten Stein ragt. Dazu muss erfasst werden, wie weit hinter der Kante des zweiten Steins der gemeinsame Schwerpunkt der beiden oberen Steine liegt. Auch diese Aufgabenstellung lässt sich noch mittels Skizze oder Konstruktion lösen, bedarf aber weiterer Überlegungen zur Nomenklatur, sofern nicht bereits zuvor mitbedacht – etwa zu Bezeichnung der Schwerpunkte einzelner Steinblöcke gegenüber der Bezeichnung von gemeinsamen Schwerpunkten mehrerer Steine. Um hier gegebenenfalls hinsichtlich Nomenklatur und Strukturierung der Überlegungen unterstützen zu können, wird die optionale Hilfestellung ‚Tipp Nr. c4b‘ in einem Kuvert bereitgelegt. Außerdem wird bei Inanspruchnahme der Hilfestellung in dieser auch die Möglichkeit angeboten, für die Grundlänge der Steine l zunächst einfach einen beliebigen Wert einzusetzen, womit sich manche Schülerinnen und Schüler womöglich zunächst leichter tun als mit einer unbestimmten Variablen. Hinsichtlich Offenheit der Fragestellungen bezüglich Lösungsweg nimmt diese innerhalb des Aufgabenblocks tendenziell sukzessive ab, während die Komplexität zunimmt.

Optionale Hilfestellung:

Tipp Nr. c4b:

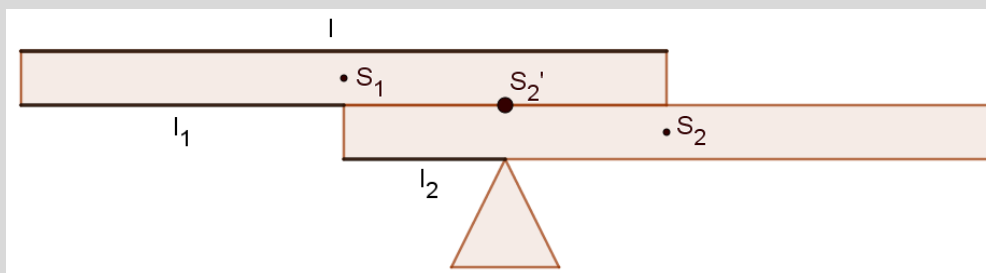


Abb. c.5: 2 Steine der Länge l ruhen auf der linken Kante des dritten Steins. Dabei darf der erste Stein mit Schwerpunkt S_1 maximal um die Länge l_1 über die Kante des zweiten Steines ragen. Der Schwerpunkt des zweiten Steins ist S_2 . S_2' stellt den gemeinsamen Schwerpunkt der beiden Steine dar. Somit darf der zweite Stein genau um l_2 über den dritten Stein hinaus ragen.

Berechne nun l_2 . Drücke es durch die Länge eines Steins l aus, oder setze für l einen Wert ein.

Lösungsvorschlag:

b) zweiter Stein

$$l_2 = \frac{l}{4} \quad S_3' = \frac{11l}{12}$$

4c. Berechne, ab wieviel Steinblöcken sich der unterste Block zur Gänze neben (natürlich weiter unten) dem ersten Block befindet, sofern dies überhaupt möglich ist!

[Tipp: Kuvert Nr. c4c]

Mit zunehmender Anzahl der beteiligten Steinblöcke wird es immer unmöglicher die Aufgabenstellungen noch basierend auf Skizzen oder Konstruktionen zu lösen. Spätestens an dieser Stelle ohne genaue Vorgabe des gesuchten Steinblocks, ebendiese Nummer wird erfragt, bedarf es der Angabe von Folgen für die Positionen der einzelnen Schwerpunkte S_i , gemeinsamen Schwerpunkte S_i' , sowie für die Längen l_i . Diese Folgen können zunächst am einfachsten rekursiv angegeben werden, wobei die jeweils ersten Folgenglieder S_1 , S_1' und l_1 aus Aufgabenstellung 4a bereits bekannt sind und sich die Rekursivität der Folgen aus Aufgabenstellung 4b ableiten lässt. Um die Überlegungen dazu falls nötig in strukturierte und geordnete Bahnen zu lenken, wurde zu dieser Aufgabenstellung neuerlich eine Optionale Hilfestellung im Kuvert mit der Aufschrift ‚Tipp Nr. c4c‘ hinterlegt. Durch Berechnung der ersten Folgenglieder dieser drei rekursiven Folgen kann rasch und durch reines Ausprobieren die Lösung für die vorliegende Aufgabenstellung gefunden werden.

Optionale Hilfestellung:

Tipp Nr. c4c: Berechne jeweils für n Steine, die auf dem $(n + 1)$ -ten neu untergelegten Stein liegen:

- i) die Position des Schwerpunktes des n -ten Steins S_n .
- ii) die Position des gemeinsamen Schwerpunktes S_n' aller n Steine, die auf dem $(n + 1)$ -ten Stein liegen.
- iii) die Länge l_n , um welche der n -te Stein maximal über den $(n + 1)$ -ten Stein ragen darf.

Lösungsvorschlag:

- c) Gesamtüberhang $> l$

$$l_3 = \frac{l}{6} \quad S_4' = \frac{50l}{48} > l$$

Ab 5 Steinblöcken befindet sich der unterste Block zur Gänze neben (unterhalb) des ersten Blocks.

4d. Gib an, wie weit der 75. Stein maximal über den 76. Stein ragen darf!

Nachdem die Schülerinnen und Schüler in Aufgabenstellung 4c die rekursiven Darstellungen der drei Folgen gefunden haben, sollen sie jene für die Längen l_i in Aufgabenstellung 4d nun in die Termdarstellung der Folge überführen. Dies ist in der Aufgabenstellung zwar nicht explizit angegeben, selbst besonders engagierte Schülerinnen und Schüler, welche versuchen würden, rekursiv bis zum 76. Folgenglied vorzugehen, würden jedoch entweder die Wahrscheinlichkeit, sich an irgendeiner Stelle des Prozesses zu verrechnen, ständig höher schrauben und wahrscheinlich früher oder später doch aufgeben oder früher oder später doch eine recht einfache Folgendarstellung in den bereits berechneten Folgengliedern für die Längen l_i erkennen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dies bereits anhand der in Aufgabenstellung 4c berechneten Folgenglieder möglich sein wird. Mit dieser Erkenntnis, ohne Beweis, zur Termdarstellung der

Längenfolge, welche der harmonischen Reihe entspricht, könnten nun rasch beliebige Folgenglieder berechnet werden.

Lösungsvorschlag:

d) 75-ster Stein

Es zeigt sich: $l_i = \frac{l}{2i}$

(harmonische Reihe).

Daher: $l_{75} = \frac{l}{150}$

4e. Ist es auch möglich, dass die linke Kante des obersten Blocks mehr als 2 ganze Blocklängen vor der linken Kante des untersten Blocks liegt? Falls ja, gib an, ab wieviel Blöcken dies möglich ist! [Nutze dazu ein Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel, GeoGebra oder Calc.]

Im Prinzip geht es nun noch darum aus der aus Aufgabenstellung 4d bekannten Folge für die Längen mit denen die einzelnen Blöcke jeweils über den direkt darunter liegenden Block ragen eine Reihe zu machen, um den Gesamtüberhang zu erhalten. Da eine manuelle Berechnung etlicher Partialsummen dieser Reihe, solange bis man auf die erste stößt, welche die geforderte Bedingung eines Überhangs von mindestens $2l$ erfüllt, wiederum sehr mühsam und fehleranfällig wäre, sollen die Schülerinnen und Schüler zum Auffinden der passenden Partialsumme nun ein Tabellenkalkulationsprogramm benutzen, in welchem rekursiv vorgehend durch einfaches Ziehen binnen Sekunden beliebig viele Partialsummenfolgenglieder berechnet werden können. Dies soll den Schülerinnen und Schülern unter anderem auch für den Bereich der Folgen und Reihen die Relevanz derartiger Programme in Hinblick auf *computational physics* näherbringen, nachdem auch GeoGebra als hilfreiches Tool bereits in Aufgabenblock 2 zum Einsatz kam.

Lösungsvorschlag:

e) Gesamtüberhang $> 2l$

Mittels rekursiver Eingabe in ein Tabellenkalkulationsprogramm zeigt sich:

Bei 32 Blöcken ergibt sich ein Gesamtüberhang der 31 über dem untersten Block liegenden Blöcke von ca. $2,014 l$. Bei 31 Blöcken beträgt der Gesamtüberhang noch rund $1,997 l$.

Ja, ein Gesamtüberhang von über $2l$ ist ab 32 Blöcken möglich.

4f. Wie sieht die Sache an den „Trichter“-kanten aus? Kann eine solche Pyramide überhaupt eine quadratische Deckfläche haben? Gib an, wieviel Prozent der Masse des obersten Ecksteins mindestens über dem darunter liegenden Steinblock liegen müssen, damit die Konstruktion hält!

Bei dieser abschließenden Aufgabenstellung soll noch einmal das Konzept des Masseschwerpunkts und dessen Bedeutung für das Hebelgesetz strapaziert werden. Intuitiv könnten einige Schülerinnen und Schüler vielleicht meinen, dass maximal 50% der Masse des Ecksteins über die Kanten des direkt darunterliegenden Steins ragen dürften. Jedoch kommt es bei starren Körpern lediglich darauf an, dass dieser unter seinem Masseschwerpunkt unterstützt wird, um diesen im labilen Gleichgewicht zu halten. An vielen Schulen gibt

es dazu auch entsprechende Objekte, wie etwa Modelle von Vögeln, welche sich lediglich auf deren Schnabelspitze balancieren lassen, da diese auf der senkrechten Achse durch den Masseschwerpunkt des Körpers liegt. Sollte ein derartiges Objekt verfügbar sein, kann dieses den Schülerinnen und Schülern gegebenenfalls ergänzend demonstriert werden. Mit einem einfachen Geodreieck lässt sich ansonsten ein ähnlicher Effekt erzielen. Ziel dieser Aufgabenstellung ist es, dass die Schülerinnen und Schüler diese Erkenntnis aus der Bearbeitung der Aufgabenstellung mitnehmen, beziehungsweise dadurch auffrischen und festigen.

Lösungsvorschlag:

Auch an den Kanten gibt es kein Problem, solange der Massenschwerpunkt des oberen Steins gerade noch über der Kante des unteren Steins liegt. Von zwei direkt übereinander liegenden Steinblöcken kann man somit den oberen entlang einer der Diagonalen von dessen Grundfläche, um maximal die halbe Diagonallänge über die Ecke des unteren Steins verschieben.

Der somit sich noch direkt über dem vorletzten Steinblock befindliche Anteil der Grundfläche des obersten Steins beträgt 25 %. Da laut Angabe von quaderförmigen Blöcken mit homogener Dichte ausgegangen wird, bedeutet dies: Es müssen sich mindestens 25 % der Masse des obersten Steinblocks über dem darunter liegenden Stein befinden.

4 Untersuchungsdesign und Sample

Zur Evaluierung und darauf folgenden Verbesserung der in Kapitel 3 vorgestellten Aufgabenblätter wurden diese in der Praxis erprobt. Aufgrund der zur Zeit der Erprobung verbreiteten COVID-19-Pandemie (Frühjahr 2020), sowie der damit einhergehenden Maßnahmen und Vorgaben durch die Regierung, sowie zum Schutz aller an der Erprobung beteiligten Personen konnten die Aufgabenstellungen leider nicht, wie ursprünglich geplant, in mehreren Gruppen von Schülerinnen und Schülern an unterschiedlichen Standorten und im Zuge von Physikolympiade-Vorbereitungskursen erprobt werden. Es mussten Adaptionen, sowie eine Einschränkung der Zahl der Probandinnen und Probanden getroffen werden.

Im Folgenden sollen die genauen Rahmenbedingungen und Ansätze bei der Erprobung dargelegt, sowie einige Grundinformationen zu den Probandinnen und Probanden zusammengefasst werden.

4.1 Untersuchungsstruktur

Die Untersuchung wurde so konzipiert, dass die entwickelten Aufgabenstellungen Schülerinnen und Schülern vorgelegt wurden, welche bereits Erfahrungen in Physikolympiade-Vorbereitungskursen gesammelt hatten. Dabei wurde pro Probandin oder Proband jeweils genau ein Aufgabenblatt bearbeitet. Sowohl vor, als auch nach der Erprobung wurden mit den jeweiligen Schülerinnen und Schülern Interviews durchgeführt, deren Ziel es war, mögliche Entwicklungen von Kompetenzen beziehungsweise Lernendenvorstellungen durch die Bearbeitung der Aufgabenstellungen zu beobachten, Eckdaten und Interessen der Schülerinnen und Schüler zu erfragen, sowie eine Einschätzung der Probandinnen und Probanden selbst betreffend Schwierigkeit, Verständlichkeit und Motivationsvermögen der Aufgabenblätter zu erhalten.

Sampling und Organisation

Die Auswahl der Probandinnen und Probanden erfolgte unter den Bedingungen, dass diese zur Zeit der Erprobung die 10., 11. oder 12. Schulstufe an einer Allgemeinbildenden Höheren Schule in Wien besuchten, und bereits zumindest ein Jahr lang an einem Physikolympiade-Vorbereitungskurs teilnahmen oder dies im laufenden Schuljahr der Fall war. Die Einschränkung auf Schülerinnen und Schüler mit Erfahrung aus den Vorbereitungskursen hat einerseits den Grund, dass die Aufgabenblätter im Speziellen vorrangig für diesen Personenkreis, also für den Einsatz in ebendiesen Vorbereitungskursen konzipiert wurden und somit direkt die Hauptzielgruppe adressiert werden konnte. Andererseits haben die Probandinnen und Probanden somit bereits mit Aufgaben aus der Physikolympiade zu tun gehabt und können somit ein vergleichendes Feedback hinsichtlich Schwierigkeit, Verständlichkeit und Motivationsfähigkeit geben. Da sich die Physikolympiade und die damit verbundenen Vorbereitungskurse in Österreich zwar nicht ausschließlich, jedoch vorrangig an Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II richten, sowie um davon ausgehen zu können, dass die Schülerinnen und Schüler im Regel-Physikunterricht der Oberstufe bereits mit den

Bereichen Mechanik und Thermodynamik zu tun hatten, wurde außerdem die Einschränkung auf die Schulstufen 10 bis 12 getroffen. Dass hierfür ausschließlich Schülerinnen und Schüler aus Wien herangezogen wurden, ergab sich in erster Linie aufgrund der eingeschränkten Reisemöglichkeiten während der Pandemie, sowie der Tatsache, dass für die Erprobung mancher der Aufgabenblätter vorbereitete Materialien an die Probandinnen und Probanden übergeben beziehungsweise wieder von diesen abgeholt werden mussten. Die Kontaktaufnahme mit den Schülerinnen und Schülern konnte dabei dankenswerterweise über Kursleiterinnen und Kursleiter von Physikolympiade-Vorbereitungskursen in Wien erfolgen.

Im Vorfeld der Untersuchung wurden von interessierten Schülerinnen und Schülern einige Informationen per E-Mail eingeholt, welche erforderlich waren, da aufgrund der Pandemie die Erprobung bei den Schülerinnen und Schülern zu Hause und allein stattfinden musste und diese, sowie die Interviews nur online per Videokonferenz mitverfolgt werden konnten. Darunter befand sich insbesondere eine Einverständniserklärung zur Durchführung der beiden Interviews, sowie der Erprobung per Videokonferenztool, sowie zur Bereitschaft, sich für rund eine Stunde pro Interview und bis zu vier Stunden für die Erprobung zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus wurden die Interessentinnen und Interessenten gebeten anzugeben, welche der zum Teil für die einzelnen Aufgabenblätter benötigten Materialien sie zu Hause hätten, um vorab klären zu können, wem welche Aufgabenblätter mangels Ausstattung nicht zugeteilt werden können. Die Aufforderung und Liste dazu lautete: „Ich habe folgende womöglich aufgabenrelevanten Dinge/Ausstattung daheim und kann diese gegebenenfalls für Experimente verwenden (zutreffendes bitte ankreuzen):

- ☐ Internetzugang
- ☐ Laptop, PC oder Smartphone für die Videokonferenz während der Bearbeitung der Aufgabenstellungen, sowie für die beiden Interviews
- ☐ Freier Arbeitsplatz
- ☐ Physikolympiade-Formelsammlung
- ☐ Taschenrechner
- ☐ Laptop oder PC mit GeoGebra
- ☐ Laptop oder PC mit Excel oder Calc
- ☐ Geo-Dreieck
- ☐ Wasserkocher bzw. Möglichkeit Wasser auf mind. 80 °C zu erwärmen
- ☐ Smartphone mit integriertem Barometer und installierter App ‚phyphox‘
- ☐ Smartphone mit Slow-Motion-Funktion für Videoaufnahmen
- ☐ Schaufel, Besen und Mistkübel
- ☐ Material, um Porzellan darauf fallen zu lassen, ohne dass dieses zerbricht. Sollten dennoch Scherben entstehen, sollte dies für das verwendete Polsterungsmaterial nicht schädigend bzw.

das Material leicht davon zu befreien sein. (zB: alte Matratze, einige Tücher, Polster, Kartonaugen, etc.

- ☐ Eine Person, die mir gegebenenfalls kurz etwas halten kann

Einzelne der oben angeführten Materialien konnten den Schülerinnen und Schülern bei Nichtvorhandensein gemeinsam mit den übrigen Versuchsmaterialien vor der Erprobung persönlich übergeben werden, so zum Beispiel die Physikolympiade-Formelsammlung, Geodreiecke oder Taschenrechner. Andere Materialien, wie etwa ein Smartphone mit Slow-Motion-Funktion für Videoaufnahmen, waren jedoch bei Nichtvorhandensein ein Ausschlussgrund hinsichtlich der Erprobung von einzelnen Aufgabenblättern, wie in diesem Fall Aufgabenblatt A. Auf Basis dieser Einschränkungen und Rückmeldungen konnten letztlich sechs Schülerinnen und Schüler für die Erprobung gewonnen und ihnen jeweils ein Aufgabenblatt zugeteilt werden, womit jedes der drei Aufgabenblätter von je zwei unterschiedlichen Schülerinnen und Schülern bearbeitet wurde.

Vorinterviews

Der Ablauf gestaltete sich so, dass mit den einzelnen Probandinnen und Probanden zunächst das Vorinterview per Videokonferenz geführt und aufgezeichnet wurde. Innerhalb von einer Woche nach diesem fand die Erprobung des Aufgabenblattes statt, welche ebenfalls per Videokonferenz beobachtet wurde. In den Fällen, wo die Probandinnen und Probanden noch bestimmte Materialien für die Durchführung benötigten, wurden diese zwischen Vorinterview und Erprobung persönlich an diese übergeben, wobei alle Materialien in einem gemeinsamen Sack verschlossen waren, welcher erst zu Beginn der Erprobung geöffnet wurde. Jenen Schülerinnen und Schülern, welche abseits des Aufgabenblattes und gegebenenfalls der Formelsammlung keine weiteren Materialien benötigten, wurden die Aufgabenstellungen zu Beginn der Erprobung per E-Mail übermittelt. Nach der Erprobung wurde das Nachinterview wiederum per Videokonferenz durchgeführt und aufgenommen und etwaige ausgegebene Materialien abgeholt.

Die Vorinterviews dauerten jeweils maximal eine Stunde und hielten sich weitgehend an die im Vorfeld konzipierten Interviewleitfäden, welche in Kapitel 10.5 angeführt sind. Die Transkripte der Vorinterviews sind in Kapitel 10.6 nachzulesen. Gegliedert wurden diese in fünf Bereiche: Vorstellung, persönliche Daten, Verhältnis zur Physik, themenbezogene Fachfragen und Verabschiedung. Im Zuge der Vorstellung wurde den Schülerinnen und Schülern für Ihre Teilnahme gedankt, sowie nochmals vorgestellt, dass es sich hierbei um die Erprobung von Aufgabenblättern für den Einsatz in Physikolympiade-Vorbereitungskursen im Zuge einer Masterarbeit an der Universität Wien handelt und diese anhand der Interviews und Erprobung überarbeitet und verbessert werden sollen. Dabei wurde speziell darauf hingewiesen, dass die Schülerinnen und Schüler keine Angst vor Fehlen haben sollen, einfach das sagen sollen, was sie sich zu den Fragen denken und etwaige Missverständnisse oder Fehlvorstellungen absolut kein Problem für sie darstellen würden, da gerade diese aufzufinden Teil der Arbeit sei. Außerdem wurden die Schülerinnen und Schüler nochmals über den zeitlichen Ablauf sowie über die laufende Aufzeichnung informiert. Die erhobenen persönlichen

Daten wie Alter, Schulstufe und Schulzweig sind im folgenden Unterkapitel strukturiert einsehbar, Namen und Geschlecht werden in dieser Arbeit jedoch nicht preisgegeben und dienen lediglich der internen Zuordnung von Aufnahmedateien. Ziel des Abschnitts zum Verhältnis zur Physik war es, vorrangig einen Eindruck zu den Interessen der Schülerin oder des Schülers zu erhalten, um möglicherweise eine grobe Zuordnung zu einem der drei in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Interessentypen treffen zu können. Im folgenden und längsten Abschnitt der Vorinterviews wurden den Schülerinnen und Schülern Fragen zu themenbezogenen Inhalten je nach Aufgabenblatt gestellt, welche nach einem kurzen Block zu Anwendungsbereichen der behandelten physikalischen Inhalte insbesondere darauf abzielten, ihre Vorstellungen zu physikalischen Konzepten einschätzen zu können, zu welchen es häufig dokumentierte Fehlvorstellungen gibt. Die Fragestellungen orientieren sich daher weitgehend an den in den didaktischen Analysen zusammengetragenen Fehlvorstellungen, welche in Kapitel 10.1 festgehalten sind. Im Rahmen der Verabschiedung wurden die Schülerinnen letztlich noch darum gebeten, während der Erprobung laut mitzudenken, ihre Ideen und Überlegungen laut auszusprechen und regelmäßig verbal zu erklären, was sie gerade machen würden.

Erprobung

Dieses Ersuchen wurde zu Beginn der Erprobung ebenfalls neuerlich geäußert. Die Erprobung selbst führten die Schülerinnen und Schüler bei sich zu Hause durch, wobei sie dabei wiederum per Videokonferenz beobachtet wurden. Zur besseren Verfolgung der Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler wurden diese an unterschiedlichen Stellen gebeten, ihre Kamera auf ihre Notizen zu richten beziehungsweise per Screensharing ihren Bildschirm zu teilen, etwa wenn sie gerade mit Programmen wie GeoGebra, Excel oder Python arbeiteten. Bedingt durch die Pandemie mussten die Schülerinnen und Schüler dabei auch allein arbeiten, während die Aufgabenblätter grundsätzlich in der Absicht einer Zusammenarbeit zwischen zwei oder drei Schülerinnen und Schülern entwickelt wurden. Daher konnten einige geforderte Diskussionen unter den bearbeitenden Schülerinnen und Schülern selbstverständlich leider nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurden sie entsprechend gebeten, ihre eigenen Überlegungen dazu zu verbalisieren. Auch abseits dieser fehlenden Zusammenarbeit wurden den Schülerinnen und Schülern während der Erprobung nur bedingt fachliche Hilfestellungen, Erklärungen oder Diskussionen geboten. So wurde selbstverständlich auf Fragen geantwortet, in denen es darum ging, ob die Aufgabenstellung richtig verstanden wurde. An einzelnen Stellen wurden die Schülerinnen und Schüler, wenn sie wo nicht weiterkamen, auch darauf hingewiesen, dass möglicherweise die Nutzung bestimmter Materialien, etwa der Formelsammlung, eines Computers oder einer App ihnen weiterhelfen könnte und im Falle, dass Schülerinnen und Schüler bei einer Aufgabenstellung auf ein falsches Ergebnis stießen, dieses jedoch als korrekt annahmen und die Lösungen, gegebenenfalls auch qualitativer Natur, für die Bearbeitung der weiteren Aufgabenstellungen Voraussetzung waren, wurde nachgefragt und die Schülerinnen gegebenenfalls auf einen anderen Weg hingewiesen. Die für manche Aufgabenstellungen entwickelten optionalen Hilfestellungen wurden jenen Schülerinnen und Schülern, denen bereits Materialien vorweg übergeben wurden, in beschrifteten, verschlossenen

Kuverts bereits beigelegt, wodurch diese bei Bedarf Zugriff darauf hatten. Jenen Schülerinnen und Schülern, mit denen kein persönliches Treffen vorab stattfand, wurden die einzelnen optionalen Hilfestellungen in dem Moment per E-Mail übermittelt, in dem sie nach diesen explizit fragten. Wurden bereitgelegte optionale Hilfestellungen während der Bearbeitung nicht in Anspruch genommen, so wurden die Schülerinnen und Schüler nach der Erprobung gebeten, einen Blick auf diese zu werfen, sodass sie im Nachinterview gegebenenfalls auch dazu Stellung nehmen können.

Nachinterviews

Die Nachinterviews sind neuerlich in drei Abschnitte gegliedert – Einschätzung der Aufgabenstellung, themenbezogene Fachfragen und Verabschiedung und sollten ebenfalls maximal eine Stunde dauern. Die zugehörigen Interviewleitfäden finden sich in Kapitel 10.5, die Transkripte der einzelnen Interviews in Kapitel 10.7. Im ersten Teil des Nachinterviews sollten die Schülerinnen und Schüler das Aufgabenblatt selbst einschätzen, angeben, wie schwierig sie es fanden und was ihnen daran am besten gefallen beziehungsweise gefehlt hat. Ebenfalls wurde eine Einschätzung zur Nützlichkeit der bereitgestellten optionalen Hilfestellungen erbeten. Im zweiten Teil der Nachinterviews wurden den Schülerinnen und Schülern im Grunde dieselben themenbezogenen Fachfragen erneut gestellt, welche sie bereits im Zuge der Vorinterviews beantwortet haben. Ziel dieser Vorgangsweise ist es, die Antworten der Schülerinnen und Schüler vor und nach der Erprobung zu vergleichen und zu prüfen, ob einzelne Fehlvorstellungen sich in der Zeit zwischen den Interviews, in welcher auch die Erprobung stattfand, möglicherweise verändert haben. Sollte dies auftreten, könnten etwaige positive Effekte bedingt möglicherweise auf die Auseinandersetzung mit dem Thema aufgrund der Bearbeitung des Aufgabenblattes zurückgeführt werden, wobei darauf in Kapitel 7 noch genauer eingegangen werden soll. Im schließenden Teil des Nachinterviews, der Verabschiedung, wurde den Schülerinnen überdies nochmals die Möglichkeit gegeben, zu ergänzen, was sie gerne noch anbringen würden und ihnen nochmals der Dank für ihre Teilnahme ausgesprochen.

4.2 Probandinnen und Probanden

Unter den sechs Probandinnen und Probanden befanden sich zwei Schülerinnen und vier Schüler. Ihr Geschlecht wird jedoch im Folgenden nicht explizit zugewiesen und wurde, so wie die Namen, aus den Transkripten der Interviews entfernt, da die hier vorliegende Stichprobe von lediglich sechs Personen keine sinnvollen, geschlechterspezifischen Schlüsse zulassen würde. Zur besseren Lesbarkeit werden die Schülerinnen und Schüler, welche an der Erprobung eines der Aufgabenblätter teilgenommen haben, im Folgenden als Testpersonen bezeichnet.

Die nachstehenden Tabellen fassen einige, möglicherweise hinsichtlich Auswertung der Erprobung relevante Grundinformationen zu den einzelnen Testpersonen zusammen. Alter, Schulstufe und Schulzweig der Testpersonen, sowie das Ausmaß an bisherigen Aktivitäten in Physikolympiade-Vorbereitungskursen können dabei möglicherweise, wenn auch nur sehr bedingt, vorsichtige Rückschlüsse auf das jeweilige

Vorwissen der Testpersonen zulassen. Tatsächlich muss jedoch keineswegs ein kausaler Zusammenhang zwischen der Dauer oder Intensität der Beschäftigung mit physikalischen Inhalten, beziehungsweise des Besuchs von Physikunterricht und den tatsächlich und individuell erworbenen Kompetenzen, sowie dem Vorwissen der Testpersonen bestehen, weshalb diesbezüglich vielmehr auf die Vorinterviews, sowie den Vergleich der Antworten der Testpersonen auf die sich in den Nachinterviews wiederholten Fragen, verwiesen wird. Deutlich aussagekräftiger sind die ebenfalls angegebenen Dauern von Vor- und Nachinterview, sowie der Bearbeitungsdauer der Aufgabenblätter während der Erprobung. Aus der Dauer für die Aufgabenbearbeitung lassen sich grobe Einschätzungen zur durchschnittlich zu empfehlenden Bearbeitungsdauer der einzelnen Aufgabenblätter ableiten, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass diese in anderem Setting, nämlich bei Bearbeitung im Physiksaal und in Kooperation mit anderen Schülerinnen und Schülern, durchaus abweichen kann. Die Startzeiten der Interviews wurden angegeben, da manche davon erst abends durchgeführt werden konnten und somit berücksichtigt werden muss, dass die Konzentrationsfähigkeit dieser Testpersonen zu jener Zeit möglicherweise nicht mehr so hoch war, wie bei jenen, die ihre Interviews bereits zu früherer Stunde gaben. Letztlich wurde bezugnehmend auf Häußler et. al. (1996, S. 57-69) versucht, die einzelnen Testpersonen auf Basis ihrer Aussagen beim Vorinterview einer der drei Interessentypen zuzuordnen (vgl. Kap. 2.2.2). Wenig überraschend zeigte sich dabei, dass keine der Testpersonen, welche alle bereits an Physikolympiade-Vorbereitungskursen teilnahmen, in die Kategorie des Interessentyps C fiel.

<i>Bezeichnung und bearbeitetes Aufgabenblatt:</i>			
Testperson A1 – Omas Lieblingshäferl			
<i>Alter [a]:</i>	<i>Schulstufe:</i>	<i>Schulzweig:</i>	<i>Erfahrung mit PhOly-Kursen</i>
15	10 (Sek. II)	RG	Aktuelles Jahr
<i>Startzeit und Dauer Vorinterview:</i>		<i>Dauer Erprobung:</i>	<i>Startzeit und Dauer Nachinterview:</i>
12:03 Uhr, 16 min		2 h 58 min	13:05 Uhr, 21 min
<i>Interessentyp:</i> Testperson A1 spricht im Vorinterview hinsichtlich ihrer konkreten Interessen an Physik Bereiche der Thermodynamik, Mechanik und Astronomie an, wobei letztere beiden auch explizit als jene Teilbereiche der Physik genannt werden, welche ihr am besten gefallen. Trotz dieser Einschränkung der genannten Lieblingsthemen meint sie ebenfalls, dass für das Faszinierendste an der Physik die Suche nach der Wahrheit sei und nennt sowohl mathematische, experimentelle, als auch theoretische Methoden der Physik als Positivbeispiele. Darüber hinaus gibt sie an, bereits auf die Matura hin zu trainieren, sowie Physik studieren zu wollen. (vgl. Kap. 10.6.1, Zeilen 11-20) Daher kann Testperson A1 am ehesten Interessentyp A nach Häußler zugeschrieben werden.			

Bezeichnung und bearbeitetes Aufgabenblatt:			
Testperson A2 – Omas Lieblingshäferl			
Alter [a]: 16	Schulstufe: 10 (Sek. II)	Schulzweig: WIKU	Erfahrung mit PhOly-Kursen 2 Jahre + aktuelles
Startzeit und Dauer Vorinterview: 10:00 Uhr, 26 min		Dauer Erprobung: 2 h 39 min	Startzeit und Dauer Nachinterview: 15:53 Uhr, 20 min
<i>Interessenstyp:</i> Testperson A2 nennt als faszinierendste Aspekte der Physik, dass man Dinge damit ausrechnen und Vorhersagen treffen kann, woran eine grundsätzliche Affinität zu mathematischen Methoden und theoretischen Aspekten der Physik erkennbar wird. Auf die Frage, welche Themenbereiche der Physik ihr am besten gefallen würden, kam keine konkrete Antwort. Erst nach zweimaligem Nachfragen und Umkehrung der Fragestellung, äußerte sie, dass sie Optik weniger möge. Darüber hinaus meint Testperson A2 auch, später einmal etwas in Richtung Physik machen zu wollen. (vgl. Kap. 10.6.2, Zeilen 21-36) Aufgrund dieser themenunabhängigen Affinität zur Physik und der Freude an auch mathematischen, theoretischen Aufgaben ist Testperson A2 ebenfalls Interessenstyp A nach Häußler zuzuordnen.			

Bezeichnung und bearbeitetes Aufgabenblatt:			
Testperson B1 – Einer Ärztin täglich Brot			
Alter [a]: 17	Schulstufe: 11 (Sek. II)	Schulzweig: RG mit Nawi-Schwerpunkt	Erfahrung mit PhOly-Kursen 1 Jahr + aktuelles
Startzeit und Dauer Vorinterview: 09:02 Uhr, 50 min		Dauer Erprobung: 5 h 02 min	Startzeit und Dauer Nachinterview: 13:10 Uhr, 1 h 15 min
<i>Interessenstyp:</i> Testperson B1 konnte kein spezielles Lieblingsthema innerhalb der Physik nennen, sprach jedoch vor allem von ihrem großen Interesse an Anwendungen der Physik, sei es im Bereich der Thermodynamik, Elektrizitätslehre, Mechanik usw. Darüber hinaus gab Testperson B1 an, dass sie vor allem die Zusammenarbeit und Diskussionen mit ihren Freundinnen und Freunden während der Physiko-lympiade-Vorbereitungskurse sehr schätzt und die Teamarbeit dabei ein zentraler Interessenspunkt für sie ist. (vgl. Kap. 10.6.3, Zeilen 15-22) Aufgrund der zentralen sozialen Komponente, sowie dem stark ausgeprägten Fokus auf Anwendungen in Alltag und Gesellschaft kann die Testperson am ehesten dem Interessenstyp B nach Häußler zugeordnet werden.			

Bezeichnung und bearbeitetes Aufgabenblatt:			
Testperson B2 – Einer Ärztin täglich Brot			
Alter [a]: 17	Schulstufe: 11 (Sek. II)	Schulzweig: RG mit Nawi-Schwerpunkt	Erfahrung mit PhOly-Kursen 1 Jahr + aktuelles
Startzeit und Dauer Vorinterview: 11:02 Uhr, 51 min		Dauer Erprobung: 3 h 30 min	Startzeit und Dauer Nachinterview: 17:44 Uhr, 39 min
<i>Interessenstyp:</i> Testperson B2 spricht im Vorinterview hinsichtlich ihres Interesses an der Physik sowohl theoretische Überlegungen als auch Experimente als für sie sehr interessant an. Unter den von ihr bevorzugten Teilgebieten der Physik nennt sie etwa die Quantenphysik, Astrophysik und Thermodynamik. Klassische Anwendungen der Physik in Alltag und Gesellschaft nennt sie keine, meint jedoch auch, dass lediglich Berechnungen in der Physik nicht zu ihren Favoriten zählten. (vgl. Kap. 10.6.4, Zeilen 13-22) Insgesamt stellt es sich als schwierig heraus, die Testperson einem konkreten Interessenstyp nach Häußler zuzuordnen, sie wäre wohl aber zwischen Typ A und Typ B angesiedelt.			

Bezeichnung und bearbeitetes Aufgabenblatt:			
Testperson C1 – Pharao für einen Tag			
Alter [a]: 17	Schulstufe: 11 (Sek. II)	Schulzweig: RG mit Nawi-Schwerpunkt	Erfahrung mit PhOly-Kursen 1 Jahr + aktuelles
Startzeit und Dauer Vorinterview: 08:02 Uhr, 23 min		Dauer Erprobung: 3 h 22 min	Startzeit und Dauer Nachinterview: 12:21 Uhr, 36 min
<i>Interessenstyp:</i> Testperson C1 gibt an, sich auch in der Freizeit regelmäßig mit Physik zu beschäftigen und zu forschen. Als Lieblingsthemengebiete innerhalb der Physik nennt die Testperson Quantenmechanik und Mechanik, geht aber ebenso auf die Elektrizitätslehre, sowie die für sie wichtigen Anwendungen von Physik in Alltag und Technik ein. Darüber hinaus merkt die Testperson an, dass sie sich gerne mit Denksportaufgaben beschäftige und hält dies sehr allgemein, weshalb sie tendenziell dem Interessenstyp A nach Häußler zugeordnet werden kann. (vgl. Kap. 10.6.5, Zeilen 15-22)			

Bezeichnung und bearbeitetes Aufgabenblatt:

Testperson C2 – Pharaos für einen Tag

<i>Alter [a]:</i>	<i>Schulstufe:</i>	<i>Schulzweig:</i>	<i>Erfahrung mit PhOly-Kursen</i>
16	11 (Sek. II)	RG mit Nawi-Schwerpunkt	1 Jahr + aktuelles
<i>Startzeit und Dauer Vorinterview:</i>		<i>Dauer Erprobung:</i>	<i>Startzeit und Dauer Nachinterview:</i>
10:03 Uhr, 21 min		3 h 19 min	17:11 Uhr, 35 min

Interessenstyp:

Als zentralen Antrieb für die Beschäftigung mit Physik nennt Testperson C2, dass in dieser Disziplin versucht wird, Dinge zu erklären, ohne dabei an etwas, wie einen Gott glauben zu müssen. Unter ihren bevorzugten Teilgebieten der Physik sind im Vorinterview Quantenmechanik und Mechanik genannt worden und für eine Teilnahme an der Physikolympiade entschied sie sich, da sie sich über den Schulunterricht hinausgehend mit Physik beschäftigen wollte. (vgl. Kap. 10.6.6, Zeilen 13-22) Obwohl die Antworten eher kurz ausfielen und keine eindeutige Zuneigung zu sowohl Theorie als auch Experiment und zu Anwendungen der Physik festgestellt werden konnte, kann auch eine Beschränkung auf praktische Anwendungen als Interessensmotor für die Beschäftigung mit Physik nicht erkannt und kein bevorzugter Fokus auf physikalische Fragestellungen mit Bezug zu Mensch und Natur herausgelesen werden, womit eine Zuordnung der Testperson zu einem von Häußlers Interessenstypen schwer fällt, Interessenstyp A naheliegend scheint, aber auch Interessenstyp B in Frage kommt.

5 Evaluation der Aufgabenstellungen und Kompetenzentwicklung

In diesem Kapitel sollen zu den einzelnen Aufgabenblättern jeweils zunächst etwaige Auffälligkeiten während der Erprobung dargelegt werden. Diese umfassen beispielsweise Verständnisschwierigkeiten oder Missinterpretationen einzelner Aufgabenstellungen durch die Testpersonen, Anmerkungen zu von den Testpersonen gewählten Lösungswegen oder -ansätzen, welche von den in Kapitel 3 vorgestellten Lösungsvorschlägen abweichen, allfällige Unterbrechungen, Schwierigkeiten, sowie Hilfestellungen, welche abseits der geplanten und verschriftlichten, optionalen Hilfestellungen gegeben wurden.

Im Anschluss daran werden zu den in den didaktischen Analysen und Interviewleitfäden zusammengefassten Themenbereichen Antworten der Testpersonen aus den Vorinterviews mit jenen aus den Nachinterviews verglichen, um mögliche Entwicklungen von Lernendenvorstellungen zwischen den beiden Interviews und über die Erprobung hinweg nachzuverfolgen.

Einschätzungen der Aufgabenblätter durch die Testpersonen selbst, welche ebenfalls im Zuge der in Kapitel 10.7 nachzulesenden Nachinterviews erhoben wurden, sollen in Folge ebenfalls aufbereitet werden.

Die aus all diesen Daten gezogenen Schlüsse zur Überarbeitung der Aufgabenblätter werden in Kapitel 6 präsentiert. Die daraus hervorgegangenen adaptierten Versionen der Aufgabenblätter inklusive Lösungsvorschläge sind im Anhang den Kapiteln 10.3 und 10.4 zu entnehmen.

5.1 Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl

Das Aufgabenblatt A wurde mit den beiden Testpersonen A1 und A2 (siehe Kap. 4.2) erprobt. Die Untersuchung etwaiger Kompetenzentwicklungen bezieht sich auf mögliche Veränderungen von Lernendenvorstellungen, soweit diese aus einem Vergleich der Antworten der Testpersonen in den Nachinterviews (Kap. 10.7.1 u. 10.7.2) gegenüber den Vorinterviews (Kap. 10.6.1 u. 10.6.2) sichtbar wurden. Entsprechend dem Fokus des Aufgabenblattes richteten sich die dahingehenden Fragestellungen in den Interviews (siehe Kap. 10.5.1) thematisch an bekannten Lernendenvorstellungen (vgl. Kap. 10.1.1) zur Mechanik aus.

5.1.1 Erste Befunde während der Erprobung

Aufgabenstellung 1:

Der Einstiegsversuch vor Aufgabenstellung 1 wurde von beiden Testpersonen wie intendiert umgesetzt, bis auf die Tatsache, dass beide die Mutter zwar zunächst festhielten, jedoch nicht auf Höhe der Stativstange, sondern deutlich niedriger. Als Resultat dessen fiel das Häferl bei Testperson A1 einfach zu Boden. Als

Testperson A1 den Versuch erneut durchführte, nachdem sie auf die Beachtung der Abb. a.1 hingewiesen wurde, funktionierte der Versuch und die Testperson reagierte mit „Oh, sollte das passieren? Geil!“, was die Wirksamkeit des Überraschungseffekts bei diesem Versuch hinsichtlich Motivation, wie in Kap. 3.2.1 beschrieben, unterstreicht. Bei Testperson A2 konnte die Mutter gerade noch eine ausreichend große, horizontale Geschwindigkeit erreichen, um den Salto zu schaffen. Daher sollte in der Überarbeitung auf die wichtigsten Aspekte des Versuchsaufbaus noch expliziter hingewiesen werden.

Bei den in Aufgabenstellung 1 geforderten Erklärungen zeigten sich dann sehr unterschiedliche von den Testpersonen gewählte Ansätze. Testperson A1 legte ihren Fokus dabei eher auf eine Begründung für die Tatsache, dass das Häferl abgebremst wird und zum Stillstand kommt. Der Salto der Mutter und dessen Ursachen wurden hingegen zunächst nicht beachtet. Testperson A2 hingegen stellte Vergleiche mit Pirouetten, Hebelgesetz und Drehmoment an. In Folge fokussierte sie ihre Überlegungen auf die wirkenden Kräfte, weniger jedoch auf die Energie. Diese sehr unterschiedlichen Ansätze deuten darauf hin, dass sich zu dieser sehr offen gestellten Aufgabe bei Partnerarbeiten spannende Diskussionen ergeben können, weshalb die Aufgabenstellung auch in dieser Form bestehen bleiben sollte. Ergänzende Hinweise oder Fragen, um die Schülerinnen und Schüler auf die zentralen Aspekte aufmerksam zu machen, sollten jedoch vermerkt werden.

Aufgabenstellung 2:

Da die per Hand gehaltene Stativstange hier in den meisten Fällen deutlich mitschwingt, was die Genauigkeit der mittels Videoanalyse gewonnenen Werte stark beeinträchtigt, kamen beide Testpersonen von sich aus auf die Idee, die Stativstange nun zu fixieren. Dieser Methode wurde in der Aufgabenstellung bisher jedoch wenig Raum gegeben. Bei der Videoaufnahme selbst traten mehrere Schwierigkeiten in Erscheinung. Einerseits schien beiden Testpersonen nicht ganz klar zu sein, worauf sie bei der Videoanalyse genau achten sollten, beziehungsweise was aus dieser später abgelesen werden soll. So nahm Testperson A1 den Versuch zunächst aus zu kurzer Distanz auf, wodurch die Mutter nicht zu jedem Zeitpunkt von der Kamera erfasst wurde. Bei ihrem zweiten Anlauf ließ sie die Mutter parallel zur optischen Achse der Kamera schwingen, wodurch der von der Mutter überstrichene Winkel nicht mehr gut auslesbar war. Auf selbiges Problem stieß auch Testperson A2, womit die Aufnahme von beiden wiederholt werden musste. Dies zeigt auf, dass die konkreten Ziele der Videoaufnahme in der Aufgabenstellung klarer kommuniziert werden sollten, sodass die Schülerinnen und Schüler einen Versuch unter Berücksichtigung dieser planen können. Außerdem war beiden Testpersonen unklar, welcher Zeitpunkt in der Angabe genau gemeint wäre. Tendenziell verstanden sie darunter den Zeitpunkt, ab welchem das Häferl seine Höhe gar nicht mehr verändert, anstatt des Zeitpunktes, ab welchem dessen Bewegung von einem näherungsweise freien Fall in einen deutlich gedämpften Fall übergeht. Auch hier bedarf es einer Umformulierung der Aufgabenstellung.

Aufgabenstellung 3:

Basierend auf den Unklarheiten bezüglich des zu betrachtenden Zeitpunkts aus Aufgabe 2 kam es bei der Erprobung im Zusammenhang mit der Lösung der Aufgabenstellung 3 zu weiteren Schwierigkeiten. Darüber hinaus sorgten die fiktiven Annahmen der Angabe über den abrupten Stopp des Häferls für weitere Verwirrung, was in Kombination mit dem in der Aufgabenstellung in Klammer gesetzten Begriff der Reibung insbesondere bei Testperson A2 dazu führte, dass nicht klar war, ob die Reibung hier nun berücksichtigt werden sollte oder nicht. Den gedanklichen Sprung, die Tangentialgeschwindigkeit der Mutter zu beobachteten Zeitpunkt über die Energieerhaltung zu errechnen, schafften beide Testpersonen nur nach Intervention und Hilfestellung von außen. Auch hier gab es neuerlich Schwierigkeiten, die fiktive Annahme der Angabe nachzuvollziehen, da das Häferl zum betrachteten Zeitpunkt noch nicht völlig zum Stillstand gekommen ist und somit auch noch eine kinetische Energie hatte. Daher sollte die Aufgabenstellung wesentlich konkreter umformuliert, oder die fiktiven Annahmen aus der Angabe verworfen und der Fokus bei einer Umgestaltung der Aufgabenstellung auf realistischere Umstände gelegt werden. Dies würde bedeuten, dass vor allem auch die Reibung nicht unbedingt vernachlässigt werden sollte. Ebenso bedarf es konkreterer Hinweise darauf, sollte die Energieerhaltung nach wie vor in die Bearbeitung eingehen. Nach Klärung der in der Aufgabenstellung getroffenen Annahmen konnten beide Testpersonen mit ihren eigenen Messdaten dem Lösungsvorschlag nahekommende Ergebnisse berechnen. Sehr spannend ist jedoch noch anzumerken, dass Testperson A1 zunächst versuchte, die Winkelgeschwindigkeit der Mutter zum gesuchten Zeitpunkt direkt aus der Slow-Motion-Videoaufnahme auszulesen. Nach Intervention gelang es auch tatsächlich überraschend gut, einen Durchschnittswert für die Winkelgeschwindigkeit für ein halbwegs eng gesetztes Zeitintervall rund um den betrachteten Zeitpunkt direkt anhand des Videos zu bestimmen.

Aufgabenstellungen 4:

Auch bei Aufgabenstellung 4 kam es bei der Erprobung vor allem bei Testperson A2 abermals zu Unsicherheiten, ob Reibungseffekte und Wärme bei der Bearbeitung berücksichtigt werden sollten. Nach Klärung dessen verlief die Lösung der Aufgabenstellung jedoch problemlos. Testperson A1 schlug hier direkt den intendierten Lösungsweg ein und konnte die Aufgabenstellung ebenfalls rasch lösen.

Aufgabenstellung 5:

Sowohl Testperson A1 als auch Testperson A2 kamen bei Aufgabenstellung 5 im Anschluss ohne weitere Interventionen zu ähnlichen Ergebnissen, wie diese bereits in Kapitel 3.1.5 im Lösungsvorschlag vorgestellt wurden. Beide Testpersonen schienen dabei durchwegs routiniert in der Bewältigung derartiger Anforderungen.

Aufgabenstellung 6:

Die zuvor mit beiden Testpersonen bei Aufgabenstellung 3 und 4 bereits diskutierten Aspekte betreffend Reibung konnten hier von den Testpersonen sinnvoll aufgegriffen und analysiert werden. Testperson A1

setzte überdies an, detailliertere Überlegungen zum Luftwiderstand zu machen, gab diese dann jedoch wegen der Kleinheit des zu erwartenden Effekts auf.

Aufgabenstellung 7:

Auch Aufgabenstellung 7 konnte von beiden Testpersonen umfassend diskutiert werden. Lediglich der Begriff der Rückkopplung war Testperson A1 nicht ganz klar und Testperson A2 völlig unbekannt, worauf durch Intervention abschließend noch kurz eingegangen wurde.

5.1.2 Kompetenzentwicklung

Tempo und Geschwindigkeit:

Testperson A1 zeigte bei den meisten in den Interviews gestellten Fragen aus diesem Bereich fundiertes, physikalisches Wissen. Lediglich bei der Geschwindigkeitsaddition offenbarten sich Schwierigkeiten. So meinte sie im Vorinterview, dass ein Körper mit bestimmter Anfangsgeschwindigkeit, welcher einen zu seiner Geschwindigkeit normal gerichteten Stoß erfährt, sich nach dem Stoß im 45° -Winkel hinsichtlich Anfangsgeschwindigkeit bewegen würde (Zeile 28, Kap. 10.6.1). Dieser Fall könnte zwar eintreten, jedoch lediglich dann, wenn das Zusatztempo genau dem Anfangstempo entspricht, was jedoch nicht gegeben war. Im Nachinterview hielt die Testperson zwar weiterhin am 45° -Winkel fest, konkretisierte dann jedoch „[...] halt mit dem Anfangstempo nach rechts und [...] mit [dem] zugeführten Tempo nach oben oder unten [...]“ (Zeile 36, Kap. 10.7.1) und sprach in Folge auch von Vektoraddition zur Bestimmung des Gesamttempos. Diese positive Entwicklung hinsichtlich der Lernendenvorstellungen könnte möglicherweise in Verbindung mit der bei der Erprobung bewältigten Aufgabenstellung 5 in Verbindung stehen, bei welcher es um Berechnungen zum horizontalen Wurf ging. Testperson A2 hatte hier im Vorinterview ebenfalls von jenen 45° gesprochen, dies jedoch auf einen resultierenden Kraft- statt Geschwindigkeitsvektor bezogen. Im Nachinterview hingegen konnte sie eine vollständig physikalisch korrekte Beschreibung geben. Der Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit hingegen konnte von Testperson A2 im Vorinterview gar nicht und im Nachinterview nur fehlerhaft beschrieben werden. Ebenso gab es bei ihr im Vorinterview noch Verwechslungen der Newton'schen Axiome, welche im Nachinterview jedoch nicht mehr bestanden (vgl. Zeilen 37-64, Kap. 10.6.2; Zeilen 35-44, Kap. 10.7.2).

Bewegung und Kraft:

Die grundlegenden Relationen zwischen Kraft und Bewegungsänderung konnten von beiden Testpersonen in beiden Interviews korrekt beschrieben werden. Eine etwas fragliche Formulierung wählte Testperson A2 an einer Stelle im Nachinterview: „[...] jedes Mal, wenn eine Masse beschleunigt wird, resultiert daraus eine Kraft“ (Zeile 48, Kap. 10.7.2). Schwierigkeiten zeigten sich bei beiden Testpersonen auch neuerliche bei der Geschwindigkeitsaddition. So sprach Testperson A2 im Vorinterview bei einem Beispiel zum horizontalen Wurf von einem asymptotischen Flugverhalten (Zeile 82, Kap. 10.6.2). Bei konstantem

horizontalem Tempo kann jedoch auch bei fortwährend normal dazu wirkender Kraft kein Grenzwert für die horizontale Lage des Körpers existieren. Testperson A1 brachte hier hingegen im Nachinterview neuerlich einen 45° -Winkel ins Spiel. Trotz korrekter Bearbeitung von Aufgabenstellung 5 (vgl. Kap. 5.1.1) wurde hier offenbar die Beschleunigung aufgrund der wirkenden Kraft von der Testperson ausgeblendet (Zeile 48, Kap. 10.7.1).

Kreisbewegung:

Die erste Frage nach der Flugbahn des Mondes bei plötzlich ausfallender Gravitationskraft haben beide Testpersonen in Vor- und Nachinterview so beantwortet, dass von einem grundsätzlich physikalisch korrektem Verständnis bezüglich Trägheit und Zentripetalkraft ausgegangen werden kann. Bei der Interviewfrage nach der Bewegung eines Balles, welcher in einem kreisrunden Rohr rollt und plötzlich an eine offene Stelle des Rohres gelangt, gab es jedoch offenbar Schwierigkeiten die Situation klar verständlich zu machen. Beide Testpersonen konzentrierten sich hierbei eher auf äußere Einflüsse und sprachen von der Wirkung der Gravitationskraft normal zur Bewegungsebene des Balles im Rohr oder auch von der Corioliskraft für Beobachterinnen und Beobachter auf der Erde. Schlüsse auf Fehlvorstellungen lassen sich hieraus jedoch nicht konkret ableiten. Auch die aus dem vorherigen Abschnitt hervorgegangene Vermutung einer fehlerhaften Lernendenvorstellung von Testperson A1 zum horizontalen Wurf wurde hier im Nachinterview damit relativiert, dass die Testperson zur Bewegungskurve eines Balles, welcher ein rundes Rohr durch eine Öffnung am Boden des Rohres und zugleich wirkender Schwerkraft verlässt, sagte: „Das wäre dann eine Parabel“ (Zeile 54, Kap. 10.7.1).

Energie:

Testperson A1 konnte sowohl im Vor- als auch im Nachinterview den Begriff der Energie einerseits als Erhaltungsgröße, andererseits als Möglichkeit, Arbeit zu verrichten beschreiben. Den Unterschied zwischen Kraft und Energie sah sie insbesondere darin, dass ein Körper, auf welchen eine Nettokraft wirkt, stets beschleunigt wird, während ein Körper, der keine Beschleunigung erfährt, dennoch Energie haben kann (vgl. Zeilen 57-62, Kap. 10.6.1 und Zeilen 55-66, Kap. 10.7.1). Testperson A2 hingegen konnte im Vorinterview noch gar keine Unterschiede zwischen Kraft und Energie angeben, wenngleich sie anmerkte, dass es einen Unterschied zwischen diesen Größen gäbe. Im Nachinterview brachte sie schließlich Energie mit Geschwindigkeit und Kraft mit Beschleunigung in Zusammenhang, wenngleich die Formulierung „[...] Energie wird durch eine Geschwindigkeit und Kraft durch eine Beschleunigung erzeugt“ nicht besonders glücklich gewählt wurde. Sie gab jedoch ebenfalls in beiden Interviews an, dass Energie aufgrund des Energieerhaltungssatzes niemals erzeugt werden könne, womit hier eher die positiven Lernendenvorstellungsentwicklungen zu beachten sind (vgl. Zeilen 93-104, Kap. 10.6.2 und Zeilen 61-67, Kap. 10.7.2).

Messfehler:

Im Bereich Messfehler und Messgenauigkeit konnten beide Testpersonen in beiden Interviews ein fundiertes Verständnis zeigen. So war beiden klar, dass eine Messung stets fehlerbehaftet ist und auch unterschiedliche Beispiele für Ursachen von Messungenauigkeiten konnten genannt und beschrieben werden (vgl. Zeilen 63-72, Kap. 10.6.1; Zeilen 105-116, Kap. 10.6.2 und Zeilen 67-76, Kap. 10.7.1; Zeilen 67-80, Kap. 10.7.2).

5.1.3 SchülerInneneinschätzung der Aufgabenstellungen

Die bereits in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Verständnisschwierigkeiten bei den Aufgabenstellungen 2 bis 4 spiegeln sich auch in der Schwierigkeitseinschätzung des Aufgabenblattes durch die Testpersonen selbst wider. So meinte Testperson A1 etwa, die Aufgabenstellungen ab Nr. 5 als entspannend einfach empfunden zu haben, während jene „davor mit dem – wo man annehmen musste, dass es stehen bleibt und die Energie ausrechnen musste“ (Zeile 4, Kap. 10.7.1) als schwerer empfunden wurden. Die Testperson merkte weiters an, dass sie es aber als gut empfand, die schwierigeren Aufgabenstellungen eher im mittleren Teil des Aufgabenblattes vorgefunden zu haben, sodass es zu einem sanften Einstieg, sowie Ausklang des Aufgabenblattes kam. Auch die Einschätzung von Testperson A2, welche angab, dass es zwar keine schwierigen Rechnungen gegeben hätte, jedoch das Prinzip dahinter erst verstanden werden musste (vgl. Zeile 2, Kap. 10.7.2) passt zu dem Bild, dass es bei den Aufgabenstellungen im Mittelteil Verständnisschwierigkeiten gab und diese überarbeitet werden sollten. Über das zentrale Experiment dieses Aufgabenblattes merkte Testperson A1 an, dass der Aufbau zwar etwas länger gedauert hätte, was auch auf den Mangel an weiterem Stativmaterial aufgrund der pandemiebedingten Erprobung via Videokonferenz zurückgeführt werden kann, es dann jedoch gut funktionierte.

Insgesamt kam das Aufgabenblatt bei den Testpersonen aber gut an. Insbesondere strichen beide heraus, dass ihnen vor allem die Kombination klassischer Ideen und Rechnungen aus der Mechanik in diesem praktischen Zusammenhang und angewandt auf das Experiment besonders gut gefiel. Sowohl der rote Faden, der die einzelnen Aufgabenstellungen miteinander verband, als auch die Beobachtbarkeit errechneter Effekte am Experiment wurden als positive Aspekte von den Testpersonen genannt (Zeilen 7-12, Kap. 10.7.1; Zeile 8, Kap. 10.7.2). Testperson A1 merkte weiters an, dass es wichtig wäre in der Angabe expliziter darauf zu verweisen, dass die Mutter waagrecht von der Stativstange weggehalten werden müsse, was auch bereits in Kap. 5.1.1 vermerkt wurde. Ansonsten fanden die Testpersonen das Experiment gut und beschrieben auch die Unsicherheit dabei, das Häferl einfach fallen zu lassen, als „komisches Gefühl“ mit „ein bisschen Angst“, das es aber spannender machte (Zeile 28, Kap. 10.7.1 und Zeilen 32-34, Kap. 10.7.2).

Durchaus interessant waren letztlich auch noch die in den Nachinterviews von den Testpersonen geäußerten Änderungsvorschläge und Ergänzungswünsche. Testperson A1 bezog sich dabei vorrangig auf Aufgabenstellung 3 und schlug eindeutiger Hinweise dazu vor, inwiefern die Energie bei dieser Aufgabenstellung

beachtet werden sollte, was die bereits mehrfach angemarkten Probleme bei dieser Aufgabenstellung neuerlich unterstreicht. Außerdem fände sie einen sanfteren Einstieg, etwa durch zunächst einfachere Rechenaufgaben, in diesen Aufgabenblock vorteilhaft und merkte zurecht an, dass aus Aufgabenstellung 3 nicht eindeutig hervorginge, ob dabei die Winkel- oder Bahngeschwindigkeit der Mutter gesucht sei. Einer Aufteilung von Aufgabenstellung 3 in einen Teil zur Berechnung von Energien und einen weiteren Teil mit Fokus auf die Videoanalyse und der Aufgabe, etwa die Winkelgeschwindigkeit direkt aus dem Video abzulesen, stand sie sehr positiv gegenüber (Zeilen 14-24, Kap. 10.7.1). Testperson A2 hingegen sah hier keinen unbedingten Änderungsbedarf, solange bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung ausreichend Zeit für Überlegungen, Analysen und Diskussionen zur Verfügung stünden. Einen Hinweis auf die Beachtung der Energieerhaltung würde sie lediglich als optionale Hilfestellung vorschlagen. Dafür sprach sie die, während der Erprobung bei ihr aufgetretenen Verwechslungen der einzelnen Schnurabschnittslängen zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Versuchs an und äußerte sich selbstkritisch zur mangelhaften Notation derer, etwa in einer übersichtlichen Tabelle oder Skizze. Dies könnte als Anlass dazu genommen werden, über die Ergänzung einer optionalen Hilfestellung in dieser Richtung nachzudenken. Letztlich gab Testperson A2 ebenfalls an, sich noch eine Aufgabe mit GeoGebra-Einsatz zu wünschen, bei welcher einzelne Werte mittels GeoGebra berechnet oder Funktionsgraphen dargestellt werden könnten. Auch dies erscheint umsetzbar und könnte die Aufgabenstellung zusätzlich bereichern.

5.2 Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot

Basisinformationen zu den Testpersonen B1 und B2, welche Aufgabenblatt B erprobten, finden sich in Kap. 4.2. Kapitel 5.2.2 orientiert sich wiederum an mitunter im Zuge des Vergleichs von Antworten der Testpersonen bei den Vor- (Kap. 10.6.3 u. 10.6.4) beziehungsweise Nachinterviews (Kap. 10.7.3 u. 10.7.4) in Erscheinung getretenen Veränderungen von Lernendenvorstellungen. Überprüft wurden dabei insbesondere Lernendenvorstellungen aus den Themenbereichen Thermodynamik und Mechanik (vgl. Kap. 10.1.2), sowie die Fähigkeit Anwendungen dazu in physikalisch korrektem Kontext zu beschreiben. Die hierfür entwickelten Fragestellungen sind Kap. 10.5.2 zu entnehmen.

5.2.1 Erste Befunde während der Erprobung

Aufgabenstellung 1:

Beide Testpersonen haben hier von sich aus die Raumtemperatur direkt vom an diese bereits angepassten Thermometer abgelesen, bevor sie dieses zur Wassertemperaturmessung nutzten. Dabei erhielten sie Werte von ca. (2 bis 3) K unter der Raumtemperatur und schlossen korrekt, dass dies relativ stabile Bedingungen (Temperatenausgleich) für die Dauer des Versuchs bedeutete.

Aufgabenstellung 2:

Aufgabenstellung 2 entpuppte sich als äußerst effektiv, wenn es darum geht, Lernendenvorstellungen aufzudecken, um an diesen gegebenenfalls arbeiten zu können. Die Testpersonen zeigten sich bei der Bearbeitung als sehr einfallsreich und reflektiert. Die Vorstellung, dass sich im ausgezogenen Spritzenzylinder über dem flüssigen Wasser Wassergas befindet, wurde von beiden jedoch zunächst nicht angenommen. Testperson B1 hatte gleich zu Beginn des Versuchs die Idee, den Kolben wieder loszulassen, um zu überprüfen, ob der Kolben dicht war oder Luft beim Aufziehen einströmte. Sie stellte fest, dass wieder das ursprüngliche Innenvolumen eingenommen wurde und danach kein Gas mehr im Inneren zu erkennen war und schloss daraus, dass keine Luft eingeströmt sei. Dennoch vermutete sie, dass sie es folglich zu Beginn nicht geschafft habe, alle Luft aus dem Kolben zu drücken und wiederholte den Versuch. Da bemerkte sie die Gasbläschen in der Flüssigkeit und bezeichnete diese als Luftbläschen. Auf die Intervention, woher sie wisse, dass das Luftbläschen seien, erwiderte sie: „Wahrscheinlich ist es etwas, das schon im Wasser war – vielleicht Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff [...] oder Luft, die durch das Auslassen aus dem Wasserhahn hineinkam. [...] Es ist ja kein destilliertes Wasser.“ Erst danach kam Testperson B1 die Vermutung, dass es sich hierbei um Wassergas handeln müsse, worauf hin sie den Zustand von sich aus betreffend Druck, Volumen und Temperatur erläuterte. Testperson B2 beschrieb das Innere des Spritzenkolbens nach der Expansion so: „Es befindet sich drin Wasser und ein Hohlraum, in dem sich Unterdruck gebildet hat, und die kleinen Bläschen, die ich vorher nicht rausbekommen habe von Sauerstoff, kommen jetzt langsam wieder in diesen Hohlraum hinauf.“ Auch Testperson B2 beschloss den Versuch zu wiederholen, um darauf zu achten, anfangs keine Luft einzuschließen und bemerkte dabei: „In dem Raum über dem Wasser, wo nix drin ist, bildet sich eine Kondensschicht. [...] Das sind Wassermoleküle, die da kondensieren.“ Auf die Frage, woher diese kämen, antwortete die Testperson: „Aus dem Wasser. Wahrscheinlich, wie ich den Kolben runtergezogen habe, sind die hängen geblieben.“ Sie wiederholte den Versuch neuerlich, um ihre Hypothese zu überprüfen und stellte fest, dass die Kondenströpfchen erst mit der Zeit auftauchten. Nun beantwortete sie die neuerlich gestellte Frage, woher diese kämen, mit „Hmm, also Wasserdampf kanns ja nicht sein, weil das Wasser nicht kocht.“ Es wurde interveniert und empfohlen, sich Seite 4 mit dem Phasendiagramm anzusehen. Dieses wurde von Testperson B2 ausführlich analysiert und die Hypothese aufgestellt, dass vielleicht nur noch der Druck im Inneren gemessen werden müsse, denn dann könne sie mittels Siedekurve beweisen, dass sich im Zylinder zwei Phasen von Wasser gleichzeitig befänden. Nach kurzer Überlegung drehte sie die Argumentation jedoch um und konnte die Aufgabe so lösen. Eine Erweiterung mit einleitenden Fragestellungen oder Experimenten wäre hier anzudenken, um die Zusammenhänge zwischen den Aggregatzuständen und Zustandsgrößen gegebenenfalls besser herausarbeiten zu können.

Aufgabenstellung 3:

Testperson B1 sagte gleich zu Beginn, als sie das Phasendiagramm sah, noch nie mit einem solchen gearbeitet zu haben. Im Gegensatz zu Testperson B2, welcher dieses bereits bei Aufgabenstellung 2 hilfreich

war, musste sich Testperson B1 auf diesem also erstmal orientieren. Dabei zeigte sie gewisse Schwierigkeiten damit, die Siedekurve zu identifizieren, schloss jedoch dann selbst, dass entlang dieser Wasser im Spritzenkolben in gasförmiger und flüssiger Phase zugleich vorliegt. Nachdem sie den Innendruck der Spritze erfolgreich ausgelesen hatte, fehlte ihr jedoch ein Ansatz zur weiteren Vorgehensweise, woraufhin sie die Formelsammlung durchsuchte. Obwohl sie angab, die allgemeine Gasgleichung davor noch nie gesehen zu haben, erkannte sie diese selbst als sinnvoll für die gegenständliche Aufgabenstellung, konnte sich ihre Aussage selbst zusammenreimen und diese schließlich auch erfolgreich nutzen. In einem berechtigten Einwand brachte sie im Zuge der Handhabung der allgemeinen Gasgleichung ein, dass sie nicht wisse, wie groß das Volumen der gasförmigen Phase im Kolben genau sei, da durch die Expansion schließlich Wassermoleküle aus der flüssigen in die gasförmige Phase gewechselt haben. Hierauf könnte in der Überarbeitung Rücksicht genommen werden.

Testperson B2 konnte zunächst den Begriff „eruiieren“ in der Angabe nicht genau zuordnen, welcher daher eventuell ersetzt werden sollte. Außerdem trat eine kurze Phase der Verwirrung ein, da sich die Testperson nicht erklären konnte, weshalb die Wassermasse im Spritzenkolben durch die Expansion abnehmen sollte. Es stellte sich heraus, dass sie überlas, dass hier nur das Wasser in flüssiger Phase angesprochen wurde. Darüber hinaus überlegten beide Testpersonen an dieser Stelle neuerlich laut, ob sich die Dichte des flüssigen Wassers durch die Druckminderung nennenswert ändern würde, machten jeweils eigene kurze Versuche dazu und überzeugten sich so selbst vom Gegenteil. Dies zeigt jedoch, dass es wichtig ist, in einem kleinen Vorversuch nochmals auf die Inkompressibilität von Flüssigkeiten und die Kompressibilität von Gasen aufmerksam zu machen. Auch Schülerinnen und Schülern, welche dies klar ist, könnten sich dies so nochmals in Erinnerung rufen. Testperson B2 zeigte außerdem gegen Ende der Berechnungen zu Aufgabenstellung 3 immer häufiger auftretende Flüchtigkeitsfehler bei einfachen Handlungen. Ihre Konzentration schien nachzulassen und sie wirkte zunehmend müde und erschöpft. Daher wurde beschlossen eine Pause einzulegen und im Anschluss nur noch die Lösungswege zu besprechen, explizite Berechnungen jedoch auszulassen.

Aufgabenstellung 4:

Die Kraft von innen nach außen aufgrund des Gasdrucks des Wassers im Spritzeninneren wurde von Testperson B1 schnell und korrekt berechnet. Die Zwischenfrage, welche Kraft das nun genau sei, wurde zunächst ebenfalls korrekt beantwortet. Nachdem die Testperson kurz innehielt, änderte sie ihre Meinung jedoch und schlug vor, es sei: „[...] die Kraft, die man gegen den Unterdruck aufbringen muss.“ Sie erklärte zwar weiter richtig, wie unterschiedliche Drücke einander ausgleichen und ging dabei auch auf die Entropie, sowie Kräftegleichgewichte ein, jedoch dürfte der Atmosphäre kein aerostatischer Druck zugesprochen worden sein, wodurch sie ihre erste Äußerung zurückzog und auf den Unterdruck schwenkte. Nach einer Intervention in Form einer Zwischenfrage und eines kurzen Gesprächs, wodurch aerostatischer Druck eigentlich entsteht, konnte die Testperson die Aufgabenstellung korrekt beantworten und ihre Berechnungen

zu Ende führen. Auch bei Testperson B2 zeigte sich ein ähnliches Bild. Obwohl ihr der äußere Luftdruck zwar bewusst war und sie diesem auch eine Kraft auf den Spritzenkolben zusprach, konnte aus ihren Aussagen eine Vorstellung der Saugwirkung des Unterdrucks im Inneren der Spritze herausgehört werden. Insbesondere erklärte sie, dass der Druck im Inneren des Spritzenzylinders mit der Volumenexpansion sukzessive abnehmen würde. Um letzterer Idee entgegenzuwirken, könnte in der überarbeiteten Version zum Beispiel als optionale Hilfestellung ein kurzer Versuch dazu angeboten werden, der dies widerlegt. Darüber hinaus scheint die Ergänzung einer optionalen Hilfestellung zur Klärung der Hintergründe des aerostatischen Drucks sinnvoll.

Aufgabenstellung 5:

Aufgabenstellung 5 führte zu keinen Problemen während der Erprobung und konnte von beiden Testpersonen rasch und korrekt durchgeführt werden. Ihre Vorgehensweise konnten sie dabei umfassend begründen und kamen auf Ergebnisse, welche weniger als 5% von jenem im Lösungsvorschlag abwichen.

Aufgabenstellung 6:

Aufgabenstellung 6 wurde mit Testperson B2 aus oben genannten Gründen nur besprochen, aber nicht mehr berechnet. Testperson B1 konnte die Aufgabenstellung jedoch problemlos und rasch lösen und zeigte sich sichtlich überrascht, dass der hydrostatische Druck viel kleiner als der Gasdruck im Inneren des Spritzenzylinders war. Dabei fiel jedoch auf, dass in der Angabe vom aerostatischen Druck anstatt des Gasdrucks die Rede ist. Dies sollte ausgebessert werden.

Aufgabenstellung 7:

Während Testperson B2 hier wiederum nur den Lösungsweg darstellte, dabei jedoch souverän vorging und auch die Formel für den aerostatischen Druck eingehend und korrekt interpretierte, führte Testperson B1 auch die Berechnung durch. Dabei kam es zu einer kurzen Phase der Verwirrung, da in der offiziellen österreichischen Physikolympiade-Formelsammlung bei der Formel für den aerostatischen Druck durch die verwendeten Symbole zwar einerseits zwischen dem Druck auf Nullniveau p_0 und dem Druck p auf dem betrachteten Niveau, welches auf Höhe h über dem Nullniveau liegt, unterschieden wird, die Dichte, welche ebenfalls jene auf Nullniveau bezeichnet, jedoch mit ρ statt mit ρ_0 angegeben ist. Abseits dessen konnte die Aufgabenstellung jedoch erfolgreich gelöst werden. Im Anschluss daran wurde beiden Testpersonen noch die Frage gestellt, welche Auswirkungen diese veränderte Siedetemperatur auf das Kochen auf einem der beiden Berge habe. Ihre Antworten umfassten eine verlängerte Kochzeit, Vorteile durch den Erhalt von Vitaminen, Gefahren durch das Überleben von Keimen und Bakterien, sowie den Bedarf von Druckkochtöpfen.

Aufgabenstellung 8:

Aufgabenstellung 8 konnte gut gelöst werden, lediglich kam es bei Testperson B1 zu einem kleinen Umformungsfehler beim Versuch den Volumenstrom aus dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz explizit auszudrücken. Vor allem Testperson B2 äußerte sich sehr überrascht und interessiert hinsichtlich der unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten der Wassermoleküle durch die Kanüle.

Aufgabenstellung 9:

Wie bei der Erprobung schnell auffiel wurde in der Angabe zu Aufgabenstellung 9 fälschlicherweise auf diese selbst, anstatt auf Aufgabenstellung 8 verwiesen, was im Zuge der Überarbeitung korrigiert werden sollte. Die Ergebnisse der beiden Testpersonen waren unterschiedlich. Testperson B1 erreichte einen zu niedrigen Wert, was jedoch daran lag, wie sie selbst feststellte und zurückschloss, dass sie zu Beginn etwas Luft im Spritzenkolben eingeschlossen hatte. Dadurch ergab sich logischerweise eine deutlich geringere Druckdifferenz zwischen den beiden Enden der Kanüle. Testperson B2 erhielt ein etwas größeres Ergebnis, als dies im Lösungsvorschlag angegeben wurde, wobei sie hier nur eine sehr grobe Messung vornahm und die Messungenauigkeit daher diese Abweichung erklärt.

Aufgabenstellung 10:

Aufgabenstellung 10 zeigte sich nochmals als tückenreich. So ging Testperson B1 hier zunächst von einer konstanten Druckdifferenz aus, woraufhin sie sich vor dem Problem fand, eine sinnvolle Möglichkeit zu finden, den hydrostatischen Druck in die Funktion einzubauen. Sie versuchte diesen dann zunächst additiv zum Volumenstrom aus dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz hinzuzufügen, worauf hin sie selbst erkannte, dass sich das mit den Einheiten nicht ausging. Mittels Intervention wurde sie schließlich darauf aufmerksam gemacht, dass die Druckdifferenz hier nun variabel ist. Hierauf könnte also möglicherweise in einer optionalen Hilfestellung hingewiesen werden. Letztlich stellte sich auch die Eingabe der Funktionen in GeoGebra als nicht trivial heraus. Zum einen ist GeoGebra standardmäßig so eingestellt, dass Werte auf zwei Nachkommastellen genau angezeigt werden. Da bei der Eingabe jedoch einige sehr kleine Zahlen einzutragen sind, schreibt GeoGebra diese nach Bestätigung der Eingabe nur noch als 0,00 an, was dazu verleiten kann, die Eingabe zu überprüfen und nochmals in das Eingabefeld zu klicken. Die Anzeige der Werte ändert sich dadurch jedoch nicht und bestätigt man die Funktion erneut mit Enter werden die zuvor korrekt gespeicherten Werte durch 0 überschrieben. Um dies zu vermeiden, kann entweder die Zahl der angezeigten Nachkommastellen erhöht werden oder man lässt die Funktion nach der Eingabebestätigung unangetastet. Zum anderen sind die beiden Achsen in GeoGebra standardmäßig symmetrisch skaliert. Wie beispielsweise dem Lösungsvorschlag (vgl. Kap. 3.2.11) entnommen werden kann, liegen Werte und Funktionswerte bei diesen Funktionen und bei sinnvoller Darstellung jedoch um mehrere Zehnerpotenzen auseinander. Daher scheinen die eingegebenen Funktionen zunächst wie Nullfunktionen beziehungsweise deren Umkehrfunktion auszusehen. Erst eine richtige Skalierung der einzelnen Achsen offenbart die interessanten

Zusammenhänge, einfaches Scrollen hingegen führt dabei lediglich zu einem symmetrischen Zoom beider Achsen. Auch hier könnte eine optionale Hilfestellung nützlich sein. Letztlich wurden die Funktionsgraphen zwar recht umfassend interpretiert, manch spannende Erkenntnis jedoch übersehen. Daher könnte in einer weiteren optionalen Hilfestellung eventuell auf konkrete zu interpretierende Aspekte hingewiesen werden.

5.2.2 Kompetenzentwicklung

Wie Kapitel 4.2 zu entnehmen ist, konnte das Nachinterview mit Testperson B2 aus terminlichen Gründen erst um ca. 18:00 Uhr geführt werden. Dabei zeigte sie sich bereits einigermaßen müde und erschöpft. Dieser Umstand ist im Folgenden also im Vergleich zum Vorinterview, welches vormittags durchgeführt wurde, zu bedenken.

Medizinische Anwendung:

Bei den Fragen nach zu beachtenden Aspekten bei der Verabreichung von Injektionen oder Infusionen konnten beide Testpersonen verschiedene interessante und wichtige Gesichtspunkte nennen. Physikalische Bezüge fehlten dabei in den Vorinterviews jedoch bis auf die Aussage von Testperson B2, dass bei einer Infusion der Beutel auf einem höheren Niveau hängen müsse als der Arm und Testperson B1 führte an, dass man nach einer Injektion den Arm nicht zu lange nach oben strecken solle, beides jedoch ohne weitere Begründung. In den Nachinterviews gingen die Testpersonen hingegen auch vermehrt auf physikalische Grundlagen ein. Testperson B1 bezog sich an mehreren Stellen auf den Druck, etwa den zu beachtenden Blutdruck, einen passenden beziehungsweise kompensierenden Gegendruck in der Spritze, sowie die Variation des Drucks zur Dosierung. Ebenso wurde auf die Verabreichungsgeschwindigkeit eingegangen (vgl. Zeilen 25-28, Kap. 10.6.3; Zeilen 63-70, Kap. 10.7.3). Testperson B2 merkte im Nachinterview an, dass es „leichter ist jetzt die Spritze ohne Kanüle aufzuziehen und dann danach die Kanüle aufzusetzen“ (Zeile 50, Kap. 10.7.3). Auch den Zusammenhang zwischen Höhendifferenz und Flüssigkeitssäule mit dem Druck versuchte sie angewandt auf die Verabreichung von Infusionen zu beschreiben, kam hier jedoch mit den physikalischen Konzepten durcheinander (vgl. Zeilen 25-30, Kap. 10.6.4; Zeilen 50-68, Kap. 10.7.4).

Kräfte:

Testperson B1 fiel es im Vorinterview sehr schwer, den Begriff der Kraft zu deuten oder zu erklären. Einerseits ging sie auf die vier Grundkräfte ein und gestand allen möglichen Ladungsträgern, wie etwa masselastigen Körpern die Möglichkeit zu, auf andere Körper Kräfte auszuüben. Ebenso waren Ansätze zur Idee von Wirkungen von Kräften erkennbar, etwa als sie davon sprach, dass beispielsweise eine Kraft „versucht[,] die potentielle Energie gleich Null zu“ setzen. Andererseits lassen sich auch Vermengungen mit dem Begriff der Entropie erahnen: „Eine Kraft möchte [...], [...] dass die Kräfte gleichverteilt sind“ (Zeile 30, Kap. 10.6.3), „Also, um Energie umzuwandeln, [...] entsteht Energie, die man nicht mehr wirklich gut

nutzen kann“ (Zeile 34, Kap. 10.6.3) und Druck wurde als eine Kraft missverstanden. Auch der Begriff Kräftegleichgewicht scheint eher als Zustand hoher Entropie missverstanden worden zu sein: „Dass die Kraft so verteilt ist, dass sie nicht besser verteilt werden kann [...], dass keine Energie mehr umgespeist werden kann“ (ebd.). Im Nachinterview hingegen zeigte sich hier wesentlich mehr Klarheit hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Kraft und Druck. Auch der Begriff Kräftegleichgewicht, „[d]ass eine Kraft und ihre Gegenkraft gleich stark sind“ (Zeile 72, Kap. 10.7.3), wurde bereits deutlich sinnvoller beschrieben. Wenn gleich eine Verwechslung mit dem 3. Newton'schen Axiom nicht ausgeschlossen werden kann, wurden Kräftegleichgewichte bei der Bearbeitung zumindest adäquat beschrieben und genutzt (vgl. Kap. 5.2.1). Wesentlich klarer beschrieb Testperson B2 diese Begriffe: „[...] eine Kraft hat eine Auswirkung auf einen Körper mit einer gewissen Richtung“ (Zeile 74, Kap. 10.7.4) beziehungsweise: „[...] wenn zwei Kräfte, die jetzt genau die gleiche Vektorlänge haben, aber in unterschiedliche Richtungen gehen und auf ein Objekt eine Kraft ausüben.“ Dabei sind keine nennenswerten Unterschiede zwischen Vor- und Nachinterview festzustellen.

Bewegung und Kraft:

Obwohl Testperson B1 einerseits nachvollziehbar schilderte, wie Reibung das Tempo eines Körpers reduzieren beziehungsweise die Bewegungsrichtung des Körpers ändern kann, bestand sowohl im Vor- als auch im Nachinterview die Vorstellung, dass die Summe aller Kräfte auf einen Körper größer Null sein muss, damit sich dieser weiterbewegen kann. In Bezug auf den vorherigen Absatz, verwendete Testperson B1 hier aber hingegen den Begriff Entropie korrekt (vgl. Zeilen 37-42, Kap. 10.6.3; Zeilen 77-82, Kap. 10.7.3). Testperson B2 konnte hier offenbar von der Bearbeitung der Aufgabenstellungen, in denen es um Kräftegleichgewichte ging, profitieren. Während sie im Vorinterview noch beschrieb, dass eine auf einen Körper wirkende Kraft größer als die Reibungskraft sein müsse, damit sich dieser weiter mit konstanter Geschwindigkeit bewegen könne, erklärte sie im Nachinterview, dass die Reibungskraft lediglich kompensiert werden müsse, um die Geschwindigkeit des Körpers konstant zu erhalten (vgl. Zeilen 43-58, Kap. 10.6.4; Zeilen 97-100, Kap. 10.7.4).

Zustandsformen:

Deutliche Fortschritte erzielte Testperson B1 hinsichtlich Phasendiagrammen. Im Vorinterview gab sie noch an, dieses Wort gerade erstmals zu hören und verband es mit Phasenverschiebungen bei elektromagnetischen Wellen (Zeilen 48-50, Kap. 10.6.3). Im Nachinterview hingegen konnte sie dieses, sowie darin enthaltene Informationen korrekt beschreiben, ebenso wie die Bedeutung der Siedekurve sowie die Vorgehensweise bei der Datengewinnung (Zeilen 89-92, Kap. 10.7.3). Bei Testperson B2 war spannend, wie sie das Gewicht von einem Kilogramm Wasserdampf im Verhältnis zu einem Kilogramm flüssigen Wassers beschrieb. Im Vorinterview meinte sie, dass aufgrund des Energiesatzes beim Verdampfen keine Masse verloren gehen könne und diese daher gleich bliebe. Im Nachinterview schloss sie aus der Teilchenerhaltung auf die Konstanz der Masse. In beiden Fällen beendete sie ihre Überlegungen jedoch mit dem der

Aussage: „Aber auf jeden Fall ist gasförmiges Wasser nicht so schwer wie flüssiges Wasser.“. Bei der Beschreibung von Phasendiagrammen konnte jedoch auch Testperson B2 einiges mitnehmen. Im Vorinterview beschrieb sie dieses noch als Tafel, aus der man ablesen könne, welche Phasen es bei einem Stoff gibt und wie man die Phasenübergänge nennt. Im Nachinterview hingegen konnte sie einem Phasendiagramm weit mehr und vor allem auch quantitative Informationen zuschreiben sowie Nutzungsmöglichkeiten beschreiben (vgl. Zeilen 73-76, Kap. 10.6.4; Zeilen 115-118, Kap. 10.7.4).

Teilchenmodell:

Auch hier sind Fortschritte bei Testperson B1 bemerkbar. Im Vorinterview beschrieb sie das Teilchenmodell als Vorstellung, dass sich die Teilchen eines Stoffes entsprechend den Freiheiten ihres Aggregatzustandes bewegen. Im Nachinterview ging sie hingegen auf Annahmen dieser Modellvorstellung ein und beschrieb weitere Verhältnisse unter diesen Annahmen. Der Gasbegriff bereitete Testperson B1 keine Schwierigkeiten (vgl. Zeilen 51-56, Kap. 10.6.3; Zeilen 93-100, Kap. 10.7.3). Auch Testperson B2 konnte mit dem Teilchenmodell der Thermodynamik im Vorinterview noch nichts anfangen und versuchte sich in der Beantwortung von Seiten der Quantenphysik und dem Bohr'schen Atommodell anzunähern. Im Nachinterview ging auch sie auf spezielle Eigenschaften des thermodynamischen Teilchenmodells ein. Lediglich die Frage nach den Zwischenräumen zwischen Teilchen eines Gases nach dem Teilchenmodell der Thermodynamik bereitete Testperson B2 Schwierigkeiten. Einerseits bezog sie im Nachinterview zwar die Kompressibilität von Gasen im Gegensatz zur Inkompressibilität von Flüssigkeiten mit ein, andererseits jedoch sah sie zwischen den Teilchen eines Gases den Stoff, der dort eben sonst wäre, wie etwa Sauerstoff (Vorinterview) oder Luft (Nachinterview) und dies selbst im Inneren des abgedichteten Spritzenkolbens (vgl. Zeilen 77-88, Kap. 10.6.4; Zeilen 119-132, Kap. 10.7.4).

Druck:

Stark ausgeprägt zeigte sich bei Testperson B1 im Vorinterview die Vorstellung vom Unterdruck als etwas Manifestes mit aktiver Wirkung. So beschrieb sie den „[...] Unterdruck, der quasi auf die Flasche wirkt“ (Zeile 64, Kap. 10.6.3) und meinte später: „Vakuum hat, glaube ich, auch immer eine Art Unterdruck“ (Zeile 70, ebd.). Im Nachinterview hingegen merkte Testperson B1 an: „[...] es gibt eigentlich keinen wirklichen Unterdruck. Es gibt nur einen Druck, der an einer Stelle stärker ist [...]“ (Zeile 106, Kap. 10.7.3). Auch hinsichtlich der Definition von Druck und der Abgrenzung von Kraft konnte die Testperson ihre Vorstellungen weiterentwickeln. Im Vorinterview argumentierte sie: „[...] eine Schallwelle [...] ist quasi ja auch eine Druckwelle. Und [...] die kann etwas verändern“ und schloss daraus, dass Druck eine Art Kraft sei (Zeile 66, Kap. 10.6.3). Im Nachinterview hingegen beschrieb sie Druck als Kraft pro Fläche und konnte diesen Zusammenhang auch deuten (vgl. Zeilen 105-108, Kap. 10.7.3). Schwierigkeiten zeigten sich hingegen bei der Wirkungsrichtung von Druck, welche im Nachinterview nur noch als senkrecht nach unten angenommen wurde, während im Vorinterview zumindest noch Unsicherheit bestand. Umgekehrt konnte die Unsicherheit aus dem Vorinterview hinsichtlich der Abhängigkeit des hydrostatischen Drucks von der

Flüssigkeitssäulenfläche im Nachinterview zugunsten einer physikalisch korrekten Deutung ausgeräumt werden (vgl. Zeilen 68, 71-76, Kap. 10.6.3; Zeilen 110, 114, Kap. 10.7.3).

Auch Testperson B2 ging beim Vorinterview noch davon aus, dass Druck eine Form von Kraft sei, konnte im Nachinterview jedoch ebenfalls einen korrekten Zusammenhang der beiden Größen darlegen. Die Zuschreibung einer Richtung für den Druck konnte Testperson B2 jedoch leider nicht genommen werden. Wirkte der hydrostatische Druck ihrer Beschreibung nach beim Vorinterview noch nach unten, so richtete er sich laut Nachinterview nach oben. Abhängigkeiten des Drucks von der Höhe beziehungsweise Grundfläche eines Fluids konnten hingegen korrekt dargestellt werden (vgl. Zeilen 91-106, Kap. 10.6.4; Zeilen 133-148, Kap. 10.7.4). Während beide Testpersonen überdies zwar einen Zusammenhang zwischen Volumen und Druck herstellten, geschah dies hinsichtlich Drucks und Temperatur in diesem Fragenabschnitt nicht, wobei dies jedoch im Abschnitt Zustandsformen der Fall war.

Tauchen:

Testperson B2 konnte hier im Vorinterview bereits qualitativ festhalten, dass der hydrostatische Druck mit der Tiefe beim Tauchen zunimmt und damit Grenzen setzt, im Nachinterview konnte dies dann jedoch auch noch quantifiziert werden. Spannend war jedenfalls auch eine Lernendenvorstellung, die sich bei Testperson B2 im Vorinterview ergab. Hier beschrieb sie, dass es jemanden, wenn er zu tief tauchen und somit zu hohem Druck ausgesetzt wäre, ‚zerfetzen‘ würde. Auf die Frage, was damit genau gemeint sei und weshalb dies geschehen würde, antwortete die Testperson mit einem Vergleich zu einem Marshmallow in einer Druckkammer, bei welchem aufgrund des steigenden Drucks die Luft aus den Kammern des Marshmallows entweichen wolle, was sie dann auch täte und wodurch offenbar der Marshmallow in sich zusammenfiele (vgl. Zeilen 107-128, Kap. 10.6.4; Zeilen 149-152, Kap. 10.7.4). Bei Testperson B1 zeigten sich bei diesem Interviewteil keine nennenswerten Besonderheiten (vgl. Zeilen 81-88, Kap. 10.6.3; Zeilen 117-120, Kap. 10.7.3).

5.2.3 SchülerInneneinschätzung der Aufgabenstellungen

Insgesamt wurde das Aufgabenblatt von den beiden Testpersonen B1 und B2 als „sehr knifflig“ (Zeile 6, Kap. 10.7.4) beziehungsweise „ziemlich schwierig“ (Zeile 2, Kap. 10.7.3) empfunden, wobei insbesondere die beiden Aufgabenstellungen 2 und 3 als besonders anspruchsvoll wahrgenommen wurden. Wie sich aus dem Vorinterview mit Testperson B2 bereits erwarten ließ (vgl. Kap. 4.2), fielen ihr vor allem die aufwändigeren Berechnungen schwer (vgl. Zeile 6, Kap. 10.7.4), während sie die übrigen Inhalte jedoch als „erfrischend und angenehm“ (Zeile 18, Kap. 10.7.4) beschrieb. Um allgemein, aber auch insbesondere bei Aufgabenstellung 3 etwas zu unterstützen, empfahl sie, wichtige Wörter der Angaben zu unterstreichen, was vor allem bei den längeren Aufgabenstellungen sinnvoll erscheint (vgl. Zeilen 12-14, Kap. 10.7.4). Testperson B1 hingegen wünschte sich einen etwas sanfteren Einstieg, da bei den Aufgabenstellungen 2

und 3 sehr viel zusammenkommen würde. Eine Möglichkeit dazu wäre es, Aufgabenstellung 7, welche von beiden Testpersonen als alltagsnah und besonders spannend (vgl. Zeilen 4 u. 28, Kap. 10.7.3; Zeile 34, Kap. 10.7.4) beschrieben wurde, vor Aufgabenstellung 2 zu ziehen. Damit könnten sich Schülerinnen und Schüler eingangs auf möglicherweise vertrautere Weise mit dem Phasendiagramm auseinandersetzen und sich ihr Vorwissen dazu in Erinnerung rufen, bevor sie auf dieses bei den Aufgabenstellungen 2 und 3 zurückgreifen. Als Nebeneffekt könnte sich das in Aufgabenstellung 1 bereitgestellte Wasser in der Zwischenzeit akklimatisieren, was zu konstanteren Versuchsbedingungen im späteren Verlauf führen kann, sofern die Wassertemperatur erst unmittelbar vor Aufgabenstellung 2 gemessen wird. Auf der anderen Seite kann Aufgabenstellung 7 gerade auch nach den vorangegangenen, rechenintensiveren und komplexeren Aufgabenstellungen an ihrer ursprünglichen Stelle motivierend wirken und auch Testperson B1 sah eine Umstrukturierung nicht unbedingt als nötig an, wenn jedoch auf andere Weise vorbereitend und sanfter in die Aufgabenstellung 2 eingeführt würde (vgl. Zeile 4, Kap. 10.7.3).

Als besonders hilfreich hielten beide Testpersonen während der Erprobung erhaltene Unterstützungen zur Physikolympiade-Formelsammlung fest. Testperson B1 hatte hier vor allem damit Probleme, bei der Formel zum aerostatischen Druck $p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot h}{p_0}}$ das ρ als Luftdichte auf Meeresniveau zu interpretieren und hätte angesichts der Unterscheidung zwischen p und p_0 in dieser Formel eine Variable ρ_0 dafür erwartet (vgl. Zeilen 8-14, Kap. 10.7.3). Dies könnte unter Umständen als Anlass genommen werden, die Formelsammlung zu überarbeiten, ρ tatsächlich auf ρ_0 umzuschreiben, oder etwa auch die Formeln zur Heisenberg'schen Unschärferelation auf Seite 5 der Formelsammlung zu korrigieren. Derzeit sind diese noch mit $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$ und $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ angegeben, wobei auch $\hbar > \Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{\hbar}{2}$ und ebenso für Energie- und Zeitunschärfe möglich wäre. Testperson B2 wiederum empfand es als hilfreich, die Formeln der Formelsammlung der Reihe nach laut vorlesen und interpretieren zu dürfen, während ihr bei der Erprobung zugehört wurde, mit dem Ziel eine passende Formel für die jeweilige Aufgabenstellung zu finden. Diese waren Testperson B2 ab und zu im Moment nicht geläufig (vgl. Zeilen 8-10, Kap. 10.7.4), was zu dem Vorschlag führen kann, in Physikolympiade-Vorbereitungskursen beispielsweise auch einmal eine Doppelstunde für die Analyse der Formelsammlung aufzuwenden und Ideen und Einsatzmöglichkeiten der weniger bekannten Formeln knapp anzureißen.

Was den beiden Testpersonen am Aufgabenblatt besonders gut gefiel, waren die Arbeit mit Spritzen und Kanülen, sowie mit dem Phasendiagramm. Testperson B1 merkte dazu an, dass sie erstmals in dieser Form mit Phasendiagrammen arbeitete und dabei den Umgang mit diesen lernte (Zeile 4, Kap. 10.7.3). Sie meinte jedoch auch, dass sie allgemein die Variation an Arbeitsweisen sehr positiv aufnahm und es ihr gefiel, auf viele Dinge selbst draufkommen zu müssen, wodurch man durch die Bearbeitung des Aufgabenblattes auf vielen verschiedenen Ebenen etwas lernen könne (vgl. Zeile 46, Kap. 10.7.3). Auch das Prinzip, dass im Inneren des Spritzenkolbens bei Expansion dessen immer mehr Wasser in den gasförmigen Zustand überging, der Gasdruck im Inneren dadurch jedoch konstant blieb, habe sie fasziniert (vgl. Zeile 52, ebd.). Auch

Testperson B2 bezeichnete das Aufgabenblatt als insgesamt „sehr interessant“ (Zeile 34, Kap. 10.7.4). Dabei hob sie vor allem die Realitätsnähe des Aufgabenblattes als positiv hervor und meinte etwa „[...] jetzt weiß man, wie [...] Spritzen funktionieren [...] und [...] dass man nicht am Mount Everest kochen kann“ (Zeile 38, ebd.). Neben den experimentellen Tätigkeiten (Zeile 36, ebd.) sah sie unter den Highlights auch die Vergleiche zwischen dem Gasdruck im Inneren des Spritzenzylinders und dem atmosphärischen Druck, sowie die Informationen zu laminaren Strömungen im Zuge der Einleitung zum Vertiefungsteil (Zeile 34, ebd.). Testperson B1 nannte ebenfalls das Hagen-Poiseuillesche Gesetz, sowie dessen Nachvollziehbarkeit durch die Aufgabenstellungen 8 und 9 als besonders spannend (vgl. Zeile 28, Kap. 10.7.3), wies jedoch darauf hin, dass sie das Wort ‚plötzlich‘ in Aufgabenstellung 8 etwas verwirrte. Eine leichte Adaption des Aufgabentextes, sowie die Ergänzung einer Skizze, wie dies auch von Testperson B1 vorgeschlagen wurde, könnte hier hilfreich sein (vgl. Zeilen 18-26, Kap. 10.7.3). Testperson B2 verwies dahingehend auch auf die, für sie bis dahin unbekannten Bezeichnungen ‚laminare Strömung‘ und ‚Viskosität‘ und schlug vor, diese durch ergänzende Klammerausdrücke verständlicher zu machen (vgl. Zeilen 22-32, Kap. 10.7.4).

Explizite Änderungsvorschläge oder Wünsche hatte Testperson B2 kaum. Sie hätte eine weniger rechenintensive Version, welche dennoch all die spannenden Überlegungen, Ergebnisse und Anwendungen enthält, noch ansprechender empfunden, fände es aber auch bereits sehr entgegenkommend, wenn in optionalen Hilfestellungen vermehrt Hinweise auf jeweils relevante Formeln gegeben würden (vgl. Zeile 40, ebd.). Abseits dessen sei das Aufgabenblatt bereits gut durchdacht und enthielte etwa durch die zahlreichen Graphen, das Phasendiagramm und das selbst zu erstellende Diagramm bereits alles, was für sie dazugehört (Zeile 42, ebd.). Testperson B1 hingegen merkte gerade hinsichtlich der in Aufgabenstellung 10 in GeoGebra zu zeichnenden Funktionsgraphen an, dass sie dies als eher mühsam empfand, sowie als zeitraubend, sollte man sich wie sie bei der Eingabe in GeoGebra mehrfach vertippen. Da es bei den beiden Funktionsgraphen zu $h(t)$ und $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$ ohnedies nur um die Interpretation der Graphen ging und die Eingabe einer derartigen Funktion, sowie die Anpassung der Achsen auch bereits mit der selbstaufzustellenden Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ absolviert wurde, hielt sie es für besser, die Graphen jener beiden Funktionen gemeinsam mit deren symbolischer Darstellung direkt in die Angabe zu geben (vgl. Zeilen 28-30, 42-44, 54, Kap. 10.7.3). Zu diesem Vorschlag ließen sich Gegenargumente finden, etwa würde der Umgang mit GeoGebra und speziellen oft v.a. in der Physik interessanten Anwendungen darin weniger geübt werden und es könnten keine genauen Funktionswerte mehr rasch berechnet oder überprüft werden. Als optionale Hilfestellung scheint der Vorschlag jedoch eine gute Idee zu sein. Testperson B1 gab auch selbst an, dass die Einrichtung optionaler Hilfestellungen hier und da gut unterstützen könnte, fände es oft jedoch sinnvoller, bei Fragen in direkte Konversation mit der betreuenden Lehrperson zu treten und würde daher die Zahl der optionalen Hilfestellungen nicht ausufern lassen (Zeilen 46-50, ebd.). Letztlich gab Testperson B1 noch an, dass sie auch die Frage nach der maximalen Tauchtiefe aus dem Vorinterview sehr spannend fand und diese in irgendeiner Weise expliziter in das Aufgabenblatt einbauen würde (vgl. Zeile 52, ebd.). Dies könne ihrem

Vorschlag nach entweder als expliziter Hinweis auf die Zunahme des hydrostatischen Drucks in Abhängigkeit von der Tauchtiefe am Ende von Aufgabenstellung 10 erfolgen, oder in Form einer zusätzlichen Aufgabenstellung zum hydrostatischen Druck, welchem ein Mensch oder U-Boot bei einer bestimmten Wassertiefe ausgesetzt wäre, umgesetzt werden (Zeilen 58-60, ebd.).

5.3 Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag

Aufgabenblatt C wurde ebenfalls von zwei Testpersonen C1 und C2 erprobt. Grundinformationen zu diesen, sowie eine grobe Einschätzung des Interessenstyps dieser Testpersonen wurden in Kapitel 4.2 zusammengefasst. Die Inhalte der Kapitel 5.3.2 und 5.3.3 basieren auf den mit den beiden Testpersonen geführten Vor- und Nachinterviews, deren Transkripte in den Kapiteln 10.6.5 und 10.6.6, sowie 10.7.5 und 10.7.6 im Anhang nachgelesen werden können. Einen kompakten Überblick über die dabei gestellten Fragen bieten die Interviewleitfäden (siehe Kap. 10.5.3). Da das Aufgabenblatt thematisch in der Mechanik verortet werden kann, stammen auch die zugrundeliegenden, in der Literatur zu findenden Lernendenvorstellungen (vgl. Kap. 10.1.3), an welchen sich die Fragestellungen der Interviews orientierten, aus diesem Themenbereich. In Kapitel 5.3.2 soll anhand dieser Fragestellungen wiederum versucht werden, etwaige Entwicklungen von Lernendenvorstellungen über den Zeitraum der Erprobung hinweg festzustellen.

5.3.1 Erste Befunde während der Erprobung

Aufgabenblock 1:

Bei Aufgabenstellung 1 ‚Schiffsbeladung‘ zeigten sich kaum größere Schwierigkeiten bei der Erprobung durch die Testpersonen C1 und C2. So wurde auch der Begriff ‚Prisma‘ unmittelbar richtig verstanden. Testperson C1 überlegte kurz laut, ob der grau markierte Rahmen in Abb. c.1 Teil des Schiffes sei, kam dann jedoch mit Überzeugung und ohne jedwede Intervention selbst zum korrekten Schluss. Während Testperson C2 die Aufgabe direkt über das Kräftegleichgewicht zwischen Auftriebskraft bei vollständig eingetauchtem Schiff und der auf dieses wirkenden Gravitationskraft löste, missinterpretierte Testperson C1 beim selben Lösungsansatz, die Dichte in der aus der Formelsammlung herausgesuchten Formel für den statischen Auftrieb als Dichte des Schiffes, anstatt des Fluids. Auf die Interventionsfrage: „Unter welchen Bedingungen bleibt das Boot auf einer gewissen Höhe, ohne zu steigen oder zu sinken?“ antwortete Testperson C1: „Wenn die Dichte des Bootes gleich der Dichte des Wassers ist“, woraufhin die Testperson selbst umgehend beschloss, die Berechnung über jene Dichtegleichung fortzuführen. Dies zeugte von gewissen Freiheiten betreffend des Lösungswegs. Es bietet sich bei dieser Aufgabenstellung jedoch an, eine optionale Hilfestellung zu ergänzen, in welcher Schülerinnen und Schüler mit ebendieser Frage, wann ein Körper in Wasser steigt, schwebt oder sinkt, konfrontiert werden.

Aufgabenblock 2:

Aufgabenblock 2 nahm bei beiden Testpersonen mit durchschnittlich 90 Minuten die längste Bearbeitungsdauer in Anspruch. Bei Aufgabenstellung 2a gab es bei beiden Testpersonen Unklarheiten darüber, in welcher Form die Ergebnisse anzugeben seien. Testperson C1 gab zunächst an, um welchen Faktor sich die Kräfte jeweils voneinander unterschieden, anstatt zu berechnen, um wieviel Prozent sie sich durch die Erhöhung der Rampe veränderten. Für Testperson C2 wiederum war nicht klar, was der Grundwert bei dieser Prozentrechnung sein soll. Darauf sollte in der Überarbeitung der Aufgabenblätter entsprechend Rücksicht genommen werden. Außerdem äußerten beide Testpersonen unmittelbar nachdem sie die Angabe zu 2a gelesen hatten die Frage, was genau unter der Hangabtriebskraft verstanden würde. In beiden Fällen wurde während der Erprobung daher bereits an dieser Stelle auf die optionale Hilfestellung in Kuvert c2b1 verwiesen, womit sich die Frage beider Testpersonen klären ließ. Dass der Reibungskoeffizient beim gefragten Verhältnis ohnedies keine Rolle spielt, war hingegen klar, was die Sinnhaftigkeit der optionalen Hilfestellung c2a weiter in Frage stellt. Hinsichtlich Offenheit bei der Wahl des Lösungswegs kann festgehalten werden, dass bereits von den lediglich zwei Testpersonen völlig unterschiedliche Strategien gewählt wurden. Während Testperson C2 auf die Winkelfunktionen Sinus, Cosinus und Tangens auf ähnliche Weise wie im Lösungsvorschlag zurückgriff, wählte Testperson C1 einen rechnerischen Ansatz über den pythagoräischen Lehrsatz zur Berechnung der Rampenlänge und fuhr zur Berechnung von Normal- und Parallelkraft mit dem Strahlensatz fort. Da Strahlensatz und Satz des Pythagoras im Mathematikunterricht üblicherweise vor den Winkelfunktionen unterrichtet werden, stellt dieser Ansatz insbesondere für jüngere Teilnehmerinnen und Teilnehmer von Physikolympiade-Vorbereitungskursen einen gangbaren Weg dar.

Zu Aufgabenstellung 2b äußerte Testperson C1 gleich zu Beginn die Vermutung: „Ich kann mir schwer vorstellen, dass die größte Zugkraft nicht bei unendlicher Gerüsthöhe ist, weil die Reibung einen nicht so großen Teil der Kraft ausmacht, aber ich weiß es nicht.“ Dies bestätigt, dass das Resultat der Aufgabe durchaus spannend, sowie überraschend für Schülerinnen und Schüler sein kann. Außerdem sollte daher möglicherweise der Klammerausdruck im Text der optionalen Hilfestellung c2b3, im für den Pyramidenbau relevanten Höhenintervall‘ weggelassen werden, da dieses ohnedies grundsätzlich nicht eindeutig bestimmt ist und der Idee einer Lösung mit unendlich hohem Gerüst Freiraum gegeben werden soll. Testperson C1 fehlte dann jedoch vorerst eine Idee zur Lösung der Aufgabe, weshalb sie sich zunächst Aufgabenstellung 2c widmete und danach auf 2b zurückkam. Dabei erinnerte sie sich, ebenso wie Testperson C2 an dieser Stelle, an die bereits zuvor eingesehene optionale Hilfestellung c2b1. Beide Testpersonen erkannten darin nun direkt eine Extremwertaufgabe und begannen damit, ihre in Aufgabe 2a gefundenen Funktionen umzuformen. Da beide Testpersonen eine Weile damit beschäftigt waren und sich sichtlich damit plagten, wurde ihnen die optionale Hilfestellung c2b2 – Testperson C1 zusätzlich die Hilfestellung c2b3 – empfohlen, welche den Hinweis enthält, GeoGebra zur Lösung der Aufgabe zu nutzen. Mit dem Hinweis auf GeoGebra machte sich bei Testperson C2 sichtbar Erleichterung breit und auch Testperson C1 reagierte positiv: „Ok, mit GeoGebra lässt sich das dann schon eher lösen.“ Testperson C2 hatte an dieser Stelle noch

den begründeten Einwand, dass nicht klar sei, ob die Gerüsthöhe von Hafen- oder Pyramidenfußniveau aus zu messen ist. Hier bedarf es einer Präzession in der Aufgabenstellung. Nachdem die Aufgabe korrekt gelöst war, ergab sich mit Testperson C2 noch eine weiterführende Analyse und Interpretation der Funktionsgraphen hinsichtlich daraus zu gewinnender Erkenntnisse für den praktischen Bau von Pyramiden, sowie eine Grenzwert-Diskussion für die Funktion der Zugkraft. Ähnliche Fragestellungen könnten dabei in Aufgabenstellung 2b im Zuge der Überarbeitung ergänzt werden.

Hinsichtlich Aufgabenstellung 2c zeigte sich Testperson C1 zunächst verwirrt und wusste nicht, wie die Aufgabenstellung genau zu bearbeiten sei. Sie versuchte dann zunächst einen Irrtum bei den angegebenen Werten zu finden. Dabei wurde der Begriff ‚Gewicht‘ beim Vorlesen der Angabe sowie im selbst formulierten Lösungsansatz zunächst ausgelassen. Auf Anfrage, warum dieses Wort übersprungen wurde, meinte die Testperson, dass das Gewicht schließlich nicht in Tonnen angegeben werden könne. Dieser Fehler fiel also auf, auch wenn er nicht explizit von der Testperson angesprochen wurde. Es entwickelte sich in Folge ein Dialog, in welchem Ansätze der Testperson immer wieder durch Vergleiche mit der Formelsammlung oder Einwände des Interviewers auf Widersprüche geführt wurden und die Testperson weitere Überlegungen und Anpassungen ihrer Aussage vornahm. Die Aufgabenstellung bewährte sich dahingehend als gut geeignet, um potentiell vorhandene, physikalische Konzepte und Lernendenvorstellungen zu überprüfen und entwickeln, sofern klar ist, was bei der Aufgabenstellung genau zu tun ist und die Schülerinnen und Schüler ihre Ideen mit der Lehrperson besprechen, sodass ein Dialog dieser Art stattfinden kann. Testperson C2 stellte rasch einige Aspekte fest, welche an der Aussage von Abitz physikalisch sinnlos erscheinen, wie etwa, dass keine horizontale Kraft nötig ist, um einen Steinblock waagrecht noch etwas weiter zu tragen, oder dass die Begriffe Gewicht und Masse hier vermischt wurden. Worauf Abitz mit dem Satz hinauswollte, erschloss sich der Testperson jedoch nicht. An dieser Stelle wurde daher interveniert: „Welche Auswirkungen hätte es denn physikalisch beim Pyramidenbau, würde die Horizontale der Rampe um 1m verlängert werden?“ Mit dieser Fragestellung konnte Testperson C2 nun etwas anfangen, schloss von der größeren Distanz auf einen kleineren Steigungswinkel und hatte folglich die Idee die Funktionen in GeoGebra in Abhängigkeit von der horizontalen Distanz darzustellen. Dabei schloss die Testperson selbständig, dass die zu verrichtende Arbeit dadurch zunehmen muss, da die Änderung der potentiellen Energie gleich bleibt, während die Reibungskraft bei flacherem Winkel zunimmt und somit auch die Wärmeverluste. In Folge kam Testperson damit auf ähnliche Ergebnisse, wie sie im Lösungsvorschlag bereits präsentiert wurden. Insgesamt bedarf es hier aber in der Überarbeitung einer Konkretisierung der Aufgabenstellung.

Aufgabenblock 3:

Aufgabenblock 3 konnte von beiden Testpersonen ohne größere Probleme bewältigt werden. Testperson C1 suchte bei Aufgabenstellung 3a etwas länger nach Angaben zu Arbeiter- und Tragmassen. Durch eine Intervention wurde klar, dass auch diese begründet geschätzt werden sollen. Testperson C2 war dies hingegen von Anfang an klar. Etwas arbeiterunfreundlicher fielen hingegen bei beiden Testpersonen einzelne

konkrete Schätzungen aus. So gab Testperson C1 den Arbeitern lediglich 1 *min* pro Steinblock und rechnete ausgehend von 10 *h* Arbeitszeit pro Tag (Pausen wurden keine gewährt) mit täglich 600 (mit-)gehobenen Steinen pro Aufzugsarbeiter. Testperson C2 wiederum räumte einem Arbeitsschritt inklusive Be- und Entladung 20 *min* ein und merkte dabei sogar an, dass man die Arbeiter im Aufzug langsam nach unten gleiten lassen sollte, um sie nicht zu verletzen. Sie ließ die Arbeiter jedoch dafür 16 *h* pro Tag (ebenfalls ohne Pause) diese schwere Tätigkeit ausführen und merkte an, dass diese als Sklaven bestimmt keine Chance hätten, übergewichtig zu werden, weshalb sie ihnen eine relativ geringe Körpermasse zuschrieb. Bei beiden Testpersonen beruhten diese Schätzungen, wie sie nebenbei anmerkten, auf der Vorstellung, die Arbeiter wären Sklaven unter sehr schlechten Arbeitsbedingungen gewesen. Heutzutage geht man jedoch vielmehr davon aus, dass die Pyramidenarbeiter ihrer Tätigkeit freiwillig nachgingen und dafür auch gut entlohnt wurden (vgl. Morell, 2001). Hierauf könnte in der Überarbeitung der Aufgabenblätter Bedacht genommen werden. Bei der Berechnung der Hubarbeit überlegte Testperson C1 kurz, wie groß die benötigte Kraft sei, da sie entgegengerichtet und etwas größer als die Gravitationskraft sein müsse, jedoch nicht klar sei, wieviel größer. Auf die Intervention: „Wie würde sich der Arbeiter denn Richtung oben bewegen, wäre die nach oben gerichtete Kraft etwas größer als die Gravitationskraft?“, reagierte die Testperson umgehend damit, dass der Arbeiter dann nach oben beschleunigen würde und daher zur gleichmäßigen Bewegung eine zur Gravitationskraft gleichgroße Kraft nötig wäre. Auch Testperson C2 stellte die Überlegung an, ob die Gewichtskraft der Arbeiter samt Tragemassen gleich oder größer als die Gewichtskraft eines Steinblocks sein muss, damit sich der Aufzug zwar mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, zu Beginn jedoch erst einmal in Bewegung kommt. Letztlich fiel auf, dass sich die Aufgabenstellung auch gut dazu eignet, mit Schülerinnen und Schülern gegebenenfalls in ein Gespräch darüber zu kommen, wie genau Werte sinnvollerweise berücksichtigt werden sollten. Als Testperson C1 für die Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$ einsetzte, wurde in einer Intervention kurz nachgefragt, ob es wichtig wäre, diesen Wert so genau einzusetzen. Die Testperson schloss daraufhin, dass andere Werte bei dieser Rechnung bereits viel ungenauer geschätzt wurden und rundete den Wert für die Erdbeschleunigung auf 10 m/s^2 auf.

Aufgabenblock 4:

Testperson C1 gab an, vor einiger Zeit einmal ein Video zu einem ähnlichen Szenario gesehen zu haben.

Beide Testpersonen konnten Aufgabenstellung 4a binnen weniger Minuten lösen.

Auch Aufgabenstellung 4b wurde von Testperson C2 rasch im Kopf gelöst. Testperson C1 konnte die Fragen nach dem maximalen Überhang auch hier schnell beantworten, beim Versuch den gemeinsamen Schwerpunkt der drei Steinblöcke zu finden, teilte Testperson C1 die einzelnen Blöcke jedoch zunächst in einer Skizze in gleich große Abschnitte und versuchte jene Senkrechte zu finden, von der aus sich gleich viele Abschnitte jeweils links wie rechts davon befinden. Die Abstände der einzelnen Abschnitte von der gesuchten Senkrechten wurden dabei nicht berücksichtigt. Daher wurde an dieser Stelle mit der Frage interveniert: „Wenn auf einer Wippe am linken Arm zwei Kinder sitzen, wie viele Kinder müssen dann am

rechten Wippenarm sitzen, damit die Wippe im Gleichgewicht ist?“ Testperson C1 merkte sogleich an, dass es dabei auf die Abstände vom Drehpunkt ankäme und kam in Folge darauf, dass sie dies auch bei der gegenständlichen Aufgabenstellung noch berücksichtigen müsse. Danach konnte die Aufgabe sicher gelöst werden.

Während Testperson C1 mit Aufgabenstellung 4c wieder rasch vorankam, händisch ausreichend viele Folgenglieder berechnete und an dieser Stelle auch bereits eine explizite Darstellung für die Folge der Überhanglängen erkannte, vermutete Testperson C2, dass die zugehörige Reihe konvergent sei und tat sich zunächst schwer damit zu entscheiden, wie die Aufgabenstellung angegangen werden könnte. Da sie auch mit den Variablen und Bezeichnungen ein wenig durcheinander kam, wurden ihr die optionalen Hilfestellungen c4b und c4c übergeben. Unter deren Nutzung stellte sie die Folgen in rekursiver Darstellung problemlos auf, versucht danach jedoch weiterhin eine explizite Darstellung zu finden, um die Konvergenz der Reihe zu beweisen. Auf die Intervention „Was ist denn hier genau gefragt?“ hin las die Testperson die Aufgabenstellung erneut durch und stellte fest, dass sie diese falsch verstanden hätte und dachte, dass zu berechnen sei, ab wann der unterste Block direkt unter dem zweituntersten liegen müsste, was auch die Verwirrung hinsichtlich Konvergenz erklärte. Da sich Testperson C2 dann bei der Berechnung der einzelnen Folgenglieder ein paar Mal verrechnete, fragte sie, ob sie sich dafür ein Python-Programm schreiben dürfe. Die Programmierung an bereits dieser Stelle des Aufgabenblocks gestaltete sich jedoch etwas komplex, da die explizite Darstellung der Folge für die Überhänge noch nicht erkannt wurde und mit den rekursiven Darstellungen, also mit mehreren Variablen gearbeitet werden musste. Daher wurde neuerlich interveniert und vorgeschlagen, noch wenige weitere Folgenglieder händisch zu berechnen, um danach womöglich eine explizite Darstellung der Folge anhand der berechneten Folgenglieder erkennen zu können. So funktionierte es letztlich noch zügig.

Für Aufgabenstellung 4d wurde von beiden Testpersonen rasch eine explizite Darstellung der Folge erkannt. Unsicherheit bestand jedoch darin, ob diese im Rahmen dieser Aufgabenstellung auch bewiesen werden müsse. Testperson C2 zeigte sich außerdem sichtlich überrascht und erstaunt, als sie erkannte, dass es sich hierbei um eine harmonische Reihe handelt und diese divergent ist.

Bei Aufgabenstellung 4e fragten beide Testpersonen nach, ob sie zur Lösung dieser Aufgabe auch ein Python-Programm schreiben dürften. Dem wurde zugestimmt und beide lösten die Aufgabenstellung damit wiederum in wenigen Minuten.

Bei Aufgabenstellung 4f hingegen kam es für Testperson C2 nochmals zu einer Überraschung. Während Testperson C1 die Aufgabenstellung rasch und korrekt löste, fühlte sich Testperson C2 zunächst durch die Fragestellung bestätigt darin, was sie sich angeblich bereits zuvor einmal gedacht hätte: Dass das Ganze an den Pyramidenkanten nicht möglich wäre, da ihr Argument, dass der maximal mögliche Überhang erreicht wird, wenn der Schwerpunkt gerade noch über dem nächsten Stein liegt, zwar für einzelne Steinreihen, nicht aber für die Ecksteinreihen gelte. Um zu demonstrieren, was sie damit genau meinte, griff sie zwei

ca. quaderförmige Objekte aus ihrer Umgebung und legte diese übereinander, während sie ihr Argument beschrieb. Als sie während dieser Vorführung jedoch experimentell feststellte, dass es doch funktioniert, den oberen Quader mit nur einem Viertel seiner Grundfläche über dem darunterliegenden Quader zu halten, unterbrach sie ihre Demonstration plötzlich und war sichtlich erstaunt. Auf die Nachfrage hin, warum das möglich sei, verglich die Testperson die Situation mit dem Balancieren einer langen Stange und schloss korrekt, dass gegenüberliegende Drehmomente hier einander aufhoben.

5.3.2 Kompetenzentwicklung

Pyramidenbau allgemein:

Bei diesem jeweils im Vor- und Nachinterview inkludierten, einleitenden Fragenblock geht es weniger um die Überprüfung konkreter, physikalischer Kompetenzen oder gar bekannter Lernendenvorstellungen. Der Fokus hierbei liegt einerseits auf der Anwendbarkeit physikalischer Konzepte auf Situationen aus Alltag beziehungsweise Archäologie und Geschichte, sowie andererseits darauf, durch die Verknüpfungen zwischen diesen Fachgebieten Interesse und Motivation zur Auseinandersetzung mit physikalischen Aufgabenstellungen bei den Schülerinnen und Schülern zu verstärken und spezielle Interessentypen anzusprechen.

Wie sich aus Zeile 32 des Nachinterviews von Testperson C1 (Kap. 10.7.5) ablesen lässt, konnte ihre Sichtweise auf den Pyramidenbau durch die Bearbeitung der Aufgabenstellung deutlich erweitert werden. So stellte sie mehrfach fest, wie spannend es sei, nun mehr über unterschiedliche Bauformen, Methodiken und Arbeitsaufwand erfahren zu haben und auf Grundlage von physikalischen und mathematischen Überlegungen bessere Einschätzungen dazu treffen zu können. So zeigt sich etwa im Vergleich der Zeilen 26-32 (Vorinterview, Kap. 10.6.5) mit den Zeilen 34-38 (Nachinterview, Kap. 10.7.5), dass die bereits vor der Erprobung vorhandene Idee zur Verwendung von Seilzügen durch die Möglichkeiten des Schrägaufzugs erweitert wurde und die Testperson auch deren Unterschiede und technischen Vorzüge erkannte und abwägen konnte.

Auch Testperson C2 konnte neue Erkenntnisse diesbezüglich aus der Bearbeitung des Aufgabenblattes ziehen, etwa betreffend des Einsatzes von Schrägaufzügen und Rollen im Besonderen, oder über die Transportwege der unterschiedlichen, verwendeten Baumaterialien. Gleichmaßen betonte sie sowohl im Vor-, als auch im Nachinterview, dass grundlegende Prinzipien der Mechanik sowohl damals wie heute gelten und diese somit auch als Grundlage für ähnliche Techniken aus den beiden Epochen dienen. Die für sie überraschende Form des Funktionsgraphen der Zugkraft aus Aufgabenblock 3, blieb der Testperson ebenfalls in Erinnerung, wenngleich sie anmerkte, dass sie die daraus gewonnenen Erkenntnisse im eigenen Alltag vermutlich nicht berücksichtigen werde, etwa da sie da zumeist keinen spontanen Zugriff auf Geogebra haben würde. (vgl. Zeilen 23-28 Vorinterview und Zeilen 57-66 Nachinterview)

Kräfte:

Die hierzu gestellten Fragen zielten auf die Überprüfung von Vorstellungen zum Kraftbegriff ab und lehnten sich an von Schecker (2010) und Kosler (2016) beschriebene Lernendenvorstellungen an.

Während beide Testpersonen die meisten hier überprüften Grundvorstellungen zu Kräften sowohl vor, als auch nach der Erprobung in den Interviews physikalisch korrekt beschreiben konnten, Gewicht als eine Kraft beschrieben und auch leblosen Körpern die Möglichkeit zugestanden, Kräfte auf andere Körper ausüben zu können, wobei bei beiden Testpersonen auch das Wechselwirkungsprinzip in ihren Aussagen erkennbar wurde, gab es bei der physikalischen Definition des Kraftbegriffs bei Testperson C1 im Nachinterview kleine Probleme. Während sie im Vorinterview Kraft noch als Beeinflussung der Beschleunigung eines Körpers beschrieb, meinte sie im Nachinterview, unter dem Begriff Kraft etwas zu verstehen, „was übertragen wird. Also Kraft ist eine Art der Energieübertragung, oder in Kräften wird Energie übertragen.“ (Zeile 44, Kap. 10.7.5). Möglicherweise kam diese Verwirrung auch aufgrund des Begriffswirrwarrs in Aufgabenstellung 2c zustande, was bei der Überarbeitung dieser Aufgabenstellung berücksichtigt werden sollte. Testperson C2 hielt hierbei hingegen an ihrer Definition der Kraft als Impulsänderung mit der Zeit fest (vgl. Zeile 70, Kap. 10.7.6).

Bewegung und Kraft:

Da insbesondere der Zusammenhang zwischen Kräften und der Bewegung von Körpern, sowie Kräftegleichgewichte, Auftrieb und Schwerkraft, Reibungskraft, Hangabtriebskraft und Zugkraft, etc. und auch die Aufteilung von Kräften in Kräfteparallelogrammen im Aufgabenblatt C an unterschiedlichen Stellen von Bedeutung sind, sollte mit dem in Kapitel 10.5.3 nachzulesenden Fragenblock zu Bewegung und Kraft auf diesen noch näher eingegangen werden.

Testperson C1 zeigte hierbei jedoch im Vergleich zwischen Vorinterview und Nachinterview keine allzu großen Unterschiede in der Beantwortung der Fragen. Kräfteparallelogramme und deren Einsatzmöglichkeiten wurden sinnvoll beschrieben, ebenso wie die Bedeutung eines Kräftegleichgewichts. Auffällig war jedoch, dass Testperson C1 im Vorinterview noch eine von Wiesner (2011) beschriebene Lernendenvorstellung zeigte, nämlich dass eine Kraft zur Zunahme der Geschwindigkeit des Körpers führen müsse, auf welchen die Kraft wirkt (vgl. Kap. 10.1.3). Im Nachinterview hingegen beschrieb die Testperson, dass „[...] die Kraft [...] zu einer Beschleunigung führen kann und diese Beschleunigung führt zur Änderung der Geschwindigkeit [...]“ (Zeile 48, Kap. 10.5.7) und konnte hierbei somit Fortschritte erzielen. Testperson C2 zeigte bei diesem Fragenblock noch weniger nennenswerte Unterschiede bei der Beantwortung. So konnte sie sowohl im Vor- als auch im Nachinterview beispielsweise unterschiedliche, aber jeweils passende Anwendungsbeispiele für Kräfteparallelogramme beschreiben und auch die übrigen Fragen physikalisch korrekt beantworten (vgl. Zeilen 35-42 Kap. 10.6.6 und Zeilen 75-82, Kap. 10.7.6).

Arbeit und Energie:

Die Unterscheide und Zusammenhänge zwischen den Begriffen Kraft, Arbeit und Energie stellten als drei zentrale Größen der Mechanik eine wiederkehrend wichtige Grundlage zur Bearbeitung der Aufgabenstellungen dar.

Fast widersprüchlich zur Aussage von Testperson C1 zu Kräften (siehe oben) scheint hier nun klarer zu werden, wie sie den Zusammenhang zwischen Kraft und Energie tatsächlich verstand. So meinte sie im Nachinterview: „Kraft ist sozusagen die Übertragungsform der Energie. Also eine Kraft führt dazu, dass ein Objekt beschleunigt wird [...] und diese Beschleunigung führt zu einer Änderung der kinetischen Energie [...] und so spielen eben Kräfte und Energie zusammen“ (Zeile 58, Kap. 10.7.5). Dies relativiert den zuvor vermuteten konzeptionellen Irrtum wiederum und legt nahe, dass der Testperson zuvor nur die passenden Wörter fehlten, sich so auszudrücken wie intendiert, wenngleich nach wie vor keine physikalisch korrekte Beziehung zwischen Kraft und Energie hergestellt werden konnte. Ebenso konnte die Testperson in beiden Interviews den Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie als Prozess- beziehungsweise Zustandsgröße korrekt darlegen, merkte im Nachinterview jedoch an, im Zuge der Bearbeitung des Aufgabenblattes dazugelernt zu haben, dass Arbeit sich aus Kraft und Weg bilden würde, was für die Fähigkeit der Aufgabenstellungen spricht, hierbei zur Kompetenzbildung beitragen zu können (vgl. Zeile 56, Kap. 10.7.5).

Testperson C2 äußerte sich in beiden Interviews zu allen in diesem Block enthaltenen Fragen (siehe Kap. 10.5.3) durchwegs physikalisch korrekt und konnte unterschiedliche Beispiele anführen. Während sie im Vorinterview den Unterschied zwischen Kraft und Energie auf Basis derer Formeln und Auswirkungen auf die damit berechneten Ergebnisse bei Änderung des Tempos bezog, wobei jedoch die Abgrenzung zwischen Kraft und Impuls leicht verschwamm, beschrieb sie im Nachinterview die Unterschiede zwischen Kraft und Energie darüber, dass Energie im Gegensatz zu Kraft etwas sei, das ein Körper haben könne und Kraft im Gegensatz zu Energie ein Vektor sei. (vgl. Zeilen 43-50, Kap. 10.6.6 und Zeilen 83-88, Kap. 10.7.6)

Auftrieb:

Deutlich größere Unsicherheiten und Schwierigkeiten als bei den anderen Themenschwerpunkten der Interviews zeigten beide Testpersonen beim Auftrieb.

So beschrieb Testperson C1 den Auftrieb im Vorinterview als nach oben ziehende Kraft, deren Größe vom Dichteunterschied zwischen Flüssigkeit und eingetauchtem Objekt abhinge (Zeile 62, Kap. 10.6.5). Die Beschreibung des Auftriebs als ziehende Kraft legt nahe, dass das zugrundeliegende Phänomen, nachdem die Gewichtskraft des Fluids das Objekt nach oben drückt, nicht ganz verstanden wurde. Darüber hinaus lag hier offenbar eine Verwechslung der Auftriebskraft mit der auf das Objekt im Fluid wirkenden Gesamtkraft vor. Während die Auftriebskraft selbst zwar von der Dichte des Fluids abhängt, ist sie von der Dichte

des eingetauchten Objekts grundsätzlich unabhängig. Im Nachinterview beschreibt die Testperson den Auftrieb hingegen als abhängig von Dichte und Gravitation, was grundsätzlich korrekt ist, wenn dies auf das Fluid bezogen ist, „und von dem verdrängten Volumen“, wie die Testperson weiters angab (Zeile 62, Kap. 10.7.5). Hier konnte also eine deutliche Verbesserung gegenüber des Vorinterviews sichtbar werden. Eine andere Lernendenvorstellung, welche auch bereits von Schecker et. al. (2018, S. 249) beschrieben wurde, zeigte sich hingegen bei Testperson C1 sowohl beim Vor-, als auch beim Nachinterview. So antwortete sie im Vorinterview auf die Frage, wann ein Körper in einer Flüssigkeit schwimmen würde: „Wenn eben der Auftrieb größer ist als die Gravitation, die den Körper nach unten zieht.“ (Zeile 66, Kap. 10.6.5). Dies scheint verwunderlich, wurden doch die Fragen zum Kräftegleichgewicht von der Testperson zuvor korrekt beantwortet. Im Nachinterview wurde dann deutlich, dass es hier offenbar zu einer Verwechslung der Begriffe ‚schwimmen‘ und ‚steigen‘ kam, beziehungsweise von der Testperson auch unterschieden wurde, ob ein Objekt in oder auf einer Flüssigkeit schwimmt. So meinte sie etwa: „In einer Flüssigkeit schwimmen tut der Körper nur, wenn er die gleiche Dichte hat, wie die Flüssigkeit und auf einer Flüssigkeit schwimmt er, wenn er eine niedrigere [...] Dichte hat.“ (Zeile 66, Kap. 10.7.5)

Auch Testperson C2 unterlag sowohl im Vor- (Zeile 54, Kap. 10.6.6) als auch im Nachinterview (Zeile 92, Kap. 10.7.6) derselben mangelnden Vorstellung, dass ein Körper nur dann schwimme, wenn die Auftriebskraft größer der auf ihn wirkenden Schwerkraft sei. Eine begriffsklärende, Konzepte zum Auftrieb hinterfragende, optionale Hilfestellung könnte daher etwa bei Aufgabenstellung 1 ergänzt werden, um hier einen besseren Beitrag zur konstruktiven Kompetenzentwicklung leisten zu können. Eine bessere Formulierung als im Vorinterview lieferte Testperson C2 im Nachinterview hingegen bei der allgemeinen Frage nach Auftrieb: „[...] der Auftrieb, der auf einen Körper wirkt [...] ist genauso groß, wie die Schwerkraft von dem Wasser, das verdrängt wurde.“ (Zeile 90, Kap. 10.7.6).

Schwerpunkt:

Bei den Fragen zum Schwerpunkt fielen die Antworten von beiden Testpersonen in den Vor- und Nachinterviews jeweils praktisch ident aus und konnten jeweils physikalisch korrekt formuliert werden.

5.3.3 SchülerInneneinschätzung der Aufgabenstellungen

Aus dem Feedback der Testpersonen (C1: Zeilen 1-30, Kap. 10.7.5; C2: Zeilen 1-56, Kap. 10.7.6) ergaben sich weitere Aspekte, welche hinsichtlich Überarbeitung des Aufgabenblattes relevant sind oder Anlass zu weiteren Überlegungen boten, andererseits bestätigten sich damit auch einige der bereits während der Erprobung wahrgenommenen Schwierigkeiten und Erfolge.

Hinsichtlich der Schwierigkeit des Aufgabenblattes kamen beide Testpersonen zu dem Schluss, dass das Aufgabenblatt für sie insgesamt fordernd, jedoch angenehm schwer, ihrem Niveau entsprechend und mit ausreichend Zeit und den Hilfestellungen gut lösbar war. Schwierigkeiten traten insbesondere bei der

Aufgabenstellung 2c auf, wie von beiden angemerkt wurde, da dabei nicht ganz klar gewesen sei, was genau zu tun sei beziehungsweise die Aufgabenstellung, wie von Testperson C1 beschrieben, ganz anders war als bisherige Aufgabenstellungen, mit denen sie konfrontiert war. Hier wurde insbesondere auf den in Kap. 5.3.1 beschriebenen Dialog zwischen Testperson und Interviewer verwiesen: „Das mit der Arbeit, das war auf jeden Fall noch hilfreich. Dass Sie da – ich kannte mich da bei der Arbeit nicht mehr so genau aus, wie ist das genau und welche Einheit und so.“ (Zeile 14, Kap. 10.7.5). Auch Testperson C2 gab an, einzelne Interventionen während der Bearbeitung als hilfreich empfunden zu haben. Insbesondere Fragestellungen des Interviewers der Art: „Ja, was willst du denn gerade überhaupt ausrechnen? Was machst du denn überhaupt gerade? Was willst du jetzt eigentlich gerade?“ (Zeile 8, Kap. 10.7.6). Aber auch das eigene Aussprechen der Gedanken und kommentieren der eigenen Schritte während der Erprobung wurden von Testperson C2 als hilfreich wahrgenommen. Die Intention dahinter war weniger als Hilfestellung gedacht, als um während der Erprobung die Vorhaben und Überlegungen der Testperson von außen wahrnehmen und verfolgen zu können, um etwaige Schwierigkeiten besser aufdecken zu können. Durch diese Aussage wird jedoch deutlich, dass die im Regelfall übliche Partner-, Partnerinnen- oder Teamarbeit bei der Bearbeitung von Aufgabenstellungen in Physikolympiade-Vorbereitungskursen aufgrund der normalerweise stattfindenden Kommunikation zwischen den Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmern zur Absprache der Vorgehensweise positive Effekte dieser Richtung mit sich bringt.

Die für die Aufgabenstellung bereitgestellten, optionalen Hilfestellungen wurden größtenteils positiv von den Testpersonen bewertet. Einige davon haben sie während der Erprobung, wie in Kapitel 5.3.1 jeweils vermerkt, auch selbst in Anspruch genommen. Die übrigen vorbereiteten optionalen Hilfestellungen wurden den Testpersonen nach der Erprobung zur Einsichtnahme vorgelegt, um deren Einschätzung dazu erhalten zu können. Die Hilfestellung c2a wurde von keiner der beiden Testpersonen genutzt, da sich im Zuge der Erprobung keine Situation ergab, in welcher deren Vorlage sinnvolle Unterstützung versprochen hätte. Testperson C1 merkte im Nachinterview an, dass sie diese im Nachhinein auch selbst nicht als besonders hilfreich empfunden hätte, da es nur eine Weiterleitung zu einem anderen Beispiel wäre, jedoch ihr Problem, was die Hangabtriebskraft ist, dadurch nicht gelöst würde. Sie schlug vor, den Begriff besser bereits an dieser Stelle zu klären, etwa durch Verweis auf die optionale Hilfestellung c2b1 und möglicherweise unter Ergänzung einer Skizze (vgl. Zeile 20, Kap. 10.7.5). Auch Testperson C2 bestätigte, dass der Hinweis c2b1 insbesondere zur Klärung des Begriffs ‚Hangabtriebskraft‘ sehr hilfreich war. Ebenfalls als sehr hilfreich empfunden wurde von beiden Testpersonen die optionale Hilfestellung c2b2, was sie damit begründeten, dass durch diesen erst klar wurde, dass sie GeoGebra an dieser Stelle nutzen durften, beziehungsweise könnten. Der Hinweis c2b3 wurde von Testperson C1 als gut beschrieben. Während die beiden optionalen Hilfestellungen c4b und c4c von Testperson C2, welche beide während der Erprobung auch in Anspruch nahm, als nötig und hilfreich beschrieben wurden, stufte auch Testperson C1, welche die beiden Hinweise erst nach der Erprobung einsah, diese als sehr hilfreich ein, „weil so kann man das nochmal leichter, allgemeiner für n Masseschwerpunkte bestimmen“ (Zeile 16, Kap. 10.7.5).

Auch hinsichtlich Interesse und Motivation betreffend Aufgabenblatt C können einige Schlüsse aus dem Feedback der beiden Testpersonen gezogen werden. Besonders auffällig ist dabei, dass beide Testpersonen das Aufgabenblatt als sehr spannend beschrieben und dabei vor allem dessen ‚Realitätsnähe‘ hervorhoben „und weil man auch gleichzeitig was gelernt hat zum Pyramidenbau“ (Zeile 22, Kap. 10.7.5) im archäologischen bzw. geschichtlichen Sinn (vgl. Zeile 24, Kap. 10.7.5), wie Testperson C1 es ausdrückte, beziehungsweise wie Testperson C2 es formulierte: „[...] weil es eine [...] Geschichte hatte [...]“ und man zwischendurch auch etwas über den Pyramidenbau lernte. „[...] das macht [...] Beispiele oft interessanter“ (Zeile 22, Kap. 10.7.6). Dadurch empfand Testperson C1 das Aufgabenblatt auch „spannender als [...] Standard-Physikolympiadebeispiel[e]“ (Zeile 22, Kap. 10.7.5). Dazu beigetragen hat für Testperson C2 ihren Aussagen nach vor allem auch der Umstand: „es war nicht einfach nur sozusagen, die Richtige Formel finden und einsetzen und passt schon, sondern es war eben herausfordernd“ (Zeile 34, Kap. 10.7.6), sowie auch die zusätzlichen, physikalischen Erkenntnisse, welche man zwischendurch auf dem Weg erlangte, wie etwa, dass sich die Erdbeschleunigung bei Aufgabenblock 2 rauskürzte und die Ergebnisse davon unabhängig sind, oder dass der Funktionsgraph der Zugkraft ein eindeutiges Maximum hat (vgl. Zeile 26, Kap. 10.7.6). Auch Testperson C1 schilderte das Ergebnis aus Aufgabenstellung 2b im Nachinterview als sehr spannend. Darüber hinaus gab Testperson C1 an, das Gefühl zu haben, manche Aufgabenstellungen besonders elegant gelöst zu haben, was sicherlich motivierend auf sie wirkte und zeigt, dass unterschiedliche Lösungswege nicht nur vorhanden, sondern von der Testperson auch erkannt und abgewogen wurden. So führte sie etwa auch an, dass es ihr besonders gut gefiel, dass man sich bei Aufgabenblock 4 unter Berücksichtigung der Schwerpunkte „[...] selber [...] eine Art Formel überlegen muss“ (Zeile 26, Kap. 10.7.5). Aufgabenblock 1 sah sie als guten Einstieg in das Thema (ebd.).

An weiteren Änderungsvorschlägen nannte Testperson C1, dass sie es gut fände, bei Aufgabenstellung 3a „genauer an[zu]geben, dass man so ziemlich alle Größen sich aussuchen kann“ (Zeile 28, Kap. 10.7.5) und Testperson C2 schlug vor, bei Aufgabenstellung 4d anzumerken, dass für die erkannte harmonische Folge kein Beweis für deren Passung gefordert ist.

6 Adaptionen und Überarbeitung der Aufgabenstellungen

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 5 gewonnenen Erkenntnisse und vor dem Hintergrund der in Kapitel 2 erarbeiteten Intentionen wurden die drei Aufgabenblätter überarbeitet. Die wichtigsten Änderungen gegenüber der in Kap. 3 ausführlich präsentierten, ursprünglichen Versionen sollen im Folgenden dargelegt werden. Die sich daraus ergebende Endfassung der Aufgabenblätter für den Einsatz im Unterricht inklusive aller ausgearbeiteter optionaler Hilfestellungen und Lösungsvorschläge finden sich im Anhang dieser Arbeit in den Kapiteln 10.3 und 10.4.

6.1 Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl

Basierend auf den Erkenntnissen aus Kapitel 5.1 wurde das Aufgabenblatt A in einigen Bereichen minimal adaptiert, in anderen grundlegend umgestaltet. So wurde im einleitenden Text auf Seite 1 des Aufgabenblattes der letzte Satz ‚Lass nun die Mutter los.‘ durch den Satz ‚Halte die Mutter, wie in Abb. a.1 dargestellt, auf Höhe der Stativstange und lass sie anschließend los.‘ ersetzt, um unmittelbar vor der Durchführung des Versuchs nochmals explizit darauf hinzuweisen, dass das Schnurstück mit der Mutter horizontal weggehalten werden soll. Darüber hinaus wurden die Wörter ‚waagrecht [...] 1,3m über dem Boden‘, ‚wie in Abb. a.1 dargestellt‘, ‚rote Markierung auf [...] Stange‘ und ‚Mutter [...] auf Höhe der Stativstange‘ im Einleitungstext unterstrichen, um die wichtigsten, beim Versuch zu beachtenden Aspekte nochmals hervorzuheben.

Wie aus der Erprobung (Kap. 5.1.1) hervorging, waren die Überlegungen der Testpersonen A1 und A2 zur Aufgabenstellung 1 einerseits divers, andererseits gleichermaßen spannend und hätten einander in interessanter Weise in einer Diskussion ergänzt. Aus diesem Grund wurde am Wortlaut der Aufgabenstellung nichts verändert, um hier weiterhin zunächst die Möglichkeit zum freien Überlegen und Ideenaustausch zu bieten. Um jedoch sicherzustellen, dass dabei, anders als bei der Erprobung, keine mitunter auch für die folgenden Aufgabenstellungen relevanten und physikalisch wichtigen Aspekte übersehen oder ausgelassen werden, wurde die Aufgabenstellung mit einem Nachsatz versehen:

Überprüf danach anhand des Kuverts Nr. a1, ob ihr die wichtigsten Aspekte bedacht habt.

In eben jenem Kuvert erwarten die Schülerinnen und Schüler dann einige deutlich konkretere Fragestellungen mit der Aufforderung zu überprüfen, ob diese von den Schülerinnen und Schülern bereits beantwortet werden können. Aufgrund der nun konkret auf diverse physikalische Phänomene und Theorien verweisenden Fragen dient das Kuvert ebenso als optionale Hilfestellung, wobei das Optionale hieran auf den Zeitpunkt der Inanspruchnahme beschränkt wurde.

Kuvert Nr. a1:

Überprüft, ob ihr die folgenden Fragen mit euren Überlegungen aus Aufgabenstellung 1 bereits beantworten könnt und diskutiert eure Antworten dazu:

- Welche Bewegung führt das Häferl aus und welche würde es ausführen, würde es nicht an die Mutter gekoppelt sein?
- Welche Bewegung führt die Mutter aus und wie würde sie sich verhalten, würde ihr Faden an der Stativstange fixiert sein?
- Welchen Zusammenhang seht ihr zwischen der Energie und der Fadenlänge eines Fadenpendels?
- Auf welche Höhe würde die Mutter schwingen, würde ihr Faden an der Stativstange fixiert sein und wie hoch schwingt sie tatsächlich?
- Wie lässt sich das Verhalten der Mutter mit der Energieerhaltung in Einklang bringen?

Bei Aufgabenstellung 2 wurde deutlich, dass eine klarere Formulierung der Ziele des aufzunehmenden Slow-Motion-Videos erforderlich ist, um die Planbarkeit einer passenden Versuchsanordnung durch die Schülerinnen und Schüler zu ermöglichen und zugleich zu vermeiden, dass die Schülerinnen im Laufe der Bearbeitung der Folgeaufgaben immer wieder auf Aspekte stoßen, die sie bei ihrer Videoaufnahme unbeachtet ließen und sie so veranlassen, das Video erneut und adaptiert aufzunehmen. Dies käme auch der Anmerkung von Testperson A1 entgegen, dass der Versuchsaufbau etwas zu viel Zeit in Anspruch genommen hätte (vgl. Kap. 5.1.3). So wurde in der Überarbeitung zunächst der Operator ‚wiederholt‘ zu ‚plant‘ ein Experiment geändert, sowie unmittelbar beschrieben, welche Daten aus dem Video ausgelesen werden können sollen. Darüber hinaus wurde Aufgabenstellung 2 auf zwei Unterpunkte aufgeteilt, wobei sich der erste mit der Aufnahme des Videos befasst.

2. Videoanalyse

- a) Plant ein Experiment, um mittels Videoanalyse nachträglich zu jedem Zeitpunkt ablesen zu können, wie weit das Häferl bis dahin bereits gefallen ist und um welchen Winkel die Mutter bereits rotiert ist. Nehmt den Vorgang per Slow-Motion-Video auf.

(Ein Maßstab könnte bei dieser Videoanalyse sehr nützlich sein.)

Im zweiten Unterpunkt der Aufgabenstellung 2 sollen die Schülerinnen erste Daten aus dem Video extrahieren und in Skizzen festhalten. Der zu beachtende Zeitpunkt wurde in der Überarbeitung nun auf jenen verschoben, zu welchem das Häferl gerade zum Stillstand kommt. Einerseits war dies im Zuge der Erprobung der von den Testpersonen instinktiv präferierte, andererseits wurden auch die darauf folgenden Aufgabenstellungen grundlegend abgeändert, sodass nun ohnedies tatsächlich dieser Zeitpunkt an Relevanz gewann. Außerdem wird mit den Skizzen und der Aufforderung alle relevanten Schnurlängen festzuhalten auch dem Wunsch von Testperson A2 Rechnung getragen, was didaktisch sinnvoll erscheint, um bei den folgenden Berechnungen auf übersichtlich notierte Messdaten zurückgreifen zu können.

2b) Bestimmt aus der Videoanalyse den ungefähren Zeitpunkt t_2 , ab welchem das Häferl (nahezu) zum Stillstand kommt. Haltet die vom Häferl bis dahin überwundene Fallhöhe sowie die Position (Winkel) der Mutter zu jenem Zeitpunkt fest. Fertigt dazu zwei Skizzen an – eine zu diesem Zeitpunkt und eine von vor dem Loslassen der Mutter (t_0) – und tragt in diese jeweils die Längen aller linearen Schnurabschnitte ein.

[Tipp: Kuvert Nr. a2b]

In dem hier angekündigten Kuvert wurde als optionale Hilfestellung eine vorbereitete Skizze zur Verfügung gestellt, sodass die Schülerinnen und Schüler sich einerseits vergewissern können, den richtigen Zeitpunkt im Video gefunden zu haben und andererseits durch die eingeschriebenen Längenmessdatenplatzhalter auf keine Längenangabe vergessen.

Tipp Nr. a2b:

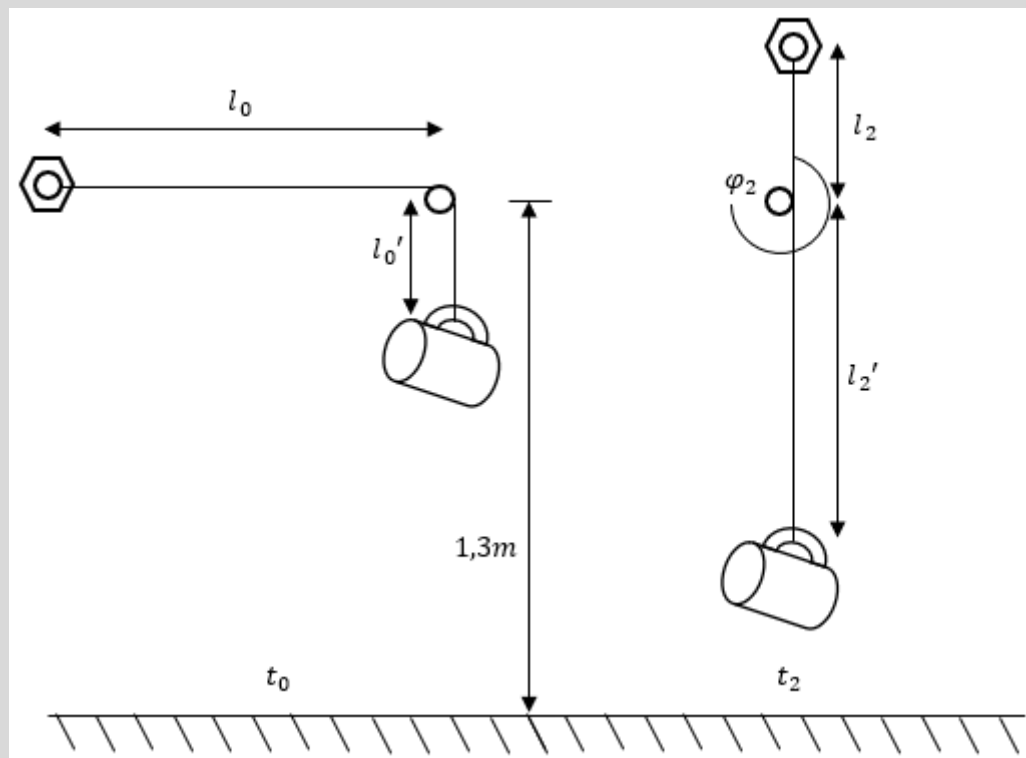


Abb. a.3: Skizzenvorlage zur Messdateneintragung.

Lösungsvorschlag:

- Wichtig ist es, dass ein Maßstab in selber Entfernung von der Kamera, wie der Abstand Schnur-Kamera, senkrecht platziert wird, um bei der Analyse Höhendifferenzen sinnvoll auslesen zu können. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass die optische Achse der Kamera parallel zur Rotationsachse der Mutter steht und in etwa durch die Stativstange verläuft, um den von der Mutter überstrichenen Winkel auslesen zu können.
- Nachdem die Mutter einen Winkel von rund 270° überstrichen hat, kommt das Häferl bei der verwendeten Schnur und Stativstange relativ abrupt zum Stillstand (vgl. Abb. a.4).

Die bis dahin vom Häferl überwundene Höhendifferenz beträgt in etwa

$$l_0 \approx 82\text{cm}; \quad l_0' \approx 19\text{cm}; \quad l_2 \approx 18\text{cm}; \quad l_2' \approx 82\text{cm}$$

$$\Delta h_2' = l_2' - l_0' \approx 63\text{cm}$$

$$\varphi_2 \approx 270^\circ$$

Eine völlige Neugestaltung erfuhr Aufgabenstellung 3, wobei mit der Überarbeitung auf unterschiedliche Erkenntnisse aus der Erprobung eingegangen werden sollte. Strukturell wurde die Aufgabenstellung in vier Unterpunkte a bis d aufgesplittet. Damit soll einerseits ein klarerer Leitfaden für die Bearbeitung der Aufgabenstellung gegeben werden, andererseits Überlegungen zur Energieerhaltung von Vorbereitungen für die Folgeaufgabenstellungen hinsichtlich Tangentialgeschwindigkeit der Mutter getrennt werden und zugleich ein sanfterer Einstieg in den quantitativen Aufgabenbereich gewährleistet werden.

In Aufgabenstellung 3a soll zunächst ein Überblick über die auftretenden Energieformen und deren Umwandlungsprozesse geschaffen werden.

3a) Betrachtet nun den Zeitpunkt t_1 , zu welchem sich die Mutter auf ihrer Bahn erstmalig direkt unter der Stativstange befindet. Nennt alle zu diesem Zeitpunkt im Versuchssystem relevanten Energieformen und stellt eine Energieumwandlungsgleichung für den Prozess auf.

[Tipp: Kuvert Nr. a3a]

Die dazu eingeführte optionale Hilfestellung a3a dient zur Verständigung über den Begriff Energieumwandlungsgleichung.

Tipp Nr. a3a:

Für ein Federpendel könnte so eine Energieumwandlungsgleichung etwa so aussehen:

$$\Delta E_{\text{pot}} = -\Delta E_{\text{kin}}$$

Als quantitative Einstiegsaufgabe (vgl. Kap. 5.1.3) soll nun bei Aufgabenstellung 3b anhand der in 2b ermittelten Längen sowie einer Messung der Massen von Mutter und Häferl die bis zum Zeitpunkt t_2 freige-wordene potentielle Energie des Systems berechnet werden. Dabei ist natürlich zu beachten, dass die Mutter zu diesem Zeitpunkt gegenüber ihrer Startposition an potentieller Energie gewonnen hat.

3b) Berechnet die bis zum Zeitpunkt t_2 (!!!) im System freigewordene potentielle Energie.

In einem weiteren Unterpunkt 3c sollen die Schülerinnen und Schüler eine Abschätzung der Rotationsenergie der Mutter vornehmen. So kann durch schrittweises Ablaufen lassen der Slow-Motion-Aufnahme der von der Mutter in einer gewissen Dauer überstrichene Winkel, sowie der Radius, also die Schnurlänge auf Seite der Mutter, abgelesen werden. Da sich im Laufe des Prozesses sowohl der Radius als auch die Winkelgeschwindigkeit ändern, kann auch mit dieser Methode nur eine grobe Näherung, jedoch keine mathematisch exakte und punktgenaue Messdatenauslese erfolgen. Während der Radius aus einem Standbild des Videos zum gesuchten Zeitpunkt bei entsprechend platziertem Maßstab relativ gut abgelesen werden

kann, kann die Messung der Winkelgeschwindigkeit zum selben Zeitpunkt nicht beliebig genau bestimmt werden. Um trotz veränderlicher Winkelgeschwindigkeit einen ausreichend genauen Wert für diese zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erhalten, sollte das betrachtete Winkel- bzw. Zeitintervall möglichst kurz und symmetrisch um den zu betrachtenden Zeitpunkt gewählt werden. Je enger dieses Zeitintervall jedoch gewählt wird, desto größer wird der relative Messfehler beim Ablesen des überstrichenen Winkels.

3c) Schätzt die Rotationsenergie der Mutter zum Zeitpunkt t_2 mithilfe der Videoaufnahme und durch Berechnung ab.

[Tipps: Kuverts Nr. a3c1, a3c2]

Da diese Aufgabenstellung nicht nur die technischen Anforderungen an Handykamera und App zum Abspielen des Slow-Motion-Videos, sondern auch hohe experimentelle Kompetenzen voraussetzt, wurden dazu zwei weitere optionale Hilfestellungen bereitgestellt. Die erste soll eine grobe Anleitung zur Vorgehensweise bieten, während die zweite eine Teillösung der Aufgabe bereitstellt, um sich gegebenenfalls trotz mangelnder technischer Ausstattung dem rechnerischen Teil der Aufgabe widmen zu können.

Tipp Nr. a3c1:

Nutzt eure Slow-Motion-Aufnahme zur Abschätzung der durchschnittlichen Winkelgeschwindigkeit $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ der Mutter rund um den gefragten Zeitpunkt und vergesst dabei nicht den Zeitdehnungsfaktor eures Videos zu berücksichtigen.

[Sollte eine, wenn auch nur ungefähre, Abschätzung der Winkelgeschwindigkeit aus eurem Video gar unmöglich sein, nehmt Tipp a3c2 in Anspruch.]

Tipp Nr. a3c2:

Sprecht mit eurer Lehrerin oder eurem Lehrer, bevor ihr diesen Tipp in Anspruch nehmt! Nehmt für $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ bei $\varphi(t_2) = 270^\circ$ einen ungefähren Wert von 360° pro Sekunde im Video und einer 8-fachen Verlangsamung durch die Slow-Motion-Aufnahme an.

Zur Abrundung der Aufgabenstellung 3 und den darin betrachteten Überlegungen zur Energie wird im Unterpunkt d noch auf die Reibungsverluste eingegangen, welche, wie sich bei der Erprobung zeigte, ohnedies von den Schülerinnen und Schülern nur schwer ausgeblendet wurden und letztlich auch realistisch einen großen, wenn nicht den zentralen Effekt darstellen.

3d) Berechnet die im System durch Reibungseffekte bis zum Zeitpunkt t_2 in Wärme umgewandelte Energie.

Lösungsvorschlag:

- a) Die Summe der aus Häferl und Mutter freiwerdenden potentiellen Energie entspricht der Summe aus kinetischer Energie des Häferls, Rotationsenergie der Mutter und der Wärme aufgrund von Reibungsverlusten.

$$-(\Delta E_{pot,Häf} + \Delta E_{pot,Mut}) = E_{kin,Häf} + E_{rot,Mut} + Q$$

[Die Translationsbewegung der Mutter aufgrund der Pendellängenverkürzung ($\Rightarrow E_{kin,Mut}$), sowie die Spannenergie der Schnur wurden hier vernachlässigt, wären bei Einbezug durch die Schülerinnen und Schüler jedoch auch korrekt.]

- b) $m_{Häf} \approx 212,4 \text{ g}$ $m_{Mut} \approx 11,0 \text{ g}$ $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$

$$-\Delta E_{pot,ges,2} = -[\Delta E_{pot,Häf,2} + \Delta E_{pot,Mut,2}] = g[m_{Häf}(l'_2 - l'_0) + m_{Mut}(l_2 - l_0)] \approx 1,24 \text{ J}$$

- c) Aus der Videoanalyse mit 8-facher Verzögerung lässt sich grob ablesen:

$$\frac{\Delta \varphi}{\Delta \tilde{t}}(t_2) \approx \frac{360^\circ}{\frac{1}{8} \text{ s}} = 8 \cdot 360^\circ/\text{s}$$

Für die Rotationsenergie gilt mit der Winkelgeschwindigkeit ω_2 :

$$E_{rot,Mut,2} = \frac{I \cdot \omega_2^2}{2}$$

wobei das Trägheitsmoment I näherungsweise angenommen werden kann als:

$$I \approx m_{Mut} \cdot l_2^2$$

Damit ergibt sich mit der Kreisfrequenz f_2 :

$$E_{rot,Mut,2} = \frac{m_{Mut} \cdot l_2^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_2)^2}{2} \approx \frac{0,011 \cdot 0,18^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 8)^2}{2} \approx 0,45 \text{ J}$$

- d) Da $E_{kin,Häf}(t_2) = 0$ und $E_{kin,Mut}(t_2) = 0$, ergeben sich die Reibungsverluste zu:

$$Q_2 = -\Delta E_{pot,ges,2} - E_{rot,Mut,2} \approx 1,24 - 0,45 \approx 0,79 \text{ J}$$

Da bei der Erprobung auch bei Aufgabenstellung 4 Fragen nach der Berücksichtigung der Reibung auftraten (vgl. Kap. 5.1.1), wurde der Angabetext hier etwas modifiziert, um eine klarer beschriebene Situation zu schaffen, als auch die für einen kreisförmigen Salto benötigte Zentrifugalkraft zu berücksichtigen.

- 4) Angenommen, ein Mechanismus würde Mutter und Häferl zum Zeitpunkt t_1 entkoppeln – also die Schnur an der Stativstange abklemmen und die Schnurabschnittslängen fixieren. Würde die Mutter den Salto dann dennoch „rund“ (kreisförmig) schaffen? Rechnet nach!

Angeichts der nun geänderten Vorgehensweise und Situationsbeschreibung von Aufgabenstellung 3 ändert sich nun jedoch der Lösungsweg, sowie das Ergebnis von Aufgabenstellung 4 wie folgt:

Lösungsvorschlag:

Zur Berechnung der Rotationsenergie zum Zeitpunkt t_1 kann die Winkelgeschwindigkeit ω wiederum aus dem Video abgeschätzt werden:

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta\tilde{t}}(t_1) \approx \frac{135^\circ}{\frac{1}{8}s} = 1080^\circ/s$$

Ebenso lässt sich der aktuelle Radius l_1 der Rotationsbewegung der Mutter aus dem Video auslesen:

$$l_1 \approx 30 \text{ cm}$$

$$E_{rot,Mut,1} = \frac{m_{Mut} \cdot l_1^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_1)^2}{2} \approx \frac{0,011 \cdot 0,3^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 3)^2}{2} \approx 0,18 \text{ J}$$

Für einen ‚runden‘ Salto müsste die Mutter einerseits das Doppelte der momentanen Fadenlänge des Fadenpendels l_1 an Höhe überwinden können ($\Delta E_{pot,Sal}$), andererseits am obersten Punkt des Saltos noch eine ausreichend hohe Winkelgeschwindigkeit ω_1 besitzen, sodass die Zentrifugalkraft $F_{Z,Sal}$ die Gravitationskraft $F_{G,Sal}$ zumindest kompensiert ($E_{rot,Sal}$). Ein Vergleich der dafür benötigten Energie E_{Sal} mit der aktuellen Rotationsenergie der Mutter zeigt, dass dies möglich ist.

$$F_{Z,Sal} = m_{Mut} \cdot \omega_1^2 \cdot l_1 \geq m_{Mut} \cdot g = F_{G,Sal}$$

$$E_{rot,Sal} = I_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{2} = m_{Mut} \cdot l_1^2 \cdot \frac{g}{2 \cdot l_1} = \frac{m_{Mut} \cdot g \cdot l_1}{2}$$

$$E_{Sal} = \Delta E_{pot,Sal} + E_{rot,Sal} = 2 \cdot m_{Mut} \cdot g \cdot l_1 + \frac{m_{Mut} \cdot g \cdot l_1}{2} \approx 0,065 + 0,016 = 0,081 \text{ J} < E_{rot,Mut,1}$$

Aufgabenstellung 5 blieb größtenteils unverändert, wurde jedoch in Anlehnung an den von Testperson A2 im Nachinterview geäußerten Wunsch nach dem Einsatz von GeoGebra (vgl. Kap. 5.1.3) um den Auftrag zur grafischen Darstellung der Ortsfunktion der Mutter ergänzt.

5) Katapult: Stellt euch vor, die Mutter würde zum Zeitpunkt t_1 den Kontakt zum Seil verlieren („losge lassen werden“). Wie weit (waagrechte Entfernung) würde die Mutter fliegen, bevor sie den Boden berührt? Stellt die Flugbahn der Mutter mit GeoGebra in einem xy-Diagramm dar.

Lösungsvorschlag:

Durch die Entkopplung der Mutter von der Schnur entspricht $E_{rot,Mut,1}$ nun ihrer kinetischen Energie und es ergibt sich für das Anfangstempo $v_{x,0}$ der Mutter in horizontaler Richtung:

$$v_{x,0} = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{rot,Mut,1}}{m_{Mut}}} \approx 5,65 \text{ m/s}$$

Mit der horizontalen Anfangsgeschwindigkeit $v_{x,0}$ der Mutter kann die Distanz mittels aktueller Höhe der Mutter über dem Boden und der Formeln für den waagrechten Wurf berechnet werden.

Die Mutter befindet sich derzeit ca. $y_0 \approx 1,00 \text{ m}$ über dem Boden. Für die zurückgelegte Fallhöhe $\Delta y(t)$:

$$\Delta y(t) = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}} \approx \sqrt{\frac{2}{9,81}} \approx 0,45 \text{ s}$$

Waagrechtcr Wurf:

$$x(t) = v_{x,0} \cdot t \approx 5,65 \cdot 0,45 \approx 2,55 \text{ m}$$

Die vertikale Position der Mutter y in Abhängigkeit von ihrer horizontalen Position x ergibt sich zu:

$$y(x) = y_0 - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x}{v_{x,0}} \right)^2$$

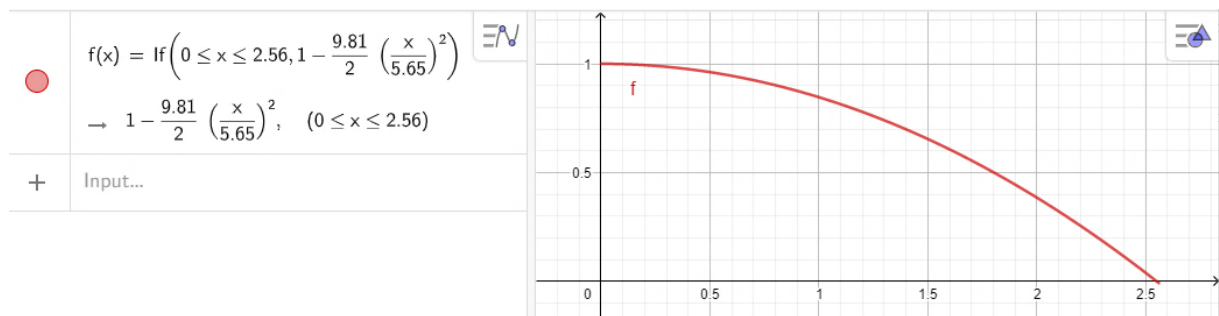


Abb. a.5: xy-Diagramm – waagrechtcr Wurf der Mutter.

Durch die Neugestaltung von Aufgabenstellung 3 und die Verwerfung der darin in der ursprünglichen Version des Aufgabenblattes getroffenen fiktiven Annahmen fiel der Modellierungsaspekt als Kern von Aufgabenstellung 6 weg. Stattdessen führten die Abschätzungen der Winkelgeschwindigkeit der Mutter zu neuen Messfehlern, auf welche nun stattdessen der Fokus gelegt werden soll.

- 6) Beschreibt welche Messfehler euer Ergebnis aus Aufgabenstellung 5 relativieren und schätzt diese sinnvoll ab.

Lösungsvorschlag:

l_1, y_0 : $\pm 5 \text{ cm}$ (durch Videoanalyse)

m_{Mut} : $\pm 1 \text{ g}$ ($\pm 0,1 \text{ g}$ durch Waage, $\pm 1 \text{ g}$ durch Masse der Schnur)

ω : $\pm 120 \text{ }^\circ/\text{s}$ (durch Videoanalyse)

Aufgabenstellung 7 blieb unverändert zur ursprünglichen Version des Aufgabenblattes.

6.2 Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot

Zunächst wurde die Materialienliste um ‚1 Schiebelehre‘ erweitert, da mit dieser nicht nur der Innendurchmesser des Spritzenzylinders genauer gemessen werden kann, sondern Schülerinnen und Schüler so auch wieder den Umgang mit diesem Messinstrument üben.

Weiters wurden im Phasendiagramm die Begriffe ‚Eis‘, ‚Wasser‘ und ‚Dampf‘ durch die Wörter ‚fest‘, ‚flüssig‘ und ‚gasförmig‘ ersetzt, da bei der Erprobung bei Aufgabenstellung 2 die Idee des gasförmigen

Wassers zunächst nicht wirklich angenommen wurde (vgl. Kap. 5.2.1). Abgesehen davon schien es schwierig von ‚Wasser‘ auf den Aggregatzustand ‚flüssig‘ zu schließen. Im Zuge dessen wurden auch die Begriffe ‚Siedekurve‘, ‚Schmelzkurve‘ und ‚Sublimationskurve‘ ergänzt, um bei einer möglicherweise erforderlichen Brechung mit der Idee eines einzigen Siedepunktes zu unterstützen (siehe Abb. b.12, Kap. 10.3.3; Abb. b.13 & b.14, Kap. 10.4.2).

Für einen sanfteren Einstieg in die Thematik (vgl. Kap. 5.2.3) und zur besseren konzeptionellen Vorbereitung auf die Aufgabenstellungen 2 und 3 wurden zu Beginn drei kleine Experimente inklusive Fragestellungen eingezogen.

1. Untersuche, wie Gase bzw. Flüssigkeiten auf Druckänderungen reagieren. Führe dazu drei Experimente durch:
 - a. Fülle den Spritzenzylinder mit 20 ml Luft. Verschließe nun den Zylinder mit deinem Finger und drücke so fest du kannst auf den Spritzenkolben, um den Druck im Inneren zu erhöhen. Notiere die Volumsänderung in Prozent.
 - b. Fülle den Spritzenzylinder mit 20 ml flüssigem Wasser bei atmosphärischem Luftdruck. (Achte darauf, dass keine Luft eingeschlossen ist.) Fahre fort wie in a. Erkläre die Ergebnisse aus a und b!
 - c. Fülle den Spritzenzylinder mit ein paar Tropfen flüssigem Wasser + 20 ml Luft. Verschließe den Zylinder und warte ein paar Sekunden. Drücke den Kolben anschließend wieder so fest du kannst in den Zylinder und beobachte das Innere des Zylinders am besten gegen eine Lichtquelle. Was ist dabei zu erkennen und wie kannst du es erklären? [Tipp: Betrachte das Phasendiagramm in Abb. b.12.]

Die neuen Aufgabenstellungen 1a und 1b sollen auf die Kompressibilität von Gasen, beziehungsweise die Inkompressibilität von Flüssigkeiten hinweisen oder diese Konzepte wieder in Erinnerung rufen. Aufgabenstellung 1c soll in Folge eine Einleitung zur Koexistenz flüssiger und gasförmiger Phase von Wasser verweisen und insbesondere die Existenz von Wasser in gasförmigem Zustand aufzeigen. Als direkt ersichtlicher Hinweis wurde dabei auch bereits auf das Phasendiagramm verwiesen, welches vor allem Testperson B2 während der Erprobung schon zu Beginn der Bearbeitung des Aufgabenblattes sehr nützlich war (vgl. Kap. 5.2.1).

Lösungsvorschlag:

- a) Das Innenvolumen lässt sich auf rund (5 ± 2) ml reduzieren. Das entspricht einer Volumsänderung von ca. **−75 %**.
- b) Mit freiem Auge lässt sich keine Volumsänderung feststellen. Dies liegt an der Inkompressibilität von Flüssigkeiten (b) bzw. der Kompressibilität von Gasen (a).
- c) Das Innere des Spritzenkolbens wird undurchsichtig ↔ Nebelbildung. Aufgrund des flüssigen Wassers im Zylinder herrscht in der Luft darüber eine gewisse relative Luftfeuchtigkeit, höher als in (a), sofern die Laborluft eher trocken ist. Durch die Volumsreduktion und den damit verbundenen Druckanstieg wird die Luft im Inneren mit Wassergas übersättigt und dieses kondensiert (Tröpfchenbildung).

Durch den Einzug dieser Voruntersuchungen ergab sich außerdem die Möglichkeit, das für diverse Folgeversuche bereitgestellte Wasser eine Zeit lang ruhen zu lassen, sodass dieses seine Temperatur an die

Umgebungstemperatur angleicht und in Folge von konstanteren Versuchsbedingungen ausgegangen werden kann. Obwohl dies während der Erprobung zwar kein Problem darstellte, da das entnommene Wasser jeweils schon längere Zeit im Wasserhahn geruht haben dürfte, kann es bei Durchführung im Physiksaal durchaus dazu kommen, dass die Wassertemperatur doch deutlich unter der Raumtemperatur liegt und sich erst im Laufe der Zeit erhöht. Daher wurde die ursprüngliche Aufgabenstellung 1 in zwei Teile aufgespalten. Der erste wurde vor die neue Aufgabenstellung 1 gesetzt und beinhaltet noch keine Messung:

Vorbereitung:

Stelle dir etwas Wasser aus der Wasserleitung bereit und lasse seine Temperatur an die Raumtemperatur angleichen.

Der zweite Teil beinhaltet die Messdatenerfassung und wurde als neue Aufgabenstellung 2 definiert:

Überprüfe, ob sich die Wassertemperatur der Raumtemperatur bereits angepasst hat und halte diese ebenso wie den aktuellen Luftdruck (mit der Handyapp phyphox) fest.

Obwohl die ursprüngliche Aufgabenstellung 7 vorgezogen werden könnte, um auf die Rolle der Siedekurve im Phasendiagramm hinzuweisen (vgl. Kap. 5.2.3), setzt diese auch Überlegungen zum höhenabhängigen aerostatischen Luftdruck voraus, welche an früherer Stelle vom Konzept des konstanten Wassergasdrucks im Inneren des Spritzenzylinders nach Expansion ablenken könnte. Aus diesem Grund wurde die Aufgabenstellung nicht vorgezogen, hält dafür jedoch weiterhin spannende Erkenntnisse für den späteren Bearbeitungsverlauf bereit.

Die ursprüngliche Aufgabenstellung 2, welche bei der Erprobung einige konzeptionelle Hürden offenbarte, wurde mit drei optionalen Hilfestellungen versehen, deren Ziel es vor allem ist, unterschiedliche zu beachtende Effekte zu strukturieren und auf diese Weise sukzessive auf die Lösung zu verweisen:

Kuvert Nr. b3-1:

Finde die Siedekurve im Phasendiagramm in Abb. b.12. In welchem Aggregatzustand liegt Wasser in einem abgeschlossenen System vor, das sich im Phasendiagramm

links von:

rechts von:

über:

unter:

auf:

der Siedekurve befindet?

Kuvert Nr. b3-2:

Überprüfung der Druckänderung:

Gehe vor, wie in Aufgabenstellung 3 verlangt, ziehe den Spritzenkolben jedoch langsam und gleichmäßig auf 20 ml auf und überprüfe dabei, ob die dafür benötigte Zugkraft kontinuierlich und deutlich zunimmt,

abnimmt oder in etwa konstant bleibt. Was sagt dir das Ergebnis über den Druck im Inneren des Spritzenkolbens?

Kuvert Nr. b3-3:

Überlege dir Antworten auf die folgenden Fragen:

- Woraus (Art der Moleküle) setzt sich flüssiges, festes bzw. gasförmiges Wasser zusammen?
- Wie sieht gasförmiges Wasser aus und wie sehen dagegen winzige Tröpfchen flüssigen Wassers umgeben von gasförmiger Luft aus?
- Was kannst du tun, um flüssiges Wasser gasförmig zu machen?
 - Temperatur bei konstantem Druck erhöhen?
 - Temperatur bei konstantem Druck verringern?
 - Druck bei konstanter Temperatur erhöhen?
 - Druck bei konstanter Temperatur verringern?
- Welche Rolle spielt das Volumen dabei?

Bei der ursprünglichen Aufgabenstellung 3 wurde zur Beseitigung von Sprachbarrieren das Wort ‚eruieren‘ durch ‚feststellen‘ ersetzt. Außerdem wurde der Operator ‚berechne‘ mit dem Wort ‚näherungsweise‘ ergänzt, da das Gasvolumen bei dieser Aufgabenstellung nur abgeschätzt werden kann (vgl. Kap. 5.2.1). Darüber hinaus wurden auch bei dieser Aufgabenstellung zwei optionale Hilfestellungen ergänzt, welche, wie in Kap. 5.2.3 erörtert, auf die allgemeine Gasgleichung verweisen beziehungsweise Hilfestellung zur Molrechnung bieten:

Kuvert Nr. b4-1: Möglicherweise kann die allgemeine Gasgleichung hier nützlich sein.

Kuvert Nr. b4-2: Molrechnung:

mol ... SI-Einheit der Stoffmenge *n*

$6,022 \cdot 10^{23}$ (= Loschmidt'sche Zahl) Teilchen entsprechen 1 *mol* eines Stoffes.

Die molare Masse hängt von der Art der Teilchen ab (vgl. PSE).

Wie in Kap. 5.2.1 festgestellt, sollten auch der Aufgabenstellung zur Berechnung der Kraft beim Halten des Spritzenkolbens – nun Nummer 5 – optionale Hilfestellungen beigelegt werden. Die erste enthält die Aufforderung zur Erstellung einer Skizze und beabsichtigt auf das gegebene Kräftegleichgewicht zu verweisen.

Kuvert Nr. b5-1: Erstelle eine Skizze und zeichne alle auf den Spritzenkolben wirkenden Kräfte ein.

Die zweite dient weiterführend der konzeptionellen Unterstützung zum Gasdruck und soll auf die vom Wassergas beziehungsweise der Luft ausgeübten Kräfte verweisen.

Kuvert Nr. b5-2:

Der statische Gasdruck entsteht durch die Teilchenbewegung im Gas. Je größer die Dichte eines Gases oder Gasgemenges ist, desto mehr Stöße (Impulsübertragung → Kraft) finden pro Zeiteinheit an Körperoberflächen, die an das Gas grenzen, statt.

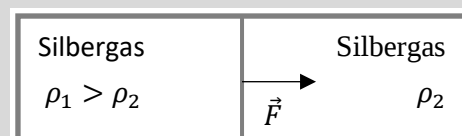


Abb. b.15: aerostatischer Druck am Beispiel von Silbergas.

Bei der folgenden Aufgabenstellung, nun Nr. 6, wurde die zunächst zu messende Reibungskraft auf Gleitreibungskraft konkretisiert.

Bei der nun Aufgabenstellung 7 zur Überprüfung des hydrostatischen Drucks und der Vernachlässigung dessen bei den beiden vorangegangenen Aufgabenstellungen wurde einerseits konkretisiert, dass diese Überprüfung durch Berechnung stattfinden soll, andererseits wurde der aerostatische Druck zu Gasdruck korrigiert, da der Vergleich zwischen hydrostatischem und Gasdruck durchgeführt werden soll.

Überprüfe rechnerisch, ob die Vernachlässigung des hydrostatischen Drucks in den Aufgaben 5. und 6. gerechtfertigt war, indem du den hydrostatischen Druck bei 5 ml Wasservolumen in der senkrecht gehaltenen Spritze mit dem Gasdruck im Spritzenzylinder vergleichst!

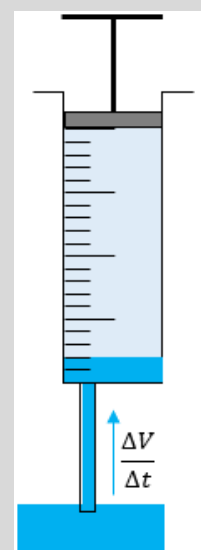
Beim Vertiefungsteil des Aufgabenblattes war den Testpersonen der Erprobung nicht ganz klar, was unter den Begriffen ‚laminare Strömung‘ und ‚Viskosität‘ zu verstehen ist (vgl. Kap. 5.2.3). Diese wurden in der Überarbeitung daher mit den in Klammer gesetzten Kommentaren ‚ohne Turbulenzen‘ beziehungsweise ‚Zähigkeit‘ versehen.

Den ersten beiden Aufgabenstellungen des Vertiefungsteils wurde angesichts der Verwirrung von Testperson B1 hierbei (vgl. Kap. 5.2.3) eine Skizze hinzugefügt, welche die intendierte Versuchsanordnung klarstellen sollte. Darüber hinaus wurde der Angabetext der ersteren der beiden Aufgabenstellungen leicht adaptiert, um ebenfalls mehr Klarheit zu schaffen.

Berechne den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ an Wasser durch die Kanüle, wenn sich ausschließlich Wasser im Spritzenzylinder befindet und der Spritzenkolben von 2 ml auf 20 ml aufgezogen wurde. Das Ende der Kanüle soll dabei in Wasser getaucht sein! (vgl. Abb. b.16)

[Vernachlässige dabei erneut den hydrostatischen Druck! Die Länge der Kanüle beträgt rund $l = 23 \text{ mm}$. Für den Innendurchmesser kann mit $d = 0,225 \text{ mm}$ gerechnet werden.]

Abb b.16: Skizze zur Versuchsanordnung bei den Aufgaben 9 und 10.



Da es auch zur letzten Aufgabenstellung einige Anregungen vonseiten der Testpersonen gab und um die Interpretation der drei Funktionsgraphen in gerichtete Bahnen zu lenken, wurden hierzu im Angabetext ein paar Analyseschwerpunkte gesetzt, sowie vier optionale Hilfestellungen erarbeitet. Der modifizierte Teil der Angabe lautet:

Zeichne alle drei Funktionen in GeoGebra und interpretiere sie!

Beachte bei der Interpretation insbesondere folgende Parameter:

- $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$: Steigungsverhalten, Nullstelle(n), $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h = 0)$
- $h(t)$: Steigungsverhalten, Nullstelle(n), Grenzwert
- $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$: Steigungsverhalten, Nullstelle(n), $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t = 0)$

[Tipp für GeoGebra: Kuvert Nr. b11-3]

[Falls du Probleme mit der Eingabe von $h(t)$ und $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$ hast: Kuvert Nr. b11-4]

Die zwei der vier ergänzten optionalen Hilfestellungen sollen bei der Aufstellung der Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ unterstützen:

Kuvert Nr. b11-1: Beachte, dass der Druckunterschied Δp nun nicht mehr konstant bleibt, da der hydrostatische Druck im Inneren mit wachsender Wassersäule zunimmt.

Kuvert Nr. b11-2: Um Δp auszudrücken, überlege dir den Druck am unteren und jenen am oberen Ende der Kanüle (vgl. Abb. b.8).

Kuvert Nr. b11-2 wurde außerdem die Abb. b.8 aus dem Lösungsvorschlag (vgl. Kap. 3.2.11) beigelegt. Die anderen beiden optionalen Hilfestellungen tragen den bei der Erprobung für Testperson B1 aufgetretenen Problemen mit GeoGebra (vgl. Kap. 5.2.1 u. 5.2.3) Rechnung. Erstere soll dabei unterstützen, den angezeigten Bereich des Grafikfensters in GeoGebra sinnvoll anzupassen:

Kuvert Nr. b11-3:

Solltest du in GeoGebra trotz korrekter Eingabe keinen sinnvollen Funktionsgraphen erkennen, musst du vermutlich noch die Achsen einzeln entsprechend skalieren. Überlege dir die physikalisch relevanten Intervalle der unabhängigen bzw. abhängigen Variablen und zoome auf der jeweiligen Achse in diesen Bereich.

Kuvert Nr. b11-4 enthält letztlich die fertigen Funktionsgraphen zu $h(t)$ und $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$ (siehe Abb. b.10 und b.11, Kap. 3.2.11) und kann entsprechend des Einwands von Testperson B1 bezüglich Lerneffektivität beim Eintragen dieser Funktionen in GeoGebra (vgl. Kap. 5.2.3) optional genutzt werden.

Schließlich wurde eine zwölfte Aufgabenstellung hinzugefügt, in welcher es darum geht, die gewonnenen physikalischen Erkenntnisse auf unterschiedliche Alltagssituationen anzuwenden. Da die beiden Testpersonen B1 und B2 sowohl die diesbezüglichen Diskussionen während der Erprobung als auch einzelne derart orientierte Fragen aus den Interviews als sehr spannend empfanden (vgl. Kap. 5.2.1 u. 5.2.3) sollen durch die ergänzte Aufgabenstellung Denkanstöße dazu gegeben werden. Die Überlegungen und Lösungen zu den hierbei inkludierten Unterfragen sollten am besten innerhalb der Arbeitsgruppe, sowie mit der betreuenden Lehrkraft diskutiert werden.

Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse

Solltest du den Vertiefungsteil des Aufgabenblattes überspringen wollen, kannst du Aufgabenstellung 12 schon jetzt bearbeiten. Anderenfalls komme erst nach Aufgabenstellung 11 hierher zurück!

Erkenntnisse aus den Aufgabenstellungen 1 bis 8:

- a) Welche Auswirkungen hat die veränderte Siedetemperatur auf das Kochen im Gebirge, wie zum Beispiel am Mount Everest?
- b) Auf welche Weise ändert sich die Luftdichte, wenn du mit einem Heißluftballon von Meeresniveau auf 10 km über diesem steigst? Was ist daher zu beachten?
- c) Auf welche Weise ändert sich die Wasserdichte, wenn du mit einem U-Boot von Meeresniveau auf 10 km Wassertiefe tauchst?

Erkenntnisse aus dem Vertiefungsteil:

- d) Konntest du aus den Graphen aus Aufgabe 11 herauslesen, um wieviel der hydrostatische Druck pro Meter beim Tauchen zunimmt? Welchem Gesamtdruck ist eine Taucherin oder ein Taucher in einer Wassertiefe von 30 m ausgesetzt? Wie tief, denkst du, könntest du ohne druckstabilisierende Hilfsmittel tauchen?
- e) Welche Erkenntnisse kannst du aus diesem Aufgabenblatt für die Verabreichung von Injektionen ziehen?
- f) Welche Erkenntnisse kannst du aus diesem Aufgabenblatt für die Verabreichung von Infusionen ziehen?

Lösungsvorschlag:

- a) U.a.: In einem herkömmlichen Reindl kann Wasser in flüssiger Form nur auf viel niedrigere Temperaturen gebracht werden. $\Rightarrow$ Speisen brauchen viel länger, bis sie durchgegart sind. Manche Keime und Bakterien können durch den Siedeprozess nicht abgetötet werden. Ein Druckkochtopf kann Abhilfe schaffen.
- b) Aufgrund der Kompressibilität von Gasen nimmt die Dichte der Atmosphäre mit der Höhe ab, wodurch auch die Auftriebskraft auf einen Heißluftballon entsprechend abnimmt.
- c) Aufgrund der Inkompressibilität von Flüssigkeiten bleibt die Wasserdichte und somit auch die Auftriebskraft auf ein U-Boot trotz steigendem Druck näherungsweise konstant.
- d) Die maximal zu erreichende Wassersäulenhöhe zeigt, dass der bis dahin dominant gewordene, hydrostatische Druck einer rund 10 m hohen Wassersäule (aufgerundet, da ja auch noch der Wassergasdruck wirkt) in etwa dem aerostatischen Luftdruck auf Höhe der Experimentdurchführung gleicht. Es lässt sich daher ableiten, dass der Druck etwa beim Tauchen um rund **1 atm** pro **10 m** Tauchtiefe ansteigt. $p_{ges}(h = -30\text{ m}) \approx \mathbf{4\text{ atm}}$, da der atmosphärische Luftdruck nicht vergessen werden darf.

- e) U.a.: Bei Injektionen spielt der Volumenstrom aus der Spritze eine wichtige Rolle. Zu hohe Werte können dabei zu einer übermäßigen, spontanen Druckerhöhung im Inneren des Blutgefäßes führen. Insbesondere bei Vorliegen einer Blutgefäßschwachstelle, etwa durch arterielle Nekrose (abgestorbenes Gewebe) oder Aneurysma (lokale Auswölbung eines Blutgefäßes), kann dies zu einer Verletzung des Blutgefäßes und zu inneren Blutungen führen. Wie sich anhand des Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes zeigt, kann der Volumenstrom jedoch durch geeignete Wahl des Kanüldurchmessers praktisch begrenzt werden. (Dabei sollte auch beachtet werden, dass dünnere Blutgefäße, sowie Venen aufgrund des regulären Blutdrucks, welchem sie ausgesetzt sind, dünnere Gefäßwände haben als herznahe Blutgefäße, sowie Arterien.)
- f) U.a.: Durch Variation der Aufhängenhöhe des Infusionsbeutels lässt sich der hydrostatische Druck an der Einstichstelle variieren. Dieser sollte stets etwas über dem lokalen Blutdruck liegen, um korrekt orientierte Fließgeschwindigkeit zu gewährleisten. Der Betrag des Volumenstroms entscheidet über die Verdünnungsrate der verabreichten Substanz im Blutkreislauf und kann ebenfalls durch Kanüldurchmesser und Aufhängenhöhe des Infusionsbeutels variiert werden. (Eine höhere Verdünnungsrate kann im Allgemeinen bei Verabreichung in eine Vene gewährleistet werden, da diese in Richtung Herz an Querschnittsfläche zulegen. Daher werden Infusionen meist in Venen verabreicht, was höhere Volumenströme zulässt und vor allem zu hohe lokale Konzentrationen und ggf. damit verbundene Reaktionen hemmt.)

Ebenso variiert der hydrostatische Blutdruck mit der Höhe der Einstichstelle in Relation zum Herzen. Daher ist es wichtig, ob die Patientin oder der Patient bei der Verabreichung etwa in das Armgelenk den Arm stehend nach oben hält, ihn in sitzender Position auf dem Schoß ablegt oder in liegender Position auf Herzhöhe neben sich liegen hat.

Typische Werte für besonders Interessierte:

- Arterieller Blutdruck in der Aorta: $P_A \approx 13,3 \text{ kPa}$ (siehe Klinker et.al., 2010).
- Zentralvenöser Blutdruck: $P_V \approx 0,4 \text{ kPa}$ (vgl. Klinker et.al., 2010).
- Vgl. hydrostatischer Druck pro m Höhendifferenz: $P_{Hyd} \approx 9,8 \text{ kPa}$
- „Die Amplitude des Druckpulses (= systolischer Blutdruck – diastolischer Blutdruck) beträgt beim gesunden Erwachsenen in körperlicher Ruhe etwa $40 \text{ mmHg} = 5,4 \text{ kPa}$ [...]“ (Klinker et.al., 2010).

Um wichtige Bestandteile der Aufgabenstellungen hervorzuheben, wurden am gesamten Aufgabenblatt letztlich noch etliche Begriffe unterstrichen, wie dies auch von Testperson B2 im Nachinterview vorgeschlagen wurde (vgl. Kap. 5.2.3).

6.3 Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag

An Aufgabenblatt C wurden im Zuge der Überarbeitung basierend auf Erprobung und Interviews folgende Änderungen vorgenommen:

Zur besseren Lesbarkeit und Fokussierung der Lernenden wie Lehrenden auf die Sachinhalte wurde die Schriftgröße für am Aufgabenblatt, sowie im Lösungsvorschlag enthaltene Literaturverweise herabgesetzt.

Aufgabenstellung 1 wurde um die optionalen Hilfestellungen c1-1 und c1-2 ergänzt. Sowohl bei der Erprobung (vgl. Kap. 5.3.1) als auch im Zuge der Interviews (vgl. Kap. 5.3.2) zeigten sich Schwierigkeiten bei der korrekten Zuordnung der Begriffe sinken, schweben, steigen und schwimmen. Darauf soll mit der optionalen Hilfestellung c1-1 eingegangen werden, wobei die darin enthaltene Schlüsselaufforderung auch bereits einen kleinen Hinweis darauf geben soll, dass Kräftegleichgewichte hier eine entscheidende Rolle spielen. Da die Testpersonen C1 und C2 in den Interviews beide der Vorstellung unterlagen, bei schwimmenden Körpern sei die Auftriebskraft größer als die Gravitationskraft und da eben diese Vorstellung auch bereits von Schecker et.al. (2018, S. 249) als verbreitet beschrieben wurde, soll auch dem implizit entgegen gewirkt werden, indem die eingezeichneten beziehungsweise eben nicht eingezeichneten Geschwindigkeitspfeile in Verbindung mit der Suche nach Kräftegleichgewichten zur Erkenntnis führen sollen, dass bei schwimmenden Körpern die Auftriebskraft stets gleich der Gravitationskraft auf den Körper ist. Dass daraus die finale Eintauchtiefe des schwimmenden Körpers resultiert, soll durch die weiterführende, optionale Hilfestellung c1-2 verdeutlicht werden, in welcher neben der Skizze nach dem jeweils verdrängten Wasser und der Änderung der Auftriebskraft gefragt wird. Als weiterer, nicht zu offensichtlicher Hinweis wurde in der Bildbeschreibung explizit auf das verdrängte Volumen hingewiesen. Darüber hinaus soll durch die vier eingezeichneten Schiffe mit unterschiedlichem Ladestand verdeutlicht werden, weshalb es eine maximale Beladungsmasse gibt und dass diese nicht vom Volumen der Steinblöcke, sondern von der Höhe des Schiffkörpers abhängt.

Tipp Nr. c1-1:

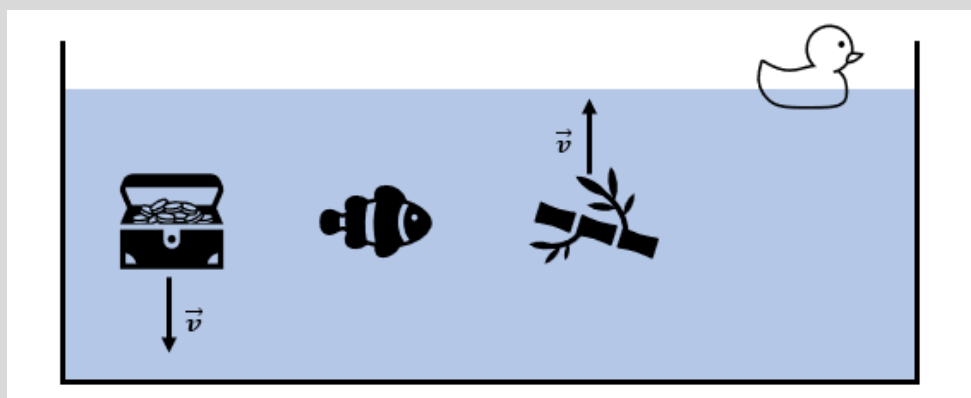


Abb. c.8: Sinkende, schwebende, steigende und schwimmende Körper in Fluiden.

Man sagt ein Körper in einem Fluid ...

sinkt,	wenn seine Höhe abnimmt.
schwebt,	wenn er völlig von dem Fluid umgeben ist und seine Höhe konstant bleibt.

steigt, wenn seine Höhe zunimmt.
schwimmt, wenn er zum Teil in das Fluid eintaucht, zum Teil darüber liegt und die Höhe konstant bleibt.

Überlege dir, in welchen dieser Fälle ein Kräftegleichgewicht herrscht.

Tipp Nr. c1-2:

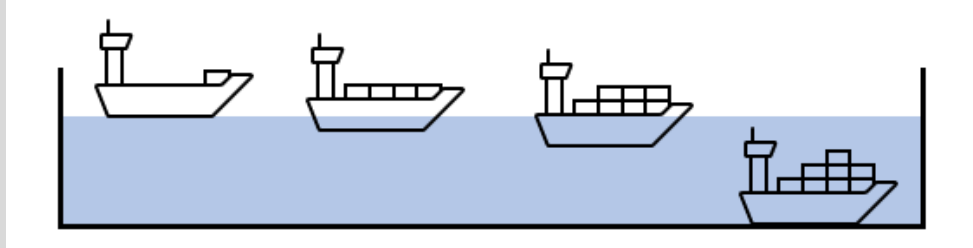


Abb. c.9: Verdrängtes Volumen und Auftriebskraft bei unterschiedlich stark beladenen Schiffen.

Überlege dir, wie viel Wasser jeweils verdrängt wird, wenn du zB ein schwimmendes Papierschiffchen mit immer mehr Masse belädst. Wie ändert sich dabei die Auftriebskraft?

Um den während der Erprobung aufgetretenen Verwirrungen bei der Prozentrechnung zur Aufgabenstellung 2a entgegenzuwirken, wurden einerseits die beiden Wörter ‚Prozent ändert‘ im Satz ‚Um wieviel Prozent ändert sich die [...] Kraft [...]‘ unterstrichen, als auch in Klammer ergänzt, was als Grundwert angenommen werden soll: ‚(Grundwert ist jeweils die benötigte Kraft für den Transport an die Basis.)‘.

Da die optionale Hilfestellung c2a während der Erprobung weder genutzt wurde noch sinnvoll erschien und auch in den Interviews mit den Testpersonen als nicht sehr hilfreich eingestuft wurde (vgl. Kap. 5.3.3), wurde diese in der überarbeiteten Version entfernt. Stattdessen wurde die Hilfestellung c2b1 zur Klärung des Begriffs der Hangabtriebskraft auf c2a1 umbenannt, bereits bei Aufgabenstellung 2a eingebunden und um eine Skizze zu den beteiligten Kraftvektoren ergänzt.

Tipp Nr. c2a1: $\text{Zugkraft} = \text{Hangabtriebskraft} + \text{Reibungskraft}$ $\vec{F}_Z = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_R$

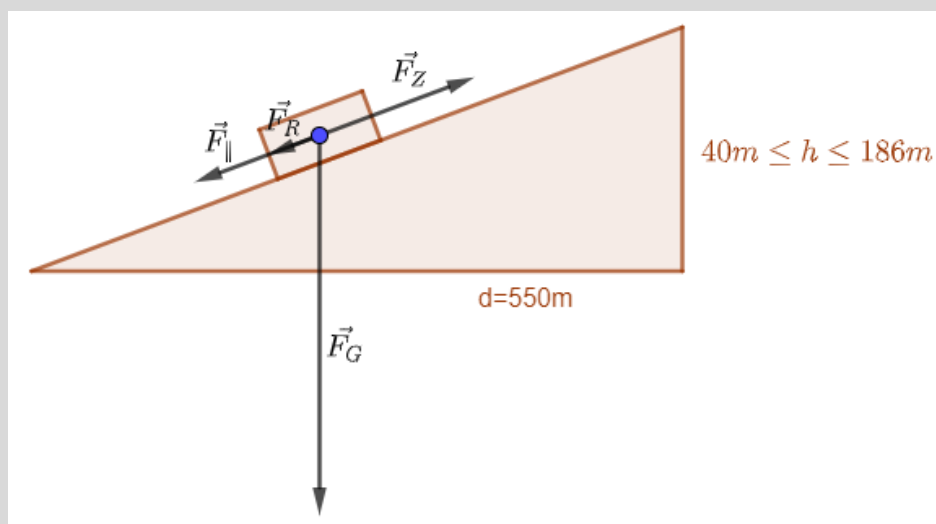


Abb. c.10: Kräfte bei der schiefen Ebene.

Tipp Nr. c2a2:

Versuche im skizzierten Kräfteparallelogramm ähnliche Dreiecke zu finden.

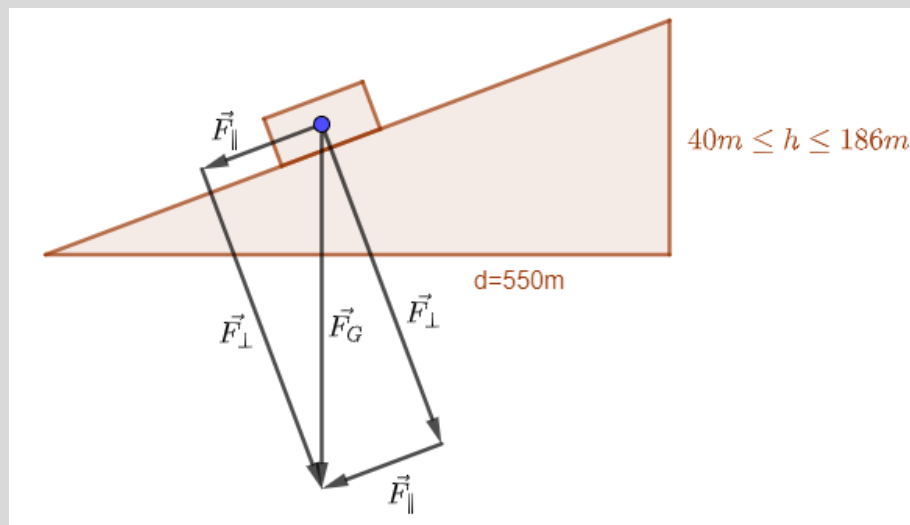


Abb. c.11: Kräfteparallelogramm bei der schiefen Ebene.

Als weitere optionale Hilfestellung c2a2 wurde außerdem eine erweiterte Skizze inklusive bereits eingezeichnetem Kräfteparallelogramm hinzugefügt und die Frage nach ähnlichen Dreiecken ergänzt, um die Aufgabenstellung auch jüngeren Schülerinnen und Schülern einfacher zugänglich zu machen (vgl. Kap. 5.3.1). Die Funktionsdarstellungen, welche man über den Ansatz mittels Satz des Pythagoras und Strahlensatz erhält, wurden daher auch im Lösungsvorschlag ergänzt. Die Hilfestellungen zu Aufgabe 2b wurden entsprechen neu nummeriert.

Aufgabenstellung 2b wurde dahingehend konkretisiert, dass in der überarbeiteten Version nun angegeben wurde, ob die gesuchte Gerüsthöhe von Hafen- oder Pyramidenfußniveau aus zu messen ist. Darüber hinaus wurde der Verweis auf die Nutzung von GeoGebra hier direkt in die Angabe übernommen und aus der optionalen Hilfestellung c2b1 (vormals c2b2) entfernt.

Auch die optionale Hilfestellung c2b2 (vormals c2b3) wurde dahingehend adaptiert, dass der Klammerzusatz ‚im für den Pyramidenbau relevanten Höhenintervall‘, wie in Kapitel 5.3.1 erörtert, entfernt wurde. An seiner statt wurde der Befehl ergänzt, mit welchem sich in GeoGebra ohne Kenntnisse über Differenzialrechnung der Hochpunkt einer Funktion ermitteln lässt. Damit soll wiederum auf die vermutlich noch nicht so ausgeprägten mathematischen Fähigkeiten jüngerer Schülerinnen und Schüler Rücksicht genommen werden.

Letztlich wurden der Aufgabenstellung 2b noch zwei weitere Fragepunkte hinzugefügt, welche sich während der Erprobung durch Testperson C2 ergaben (vgl. Kap. 5.3.1) und sich als sehr spannend erwiesen (vgl. Kap. 5.3.3). Die Aufgabenstellung lautet nun folgendermaßen.

2b. Angenommen, die Pyramide und mit ihr das Gerüst würden immer höher gebaut werden (bis über 1000 Meter). Gib an, bei welcher Gerüsthöhe über Hafenniveau die größte Zugkraft erforderlich wäre und welche Konsequenzen du daraus für den alltäglichen Einsatz von Rampen ziehst! Untersuche

auch, ob es für die Zugkraft bei immer höheren Gerüsten einen Grenzwert gibt und erkläre dessen Wert (sofern vorhanden) physikalisch!

[Nutze dafür GeoGebra. Als Reibungskoeffizient wird $\mu = 0,6$ angenommen (vgl. Müller, 2010, S. 115).]

[Tipps: Kuverts Nr. c2b1, c2b2]

Als Lösungsvorschlag für die beiden ergänzten Fragepunkte lässt sich Folgendes anbieten:

Es zeigt sich, dass die Beförderung von Materialien über eine Rampe aufgrund der Reibung nur bei geringen Steigungswinkeln gegenüber einer senkrechten Beförderung weniger Kraft benötigt. Ab welchem Steigungswinkel die bei einer Rampe benötigte Zugkraft die reine Gewichtskraft des zu transportierenden Körpers übersteigt, hängt vom Reibungskoeffizienten ab. Bei dem gegebenen Wert von $\mu = 0,6$ liegt dieser maximale Steigungswinkel bei rund 28° .

Für das Pyramidenbeispiel würde das bedeuten, dass die Rampe maximal bis zu einer Gerüsthöhe über Hafenniveau von rund 293 m und rein hinsichtlich der aufzuwendenden Kraft effizient wäre.

Der Grenzwert der Zugkraftfunktion entspricht der Gewichtskraft des Steinblocks.

Vor allem bei Aufgabenstellung 2c gab es während der Erprobung noch die größten Unklarheiten. Beiden Testpersonen war nicht wirklich klar, was sie bei dieser Aufgabenstellung genau tun sollten (vgl. Kap. 5.3.1). Aus diesem Grund wurde diese komplett überarbeitet und in zwei Teilfragen, eine qualitative und eine quantitative, aufgespalten.

2c. Friedrich Abitz (Archäologe, nicht Physiker) schrieb unter anderem zu dieser Rampenidee:

„Beispielhaft würde die Verlängerung des Transportweges um nur 1 m dem Kraftaufwand entsprechen, 1 Block von 2,5 t Gewicht über 2300 km zu schleppen.“ (Abitz, 1992, S. 65)

- i. Herr Abitz hat hier offenbar einige physikalische Begriffe komplett durcheinander gebracht. Erkläre, was an dieser Aussage alles physikalisch sinnlos ist und warum!
[Tipp: Kuvert Nr. c2c]
- ii. Angenommen Abitz meinte eine Verlängerung von d um 1 m. Berechne, welche Auswirkungen das auf die benötigte Zugkraft und die verrichtete Arbeit pro Block hätte!

Außerdem wurde eine optionale Hilfestellung (c2c) ergänzt, welche auf die hierbei relevanten physikalischen Größen sowie deren Einheiten verweist.

Tipp Nr. c2c:

Wenn du dir nicht mehr sicher bist, schlage nochmals die Begriffe Masse, Kraft, Gewicht, Kraftaufwand, Arbeit, Energie und Leistung nach. Welche Einheiten haben sie? Was bedeuten sie und inwiefern unterscheiden sie sich voneinander?

Somit wurde auch der Lösungsvorschlag entsprechend dieser Aufspaltung der Aufgabenstellung adaptiert und geringfügig erweitert:

- i. Einige der aus dem Zitat möglicherweise hervorgehende Aspekte, welche physikalisch gesehen sinnlos sind:
 - Siehe Kap. 3.3.2
- ii. Die erforderliche Zugkraft ergibt sich durch Einsetzen in die bereits bekannte Funktion.

$$|\vec{F}_Z|(d) = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g + \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g \cdot \mu$$

Der für die Berechnung der Arbeit benötigte Weg l ergibt sich aus:

$$l = \sqrt{d^2 + h^2}$$

Eine Verlängerung des horizontalen Transportweges um 1 m hätte die folgenden Auswirkungen auf die benötigte Zugkraft beziehungsweise die pro Steinblock zu verrichtende Arbeit:

- Für einen Basisstein:
 Zugkraft verringert sich von rund 16,624 kN auf rund 16,620 kN.
 Arbeit steigt von rund 8,769 MJ auf rund 8,782 MJ.
- Für den Schlussstein:
 Zugkraft verringert sich von rund 22,499 kN auf rund 22,487 kN.
 Arbeit steigt von rund 11,868 MJ auf rund 11,883 MJ.

Um bei Aufgabenstellung 3a mehr Sicherheit zu bieten, dass tatsächlich alle relevanten Größen geschätzt werden sollen, wurden die Wörter ‚alle Größen geschätzt‘ in der Angabe unterstrichen. Für hinsichtlich ihrer Schätzungen sehr unsichere Schülerinnen und Schüler wurde außerdem der Verweis ‚[Falls du dir mit deinen Schätzungen unsicher bist, findest du einen Tipp in Kuvert Nr. c3a]‘ ergänzt. Die somit neu ergänzte optionale Hilfestellung lautet folgendermaßen:

Tipp Nr. c3a:

Im Gegensatz zu früheren Annahmen geht man heute davon aus, dass die Pyramidenarbeiter keine Sklaven mit schlechten Arbeitsbedingungen waren, sondern ganz im Gegenteil ihrer Tätigkeit freiwillig nachgingen und dafür auch gut entlohnt wurden (vgl. Morell, 2001).

Überprüfe die von dir vorgenommenen Schätzungen und überlege, ob du die Arbeit unter den von dir getroffenen Annahmen selbst einen Tag lang schaffen würdest. Bedenke auch, welche Arbeitsschritte bei einem solchen Steintransport inklusive Be- und Entladung am zeitaufwändigsten gewesen sein könnten.

Letztlich wurde noch der Anmerkung von Testperson C2 Rechnung getragen, bei Aufgabenstellung 4d anzumerken, dass es hier keines vollständigen Beweises für die Annahme der expliziten Darstellung der Folge der Überhanglängen bedarf. Dies wurde ebenfalls in Form einer ergänzten, optionalen Hilfestellung getan.

Tipp Nr. c4d:

Nun wäre eine explizite Darstellung der Folge der Überhanglängen l_n hilfreich. Überprüfe, ob du eine solche aus deinen bisherigen Berechnungen erkennen kannst. Mathematisch korrekt beweisen brauchst du eine begründete Vermutung dazu hier nicht.

Im Anhang dieser Arbeit findet sich in überarbeiteter Version das vollständige Aufgabenblatt C (Kap. 10.3.5) inklusive aller optionaler Hilfestellungen (Kap. 10.3.6) und Lösungsvorschläge (Kap. 10.4.3).

7 Diskussion und Ausblick

Insgesamt hat sich die Wahl der Forschungsmethoden mit Interviews und Aufgabenerprobung, sowie deren konkrete Umsetzung als zielführend erwiesen, um die in Kap. 2.3 beschriebenen Forschungsfragen beantworten zu können und gezielte Überarbeitungsstrategien für die eingangs vorgestellten Aufgabenblätter zu extrahieren.

So kann Forschungsfrage Nr. 1 zur Verständlichkeit und Klarheit der Angabentexte nicht für alle Aufgabenstellungen positiv beantwortet werden. Einzelne Begriffe, wie etwa die Viskosität bei Aufgabenblatt B, waren den Testpersonen nicht hinlänglich vertraut, weshalb diese in der überarbeiteten Version kurz erklärt wurden. Je nach Länge und Komplexität der Aufgabenstellungen kam es bei einzelnen davon bei der Erprobung zu Situationen, in denen die Testperson nach anfänglichen qualitativen, inhaltlichen Überlegungen vergaß, was jeweils genau zu berechnen war. Um hier unterstützend einzugreifen, wurden zentrale Wörter der einzelnen Aufgabenstellungen hervorgehoben, indem diese unterstrichen oder fett gedruckt wurden. Bei einzelnen Aufgabenstellungen stellte sich auch heraus, dass diese mitunter aufgrund zu realitätsferner Annahmen von den Schülerinnen und Schülern nicht angenommen wurden, beziehungsweise für Verwirrung sorgten, worauf in der überarbeiteten Version besonderes Augenmerk gelegt wurde.

Ebenfalls lieferte die Erprobung wertvolle Erkenntnisse, welche es erlauben, für die einzelnen Aufgabenblätter grobe Einschätzungen zur durchschnittlichen Bearbeitungsdauer anzugeben (Forschungsfrage 2). Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass diese je nach Vorwissen und Kompetenzen der bearbeitenden Schülerinnen und Schüler deutlich variieren kann, insbesondere beim Einsatz in üblicherweise sehr leistungsheterogenen Physikolympiade-Vorbereitungskursen und mit dem Ziel möglichst individualisierter Förderung. Einen weiteren Unsicherheitsfaktor stellt es dar, dass die Aufgabenblätter im Zuge dieser Arbeit stets von einzelnen Testpersonen bearbeitet wurden. Eine Bearbeitung im Team könnte einerseits aufgrund mehrerer mitwirkender Personen schneller zu funktionellen Lösungsansätzen führen. Umgekehrt könnten jedoch auch längere, didaktisch wertvolle Diskussionen zu diversen Ideen der Gruppe, sowie die parallele Verfolgung diverser Ansätze zu längeren Bearbeitungszeiten führen. Gerade zweiteres wäre aus didaktischer Sicht durchaus wünschenswert, wobei hierfür vorauszusetzen ist, dass die einzelnen Gruppenmitglieder auf Augenhöhe gemeinsam forschen können und es nicht zur Dominanz einzelner kommt und Argumenten und Ideen anderer nicht der nötige Raum gegeben wird. Hier kommt also wiederum der Lehrkraft eine entscheidende Rolle zur Einschätzung solcher Gruppendynamiken zu. Gegebenenfalls kann diese der Situation entsprechend beispielsweise von Gruppen explizit fordern, Argumente und Ideen aller Gruppenmitglieder zu sammeln, zu diskutieren und zu jeder Idee festzuhalten, weshalb diese verworfen beziehungsweise weiterverfolgt wurde.

Aus der Erprobung ergab sich jedenfalls für das Aufgabenblatt A eine durchschnittliche Bearbeitungsdauer von etwas über 3 Unterrichtsstunden (siehe Kap. 4.2). Aufgrund der erweiterten Angabe durch die

Überarbeitung und insbesondere die damit umfangreicher angelegte Videoanalyse sollten dafür jedoch tendenziell 2 Doppelstunden eingeplant werden (vgl. Kap. 10.3.1). Die durchschnittliche Bearbeitungsdauer von Aufgabenblatt B lag bei der Erprobung bei rund 5 Unterrichtsstunden (siehe Kap. 4.2), wobei Testperson B2, welche hier eine deutlich kürzere Bearbeitungsdauer hatte, ein paar Aufgabenstellungen nicht explizit durchgerechnet, sondern nur qualitativ bearbeitet hat (vgl. Kap. 5.2.1). Ebenso für eine länger einzuplanende Bearbeitungsdauer spricht, dass in der überarbeiteten Version vor allem zwei zusätzliche Aufgabenstellungen mit mehreren Unterpunkten eingeführt wurden. Umgekehrt kann der Vertiefungsteil des Aufgabenblattes optional bearbeitet oder übersprungen werden. Auch die Ergänzung einiger optionaler Hilfestellungen, welche Arbeitsschritte ersparen können (vgl. Aufgabenstellung 11, Kap. 10.3.3) oder strukturiertere Lösungswege aufzeigen, können damit zu Zeitersparnis beitragen. Daher wird eine einzuberechnende Bearbeitungsdauer von 3 Doppelstunden empfohlen, wenn dabei auch Diskussionen mit der Lehrkraft Raum gegeben werden und kein Zeitdruck bestehen soll. Bei Aufgabenblatt C lag die Bearbeitungsdauer bei beiden Testpersonen ziemlich genau bei 2 Doppelstunden (vgl. Kap. 4.2), was angesichts dessen, dass es bei diesem Aufgabenblatt zu keinen größeren Änderungen im Zuge der Überarbeitung kam, sowie aufgrund der nun teils strukturierteren Formulierungen und zusätzlichen optionalen Hilfestellungen als gute Empfehlung herangezogen werden kann.

Die dritte Forschungsfrage dieser Arbeit fokussierte sich auf die Schwierigkeit der entwickelten Aufgabenblätter sowie auf die damit verbundene Motivation der Schülerinnen und Schüler. Grundsätzlich ging aus den Nachinterviews hinsichtlich der von Häußler et. al. beschriebenen Interessentypen betreffend physikalischer Aufgaben (vgl. Häußler et. al., 1996, S. 57-69) hervor, dass mit den Aufgabenblättern sowohl Schülerinnen und Schüler des Interessentyps A, also auch welche des Typs B (vgl. Kap. 2.2.2) angesprochen werden konnten. Aufgabenblatt A wurde dabei von den Testpersonen als eher einfach empfunden, klammert man die Aufgabenstellungen 2 und 3 aus, welche jedoch in Folge maßgeblich überarbeitet wurden. Vor allem das Experiment und die Analyse der Vorgänge bei diesem wurde von den Testpersonen als besonders spannend beschrieben, womit das Aufgabenblatt als motivierend angesehen und zu Übungs- und Anwendungszwecken eingesetzt werden kann. Aufgabenblatt B war laut Feedback das schwierigste der drei vorgestellten Blätter. Insbesondere für Testperson B2, welche eher an qualitativen Fragestellungen, denn an quantitativen Berechnungen Gefallen findet (vgl. Kap. 4.2) waren Aufgaben, deren Schwerpunkt beim Rechnen lag, teils weniger motivierend. Aufgrund des hinsichtlich Motivation sehr positiven Feedbacks zu den Erkenntnissen, welche die Schülerinnen und Schüler aus den Aufgabenstellungen ziehen konnten, wurden genau diese in der Überarbeitung stärker hervorgehoben beziehungsweise erweitert eingebaut (vgl. Kap. 5.2.3). Da das Aufgabenblatt von den Testpersonen jedoch auch schon vor dieser Überarbeitung und trotz der Schwierigkeit hinsichtlich Motivation als insgesamt sehr positiv beschrieben wurde, kann auch hier ein positives Resümee gezogen werden. Aufgabenblatt C wurde von beiden Testpersonen als angenehm fordernd und ihrem Niveau entsprechend beschrieben. Dies kann natürlich zwischen unterschiedlichen Schülerinnen und Schülern stark variieren, weshalb von der Lehrperson auch stets bedacht

werden sollte, welche Vorkenntnisse einzelne Physikolympiade-Vorbereitungskursteilnehmerinnen und -teilnehmer haben und welche Aufgaben für diese adäquat erscheinen. Darüber hinaus wurde von den Testpersonen bei diesem Aufgabenblatt ganz besonders betont, dass ihnen das Beispiel insbesondere aufgrund der Erkenntnisse zwischendurch (archäologische, geschichtliche, physikalische) besonders gut gefiel. Obwohl es als anspruchsvoll beschrieben wurde, führte gerade diese Verknüpfung mit anderen Fachbereichen zu großer Motivation bei den Testpersonen. Dies deckte sich daher optimal mit der Forderung von Friege et. al., dass insbesondere aufgrund der Freiwilligkeit der Teilnahme an den Kursen, Aufgabenstellungen weder zu schwer noch zu leicht sein und einen gewissen Reiz auf die Schülerinnen und Schüler ausüben sollten (vgl. Friege et. al., 2011). Vielleicht kann dies als Anstoß gesehen werden, für Physikolympiade-Vorbereitungskurse öfters auf derartige Aufgabenstellungen zu setzen und damit unterschiedliche Interessentypen anzusprechen, um deren Begabungen zu fördern. Dies könnte für Schülerinnen und Schüler mitunter spannender und motivierender sein als klassische Anwendungsaufgaben diverser Formeln aus der Formelsammlung. Weiter gedacht, könnte dies als Anlass gesehen werden, künftig tiefergehend über Möglichkeiten zu themenvernetzenden und fächerübergreifenden Unterricht im Allgemeinen nachzudenken. Die derzeit in Österreich noch begrenzt als Schulversuch in einigen Schulen etablierte NOVI (vgl. Kap. 2.1.3), in welcher genau dies möglich ist und seit Jahren mit großen Erfolgen umgesetzt wird, könnte ins Regelsystem übernommen werden und dabei nicht nur eben beschriebene Vorteile mit sich bringen.

Forschungsfrage 4 beschäftigte sich mit den optionalen Hilfestellungen zu einzelnen Aufgabenstellungen. Diese waren in der ursprünglichen Version der Aufgabenstellungen hauptsächlich bei Aufgabenblatt C vorgesehen. Die Erprobung zeigte, dass die Testpersonen diese teilweise in Anspruch nahmen, andere nicht nötig waren (vgl. Kap. 5.3.1). Obwohl einzelne Hilfestellungen sich dabei als nicht so hilfreich wie intendiert zeigten und entsprechend überarbeitet wurden, kamen die meisten gut an. Möglicherweise trugen auch sie dazu bei, dass Aufgabenblatt C von beiden Testpersonen als ihrem Niveau entsprechend empfunden wurde, da das Aufgabenniveau durch Inanspruchnahme einzelner Hilfestellungen quasi variiert werden konnte. Auf diese Weise kann also ohne zusätzliche Belastung für die Lehrkraft während des Unterrichts noch individueller auf die Vorkenntnisse und Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler eingegangen werden, womit ein wichtiger Schritt in Richtung der von Reichle (2004) vermehrt geforderten, individuellen Betreuung unterschiedlich begabter Schülerinnen und Schüler ressourcenschonend gesetzt werden kann.

Auch hinsichtlich der Motivation können positive Aspekte mit optionalen Hilfestellungen verbunden werden. Diese können einzelnen Schülerinnen und Schülern dabei helfen, bei für sie sehr schwierigen oder langwierigen Aufgaben schneller voranzukommen, während andere Schülerinnen und Schüler es möglicherweise vorziehen und den entsprechenden Ehrgeiz haben, diese nicht in Anspruch zu nehmen. So führten beispielsweise Lehmann und Jüling (2004) an, dass gerade hochbegabte Schülerinnen und Schüler oft bereit wären, sich selbständiger und tiefergehender mit schwierigeren Aufgabenstellungen zu beschäftigen als Gleichaltrige. Aus diesen Gründen wurden somit auch für die anderen beiden Aufgabenblätter derartige

optionale Hilfestellungen ergänzt (siehe Kap. 10.3.2 und 10.3.4), womit direkt zu Forschungsfrage Nr. 5 übergeleitet wurde. Ergänzt wurden in den Hilfestellungen, entsprechend den Erkenntnissen aus Kapitel 5, einige Skizzen und Diagramme, ebenso wie weiterführende Fragestellungen, Miniversuchs-Anleitungen sowie konzeptuelle Darstellungen als Unterstützung zur Konzeptentwicklung bei häufig unausgereiften Lernendenvorstellungen (vgl. Kap. 5.1.2, 5.2.2, 5.3.2). Dabei wurde jedoch versucht, zugleich nicht zu viele optionale Hilfestellungen anzubieten, welche dann mitunter für die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler keinen Nutzen mehr hätten. Wie Testperson B1 im Nachinterview anmerkte, sei es letztlich oftmals auch sinnvoller, einfach mit der betreuenden Lehrkraft in Konversation zu treten (vgl. Kap. 5.2.3).

Ob die Aufgabenstellungen ausreichend Freiheiten hinsichtlich möglicher Lösungswege bieten (Forschungsfrage Nr. 6), wie dies etwa von Reichle (2004) als wichtige Grundlage für den Lernprozess sowohl Hochbegabter und Begabter als auch anderer Schülerinnen und Schüler deklariert wurde, kann insgesamt betrachtet mit „Ja.“ beantwortet werden. Wie an mehreren Stellen in den Kapiteln 5.1.1, 5.2.1 und 5.3.1 angemerkt, fanden die Testpersonen bei diversen Aufgabenstellungen oft sehr unterschiedliche Herangehensweisen und Lösungswege. Beispiele dafür sind etwa Aufgabenblock 3 aus Aufgabenblatt C (siehe Kap. 10.3.5) oder Aufgabenstellung 6 aus Aufgabenblatt B (siehe Kap. 10.3.3). Bei manchen Aufgabenstellungen, etwa Nr. 3 aus Aufgabenblatt A (siehe Kap. 10.2.1) zeigte sich hingegen, dass hinsichtlich des Lösungswegs zu offene Fragestellungen auch zu Verwirrung führen können, wenngleich im Zuge der Erprobung sich etwa durch die Herangehensweise von Testperson A1 hier spannende neue Ansätze ergaben (vgl. Kap. 5.1.1), welche in der überarbeiteten Version aufgegriffen und vertieft wurden (siehe Kap. 10.3.1).

Zu Forschungsfrage Nr. 7 und der Entwicklung etwaiger Lernendenvorstellungen kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die Aufgabenstellungen jedenfalls Möglichkeiten zur Auseinandersetzung mit neuen beziehungsweise bekannten Themen bieten. Wie den Kapiteln 5.1.2, 5.2.2 und 5.3.2 zu entnehmen ist, konnten einige Lernendenvorstellungen anhand der durchgeführten Interviews offengelegt werden. Hinsichtlich deren Entwicklung über den Vergleich von Vor- und Nachinterviews sei festgehalten, dass im Zuge dieser Untersuchung nicht versucht wurde, diese durch weiterführende Maßnahmen abseits der Erprobung der Aufgabenblätter zu beeinflussen. Wichtig scheint es aber darauf hinzuweisen, welche diese sind und dass viele davon auch durch und bei der Erprobung selbst in Erscheinung traten. Dies ermöglicht es der Lehrkraft mit den jeweiligen Schülerinnen und Schülern explizit an diesen zu arbeiten. Die einzelnen Vorstellungen, sowie konkrete Vergleiche zu deren Entwicklung, wurden in den eben genannten Kapiteln eingehend dargelegt.

Obwohl die entwickelten Aufgabenstellungen anhand zahlreicher Erkenntnisse aus Erprobung und Interviews auf begründbare Weise adaptiert werden konnten, muss festgehalten werden, dass die Zahl der Testpersonen pandemiebedingt (COVID-19) nur sehr klein ausfallen konnte. Spannend wäre es daher noch gewesen, die Aufgabenstellungen von einer zweiten, größeren Testgruppe bearbeiten zu lassen, um abzugleichen, ob etwa festgestellte Verständnisschwierigkeiten zu konkreten Formulierungen auch bei anderen

Schülerinnen und Schülern aufgetreten wären. Ebenso wurden die Aufgabenblätter für eine Bearbeitung im Team konzipiert, was jedoch bei der durchgeführten Erprobung angesichts der Pandemieeindämmungsmaßnahmen nicht umsetzbar war. Eine Erprobung in Gruppen würde es jedoch erlauben, die Gruppendynamik zu beobachten und insbesondere zu untersuchen, ob und auf welche Weise intendierte Fachdiskussionen unter den Testpersonen entstehen, beziehungsweise verlaufen. Einige der im Anschluss an die Feldstudie vorgenommenen Adaptionen der Aufgabenstellungen beruhten auf der Erkenntnis, dass spezielle Absichten, wie etwa eine bestimmte Entwicklung konkreter Lernendenvorstellungen, im Zuge der Erprobung der ursprünglichen Version der Aufgaben nicht erreicht werden konnten. Ob die dahingehend vorgenommenen Änderungen und Ergänzungen, wie beispielsweise die Einführung einzelner, optionaler Hilfestellungen, diese Ziele nun tatsächlich besser erreichen können, bedürfte ebenfalls einer neuerlichen Erprobung der überarbeiteten Version. Hierbei wäre es überdies vorzuziehen, die aktuelle Fassung der Aufgabenblätter nicht nur einer größeren Gruppe von Testpersonen unterschiedlicher Schulstufen und mit divergenten Vorerfahrungen vorzulegen, welche wie intendiert in kleinen Gruppen zusammenarbeiten, sondern diese auch von unterschiedlichen Lehrkräften betreuen zu lassen, um etwaige Kompetenzentwicklungen durch die Bearbeitung nachweisbarer auf die Formulierungen der Aufgabenstellungen selbst beziehungsweise auf den Umgang der jeweiligen Lehrkraft mit diesen zurückführen zu können.

Drei abschließende Schlüsse beziehungsweise Ansätze für weiterführende Untersuchungen und mögliche Maßnahmen lassen sich festhalten: Zum einen soll die Frage in den Raum gestellt werden, ob eine Neustrukturierung des österreichischen Regelsystems für die AHS Oberstufe nach Vorbild der NOVI (Neue Oberstufe mit Verstärkter Individualisierung) nicht vielseitige Vorteile bringen könnte. Möglichkeiten der Begabungsförderung durch diese Form der Unterrichtsstruktur wurden aufgezeigt (vgl. Kap. 2.1.3), wobei fächerübergreifender Unterricht nur als eine von vielen vielversprechenden Möglichkeiten dadurch weiterführend ermöglicht würde. Obwohl Begabungsförderung nicht mit dem Ausbau von bestehender Leistungsbrillanz verwechselt werden darf (vgl. Ziegler, 2017, S. 18; Kap. 2.1), könnte die Motivation der Schülerinnen und Schüler sich durch die Arbeit an spezifischen Themen und Fragestellungen aus ihrer Lebenswelt, beleuchtet von unterschiedlichsten fachlichen Richtungen, tiefgehend zu beschäftigen, letztlich auch zu einer gesamtheitlichen Leistungssteigerung führen. Zweitens zeigten die Interessens- und Motivationschwerpunkte der Testpersonen, dass vor allem anwendungsorientierte Erkenntnisse aus der Aufgabenbearbeitung sowohl bei Schülerinnen und Schülern des Interessentyps A als auch jenen des Typs B besonders beliebt waren. Während quantitative Rechenaufgaben auf diesem Niveau nicht bei allen Schülerinnen und Schülern Euphorie auslösten, darf die Frage gestellt werden, ob gerade eine Förderung im Zuge einer freiwilligen Teilnahme an der unverbindlichen Übung Physikolympiade sich nicht in Bereichen auch stärker auf phänomenologische Aspekte, denn auf die formale Bearbeitung der geforderten Inhalte fokussieren darf. Möglicherweise können auf diese Weise noch mehr Schülerinnen und Schüler zunächst für die Physik begeistert und in weiterer Folge auch anderweitig ‚trainiert‘ werden. Letztlich wurde die große Bedeutung und Relevanz der Physikolympiade zur Begabungsförderung nicht nur hochleistender Schülerinnen und

Schüler, sondern vielmehr noch zur Entwicklung von Begabungen im MINT-Bereich, klar gezeigt. Auf Grundlage dessen bleibt zu hoffen, dass dieser wichtige Bereich der Begabungsförderung in einem Bereich, in welchem auch aus der Wirtschaft regelmäßig Wünsche zur fokussierteren Förderung geäußert werden, auch vonseiten der tragenden Schulinstitutionen bald auf verstärkte Unterstützung hoffen darf.

8 Literaturverzeichnis

- Abitz, F. (1992). *Der Bau der großen Pyramide mit einem Schrägaufzug*. In: Zeitschrift für Ägyptische Sprache, Vol.119(2), S. 61-82. Braunschweig: Akademie Verlag.
- Amelang, M.; Bartussek, D. (2001). *Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Berghold, F. (1948-Hrsg.); Brugger, H. (Hrsg.); Burtscher, M. (Hrsg.); Domej, W. (Hrsg.); Durrer, B. (Hrsg.); Fischer, R. (Hrsg.); Paal, P. (Hrsg.); Schaffert, W. (Hrsg.); Schobersberger, W. (Hrsg.); Sumann, G. (Hrsg.) (2019). *Alpin- und Höhenmedizin*. 2. Auflage. Berlin: Springer.
- Bloom, B. S. (1984). *The 2 sigma problem. The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring*. Educational Researcher 13, S. 3–16.
- Bos, W.; Lankes, E.-M.; Prenzel, M.; Schwippert, K.; Valtin, R.; Walther, G. (2003). *Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.
- Callahan, C. M.; Miller, E. M. (2005). *A child-responsive model of giftedness*. In: Sternberg, R. J.; Davidson, J. E. (Hrsg.). *Conceptions of giftedness*. 2. Auflage. Cambridge: Cambridge University Press, S. 38–51.
- Cavas, B.; Cavas, P. (2020). *Multiple Intelligences Theory – Howard Gardner*. In: Akpan, B.; Kennedy, T. J. (Editors). *Science Education in Theory and Practice – An Introductory Guide to Learning Theory*. Cham: Springer Nature Switzerland.
- Collin, C. (2008). *Chemie fürs Leben – neue Unterrichtskonzeptionen für chemische Aspekte im Naturwissenschaftsunterricht in der Orientierungsstufe und für den Chemieanfangsunterricht*. Dissertation. Rostock: Universität Rostock, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.
- Demtröder, W. (2008). *Experimentalphysik 1 – Mechanik und Wärme*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Demuth, R.; Rieck, K. (2005). *Schülervorstellungen aufgreifen – grundlegende Ideen entwickeln*. (überarbeitete Fassung). Publikation des Programms SINUS-Transfer Grundschule. Kiel: Leibnitz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) an der Universität Kiel.
- Duit, R. (1986). *Der Energiebegriff im Physikunterricht*. Habilitationsschrift. Kiel: Universität Kiel (IPN).

- Duit, R. (1991). *Zur Elementarisierung des Energiebegriffs*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 39, S. 12-19.
- Duit, R. (2007). *Energie: Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts*. In: Unterricht Physik, 18, Ausgabe 5/07, S. 4-7.
- Engel Clough, E.; Driver R. (1985). *What do children understand about pressure in fluids?* In: Research in Science & Technological Education, 3, S. 133-144.
- European Commission (2004). *Europe needs more scientists!* Brüssel: European Commission, Directorate-General for Research, High Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology in Europe. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_04_444 (zuletzt aufgerufen am 21.03.2021).
- Flynn, J. R. (1984). *The mean IQ of Americans - Massive gains 1932 to 1978*. Psychological Bulletin 95, S. 29-51.
- Fricke, W. (2017). *Mathematik verstehen Band 2 – Grundlagen für das Studium naturwissenschaftlicher und technischer Fächer*. 2. Auflage. Norderstedt: BoD – Books on Demand.
- Friege, G.; Mie, K.; Lind, G. (2011). *Physik mit Pfiff – Aufgaben aus Physikolympiaden*. Köln: AVD, Aulis Verlag.
- Gagné, F. (2005). *From noncompetence to exceptional talent – Exploring the range of academic achievement within and between grade levels*. Gifted Child Quarterly 49, S. 139-153.
- Gallagher, J. (1975). *Teaching the gifted child*. Boston.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind - The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Gardner, H. (1993). *Creative Minds*. New York: Basic Books.
- Geckeler, C.; Lind, G. (2002). *Physik zum Nachdenken – 100 Aufgaben aus dem Auswahlverfahren zur Internationalen Physikolympiade mit ausführlichen Lösungen*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Grotzinger, J.; Jordan, T. (2017). *Press/Siever Allgemeine Geologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Häußler, P.; Hoffmann, L.; Langheine, R.; Rost, J.; Sievers, K. (1996). *Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Physikunterricht*. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg. 2, Heft 3, S. 57-69.

- Hany, E. A. (1987). *Modelle und Strategien zur Identifikation hochbegabter Schüler*. Unveröffentlichte Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Hany, E. A.; Heller, K. A. (1992). *Förderung besonders befähigter Schüler in Baden-Württemberg. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung*. Bd. 15. Stuttgart: Ministerium für Kultus und Sport Baden-Württemberg.
- Harsch, N.; Barke, H.-D. (2009). *Fehlvorstellungen und Fachwissen zum Thema Energie*. In: SE Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen. Universität Münster.
- Hector-Seminar (2021). *Interner Bereich der Standorte*. <https://hector-seminar.de/interner-bereich/kurse-und-standorte> (zuletzt aufgerufen am 04.02.2021).
- Heinbokel, A. (1996). *Hochbegabte – Erkennen, Probleme, Lösungswege*. Münster: Lit.
- Heller, K. A.; Hany, E. A. (1986). *Identification, development and analysis of talented and gifted children in West Germany*. In: Heller, K. A.; Feldhusen, J. F. (Hrsg.). *Identifying and nurturing the gifted. An international perspective*. Bern: Huber, S. 67-82.
- Heller, K. A. (Hrsg.); Mönks, F. J. (Hrsg.) (2014). *Begabungsforschung + Begabtenförderung: der lange Weg zur Anerkennung – Schlüsseltexte 1916-2013*. Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Heller, K. A. (2009). *Der Beitrag des Hector-Seminars zur MINT-Talentförderung*. In: Heller, K. A. (Hrsg.). *Hector-Seminar – Ein wissenschaftlich evaluiertes Modell der Begabtenförderung im MINT-Bereich*. Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf, S. 3-40.
- Heller, K. A.; Perleth, C. (2009). *Talentsuche für das Förderprogramm „Hector-Seminar“*. In: Heller, K. A. (Hrsg.). *Hector-Seminar – Ein wissenschaftlich evaluiertes Modell der Begabtenförderung im MINT-Bereich*. Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf, S. 111-122.
- Heller, K. A.; Rindermann, H. (1999). *Hochbegabung, Motivation und Leistungsexzellenz – Aktuelle Forschungsbefunde zum achtjährigen Gymnasium in Baden-Württemberg*. In: Fitzner, T.; Stark, W.; Kagemacher, H.-P.; Müller, T. (Hrsg.). *Erkennen, Anerkennen und Fördern von Hochbegabten – vom Potenzial zur Leistung*. Stuttgart: Klett, S. 81-107.
- Hoffmann, L.; Häußler, P.; Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessensstudie Physik*. Kiel: IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Hollmann, W. (1925); Strüder, H. K. (1965). *Sportmedizin – Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin – mit 91 Tabellen*. 5. Auflage (2009). Stuttgart [u.a.]: Schattauer.

- Humboldt, W. (1767-1835); Flitner, A. (Hrsg.). *Werke in fünf Bänden – I – Schriften zur Anthropologie und Geschichte*. 3. (1995), gegenüber der 2. unveränderten Auflage (1980). Stuttgart: Cotta'sche Buchhandlung Nachfolger GmbH.
- IPhO (2021). *Statutes of the International Physics Olympiads*. URL: <https://www.ipho-new.org/statutes-syllabus/> (zuletzt aufgerufen am 22.03.2021).
- Jaumann, R.; Köhler, U.; Sohl, F.; Tirsch, D.; Pieth, S. (2018). *Expedition zu fremden Welten – 20 Milliarden Kilometer durch das Sonnensystem*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Jonen, A.; Möller, K.; Hardy, I. (2003). *Lernen als Veränderung von Konzepten – am Beispiel einer Untersuchung zum naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule*. In: Cech, D., Schwier, H.-J. (Hrsg.). *Bad Heilbrunn: Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht*, S. 93-108.
- Karmiloff-Smith, A.; Inhelder, B. (1976). *If you want to go ahead, get a theory*. In: *Cognition* 3, S. 195-212.
- Kauertz, A.; Löffler, P.; Fischer, H. E. (2015). *Physikaufgaben*. In: Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (Hrsg.). *Physikdidaktik*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Klinke, R.; Pape, H.-C.; Kurtz, A.; Silbernagl, S. (2010). *Physiologie*. 6. Auflage. Stuttgart: Thieme.
- Kosler, T. (2016). *Naturwissenschaftliche Bildung im Elementar- und Primarbereich. - Zum naturwissenschaftlichen Denken mit Kindern im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Krajewski, K.; Schneider, W. (2006). *Mathematische Vorläuferfertigkeiten im Vorschulalter und ihre Vorhersagekraft für die Mathematikleistungen bis zum Ende der Grundschulzeit*. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 53, S.246-262.
- Kulik, J. A. (1992). *An analysis on the research of ability grouping – Historical and contemporary perspectives*. Monograph of the National Research Center on the Gifted and Talented (Nr. 9204). Storrs: University of Connecticut.
- Lange, O. (1994). *Peter Petersens Jena-Plan als Konzept für Schulen in vielen Ländern – aber auch als Konzept für schulische Begabungsförderung?*. In: Drewelow, H.; Urban, K. K. (Hrsg.). *Begabungsförderung – eine europäische Perspektive*. Erziehungswissenschaftliche Beiträge, Heft 19. Rostock: Wissenschaftspublizistik Universität Rostock, S. 21-36.

- Lehmann, W.; Jüling, I. (2004). *Fördermöglichkeiten für besonders begabte Kinder und Jugendliche*. In: Reichle, B. (Hrsg.). *Hochbegabte Kinder*. Weinheim; Basel: Beltz Verlag, S.34-58.
- Lehrpläne (2019). Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen – BGBl. Nr. 88/1985 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 395/2019. Anl. 1. URL: <https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR40219812/NOR40219812.html>
- Lipsey, M. W.; Wilson, D. B. (1993). *The efficacy of psychological, educational, and behavioural treatment - Conformation from meta-analysis*. American Psychologist 48, S. 1181–1209.
- Lubinski, D.; Benbow, C. P.; Morelock, M. J. (2002). *Gender Differences in Engineering and the Physical Sciences Among the Gifted – An Inorganic-Organic Distinction*. In: Heller, K. A.; Mönks, F. J.; Sternberg, R. J.; Subotnik, R. F. (Eds.). *International Handbook of Giftedness and Talent*. 2nd ed. rev. reprint. Oxford: Pergamon Press; Amsterdam: Elsevier Science, S. 633-648.
- Marland, S., JR. (1972). *Education of the Gifted and Talented*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Mönks, F. J.; Ypenburg, I. H. (1993). *Unser Kind ist hochbegabt*. München: Ernst Reinhardt.
- Mönks, F. J. (1994). *Begabungsforschung und Begabungsförderung in internationaler Perspektive*. In: Bundesministerium für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten, Abt. I/4 (Hrsg.). *Visuelle Begabung – Diagnostik und Förderung*. Wien: Bundesministerium für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten, S. 21-33.
- Morell, V. (2001). *The pyramid builders*. In: National geographic, 2001-11, Vol.200 (5), S. 78. Washington: National Geographic Society.
- Müller, R. (2010). *Klassische Mechanik – Vom Weitsprung zum Marsflug*. 2. Auflage. Berlin, New York: De Gruyter.
- Müller-Römer, F. (2009). *Pyramidenbau im Alten Reich – Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden – Ein Beitrag zur Bautechnik im Alten Reich*. Dissertation. Überarbeitete Fassung. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Neufert, E. (1992). *Bauentwurfslehre*. Braunschweig: Vieweg.
- ÖPhO (2021). *Die ÖPhO*. URL: <http://www.physikolympiade.at/die-oepho> (zuletzt aufgerufen am 22.03.2021).

- Osthues, W.; Renn, J.; Schlimme, H. (2014). *Wissensgeschichte der Architektur. Band I: Vom Neolithikum bis zum Alten Orient*. Edition Open Access.
- Pfeifer, E.M. (2012). *Grundvorstellungen zu funktionalen Abhängigkeiten – eine exemplarische Realisierung mittels Lernpfad*. Diplomarbeit. Wien: Universität Wien.
- Prandtl, L.; Tietjens, O. (1931). *Hydro- und Aeromechanik: nach Vorlesungen von L. Prandtl: 2: Bewegung reibender Flüssigkeiten und technische Anwendungen*. Berlin: Springer.
- Prenzel, M.; Baumert, J.; Blum, W.; Lehmann, R.; Leutner, D.; Neubrand, M.; Pekrun, R.; Rolff, H. G.; Rost, J.; Schiefele, U. (2004). *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Prenzel, M.; Hillebrandt, D.; Schöps, K.; Knickmeier, K. (2006). *Evaluation des NaT-Working Programms der Robert Bosch Stiftung – Abschlussbericht*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Prenzel, M.; Schütte, K.; Walter, O. (2007). *Interesse an den Naturwissenschaften*. In: Prenzel, M.; Artelt, C.; Baumert, J.; Blum, W.; Hammann, M.; Klieme, E.; Pekrun, R. (Hrsg.): *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Münster: Waxmann, S. 107-124.
- Prenzel, M.; Reiss, K.; Hasselhorn, M. (2009). *Förderung der Kompetenzen von Kindern und Jugendlichen*. In: Milberg, J. (Hrsg.). *Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft . Beiträge zu den zentralen Handlungsfeldern*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Reichle, B. (2004). *Hochbegabte Kinder – Erkennen, fördern, problematische Entwicklungen verhindern*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Riles, W. (1979). *Principles, objectives and curricula for programs in the education of gifted and talented pupils. Kindergarten through grade twelve*. Sacramento/CA: California State Department of Education.
- Ross, K.; Law, E. (2003). *Children's naive ideas about melting and freezing*. In: The School Science Review; the ASE Journal for Science Education, Jahrgang 2003, Heft 311.
- Rost, D. H. (2000). *Grundlagen, Fragestellungen, Methode*. In: Rost, D.H. (Hrsg.). *Hochbegabte und hochleistende Jugendliche. Neue Ergebnisse aus dem Marburger Hochbegabtenprojekt*. Münster: Waxmann, S. 1-91.

- Salvin, R. E. (1987). *Ability grouping and student achievement in elementary schools – A best-evidence synthesis*. In: Review of Educational Research, 57, S. 292-336.
- Schecker, H. (1985). *Das Schülervorverständnis zur Mechanik - eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte*. Dissertation. Universität Bremen.
- Schecker, H. (2010). *Übersicht Schülervorstellungen Mechanik*. Universität Bremen. URL: http://www.idn.uni-bremen.de/schuelervorstellungen/material/Uebersicht_Schuelervorstellungen_Mechanik.pdf (zuletzt aufgerufen am 09.05.2020).
- Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht - Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schulpflichtgesetz (2017). Schulpflichtgesetz – BGBl. Nr. 76/1985 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 138/2017. *Beginn der allgemeinen Schulpflicht. § 2 (1)*. Wien: Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Sport. https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1985_76_0/1985_76_0.pdf
- SchUG (2018). Schulunterrichtsgesetz – BGBl. Nr. 472/1986 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 101/2018. *Begabungsförderung – Überspringen von Schulstufen. § 26 (3)*. Wien: Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Sport. https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1986_472_0/1986_472_0.pdf
- Seidel, T.; Prenzel, M.; Rimmele, R.; Dalehefte, I. M.; Herweg, C.; Kobarg, M.; Schwindt, K. (2006). *Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie*. In: Zeitschrift für Pädagogik 52, S. 798-821.
- Seidel, T.; Shavelson, R. J. (2007). *Teaching effectiveness research in the past decade – The role of theory and research design in disentangling metaanalysis results*. In: Review of Educational Research 77, No. 4, S. 454-499.
- Séré, M. G. (1982). *A study of some frameworks used by pupils aged 11 to 13 years in the interpretation of pressure*. In: European Journal of Science Education, 4, S. 299-309.
- Sexl; et.al. (1999). *Physik 1*. Wien: öbv et hpt GmbH & Co. KG.
- Sir-Karl-Popper-Schule (2021). *Aufnahme*. Wien. <https://www.popperschule.at/aufnahme/> (zuletzt aufgerufen am 04.02.2021).

- Sparfeldt, J. R.; Rost, D. H.; (2011). *Hochbegabte und hochleistende Jugendliche: Erfolgreiche Jugendliche!* In: Ittel, A.; Merkens, H.; Stecher, L. (Hrsg.). *Jahrbuch Jugendforschung*. 11. Ausgabe. Wiesbaden: Springer VS, S. 167-192.
- Statistik Austria (2020). *Österreich – Zahlen Daten Fakten*. 15. Auflage. Wien: Statistik Austria.
- Stavy, R.; Stachel, D. (1990). *Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, Jahrgang 27, Heft 3, S. 247-266.
- Stern, E. (1994). *A Microgenetic Longitudinal Study on the acquisition of word problem solving skills*. In: van Luit, J. (Ed.). *Research in Learning and Instruction of Mathematics in Kindergarten and Primary School*. Doetinchem; Rapallo: Graviant Publishing Company, S. 229-242.
- Stern, E. (1997). *Erwerb mathematischer Kompetenzen – Ergebnisse aus dem SCHOLASTIK-Projekt*. In: Weinert, F. E.; Helmke, A. (Hrsg.). *Entwicklung im Grundschulalter*. Weinheim: Psychologie Verlagsunion, S. 157-170.
- Stern, W. (1916). *Psychologische Begabungsforschung und Begabungsdiagnose*. In: Heller, K. A.; Mönks, F. J. (Hrsg.). *Begabungsforschung + Begabtenförderung: der lange Weg zur Anerkennung – Schlüsseltexte 1916-2013*. Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf, S. 21-35.
- Sternberg, R. J. (1993). *Procedures for identifying intellectual potential in the gifted: A perspective on alternative »metaphors of mind«*. In: Heller, K. A.; Mönks, F. J.; Passow, A. H. (Hrsg.). *International handbook of research and development of giftedness and talent*. Oxford: Pergamon.
- SFZ (2021). *SchülerInnen Forschungszentrum*. Wien: Universität Wien, Fakultät für Physik. URL: <https://physik.univie.ac.at/wissenstransfer/oeffentlichkeitsarbeit/schuelerinnen-forschungszentrum/> (zuletzt aufgerufen am 22.03.2021).
- Tomlinson-Keasey, C.; Little, T. D. (1990). *Predicting educational attainment, occupational achievement, intellectual skill and personal adjustment among gifted men and women*. In: *Journal of Educational Psychology*, 82, S. 442-455.
- Urban, K. K. (1992). *Begabungsförderung im Vorschulalter*. In: Hany, E. A.; Nickel, H. (Hrsg.). *Begabung und Hochbegabung. Theoretische Konzepte, empirische Befunde, praktische Konsequenzen*. Bern: Huber, S. 159-169.
- Urban, K. K. (1996). *Förderung besonderer Begabungen, Demokratischer Anspruch – Pädagogische Herausforderung*. Rodenberg: Klausur-Verlag.

- Vincenz, S. (2012). *Wie viel Prozent sind das?* Diplomarbeit. Wien: Universität Wien.
- Weerda, J. (1978). *Begriffe der Chemie und Physik in der Sprache der Kinder und Wissenschaften: Gegenüberstellung der Begriffsbildung; eine empirische Untersuchung*. Dissertation. Frankfurt am Main: Verlag Peter Lang GmbH.
- Weinert, F. E.; Helmke, A. (1997). *Entwicklung im Grundschulalter*. Weinheim: Psychologie Verlagsunion.
- Weinert, F. E. (1998). *Welche Schulen brauchen Hochbegabte?* In: BMW AG/Bayrisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.). Dokumentation. *Kongress Hochbegabtenförderung 15. Bis 16. Juli 1998 in München*. München: BMW AG, S. 157-174.
- Wiesner, H. (1994). *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik: Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Folgerungen*. In: Physik in der Schule, 32, S. 122-126.
- Wiesner, H.; Schecker, H.; Hopf, M. (Hrsg.) (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Köln: Aulis Verlag.
- Wilhelm, T.; Heuer, D. (2002). *Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung*. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 51, Nr. 7, S. 29-34.
- Wilhelm, T. (2007). *RLFB-Lehrerfortbildung: Schülervorstellungen im Physikunterricht*. Universität Würzburg. URL: <http://www.thomas-wilhelm.net/Vortraege/RLFB.pdf> (zuletzt aufgerufen am 09.05.2020).
- Winner, E. (1997). *Exceptionally high intelligence and schooling*. In: American Psychologist, 52 (10), S. 1070-1081.
- Wodzinski, R. (1999-1). *Neuere Konzepte zur Behandlung des Drucks in der Sekundarstufe I*. LMU München.
- Wodzinski, R. (1999-2). *Neuere Konzepte zur Behandlung des Drucks in der Sekundarstufe I*. Vortrag auf dem Erlanger Physik-Wochenende, 9. Oktober 1999.
- Young Science (2021). *Schülerinnen und Schüler an die Hochschulen*. Wien: OeAD-GmbH. <https://youngscience.at/de/angebote/schuelerinnen-an-die-hochschulen/> (zuletzt aufgerufen am 04.02.2021).
- Ziegler, A. (2006). *The PACE model of gifted education*. In: Aziz, A. (Hrsg.): *Nurturing giftedness? The grounding of bright future*. Jeddah, KSA: Abdulaziz Foundation, S. 1–8.

Ziegler, A. (2017). *Hochbegabung*. München: Ernst Reinhardt Verlag.

Ziegler, A.; Raul, T. (2000). *Myth and reality – A review of empirical studies on giftedness*. In: High Ability Studies, Vol. 11, Iss. 2. Abingdon.

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Modell der Hochbegabung - intrinsische und extrinsische Faktoren. (Rekonstruiert aus Mönks & Ypenberg, 1993).	6
Abb. 2.2:	Sieben verschiedene Intelligenzen nach Howard Gardner. (vgl. Gardner, 1983; Cavas, 2020). (Grafik selbst erstellt).	9
Abb. a.1:	Skizze: Versuchsaufbau zu Omas Lieblingshäferl.	51, 183, 198
Abb. a.2:	Skizze zur Position der Mutter zum Zeitpunkt, ab welchem eine deutliche Bremsbeschleunigung des Häferls zu beobachten ist.	54
Abb. a.3:	Skizzenvorlage zur Messdateneintragung.	133, 200
Abb. a.4:	Skizze mit eingetragenen Messdaten zu den Zeitpunkten t_0 und t_2 .	219
Abb. a.5:	xy-Diagramm – waagrechter Wurf der Mutter.	138, 221
Abb. b.0:	Spritze. Verändert von janjf93 via pixabay. URL: https://pixabay.com/de/vectors/spritze-heilmittel-medikament-1712511/ , zuletzt aufgerufen am 10.05.2020.	185, 202
Abb. b.1:	Phasendiagramm von Wasser. Verändert in https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Phase_diagram_of_water.svg , zuletzt aufgerufen am 04.03.2020, nach Chaplin, M. (2000-2020). Water structure and science. London: London South Bank University.	188
Abb. b.2:	Geschwindigkeitsverteilung laminarer Strömungen im Rohr. Verändert nach Schlichting, H.; Gersten, K. (2006). Grenzschicht-Theorie: mit 22 Tabellen. 10. Überarbeitete Auflage. Berlin (u.a.): Springer.	70, 186, 204
Abb. b.3:	Phasendiagramm von Wasser. Die gelben Linienmarkierungen erlauben ein Auslesen des Siededrucks p_1 von Wasser bei einer Temperatur von $T_{W1} \approx 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Verändert nach Chaplin, 2000-2020).	64
Abb. b.4:	Kräftegleichgewicht am Spritzenkolben.	65, 224

Abb. b.5:	Aufbau zur Messung der Gleitreibungskraft zwischen Spritzenkolben und Zylinder.	66, 224
Abb. b.6:	Skizze zum hydrostatischen Druck im Spritzenzylinder.	67, 225
Abb. b.7:	Phasendiagramm von Wasser. Die gelben Linienmarkierungen erlauben ein Auslesen der Siedetemperatur T_{GG} , die grünen Linien der Siedetemperatur T_{ME} . (Verändert nach Chaplin, 2000-2020).	69
Abb. b.8:	Skizze zu den Druckverhältnissen bei idealisierter Spritze mit Kanüle.	77, 208, 227
Abb. b.9:	Funktion des Volumenstroms in Abhängigkeit von der Wassersäulenhöhe $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$, ausgewertet mit GeoGebra.	77, 228
Abb. b.10:	Funktion $h(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.	77, 208, 228
Abb. b.11:	Funktion $h'(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.	78, 208, 229
Abb. b.12:	Phasendiagramm von Wasser. Druck auf logarithmischer Skala. Die römischen Zahlen markieren Bereiche unterschiedlicher Eisphasen. (Verändert nach https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_diagram#/media/File:Phase_diagram_of_water.svg , zuletzt aufgerufen am 04.03.2020, nach Chaplin, 2000-2020).	206
Abb. b.13:	Phasendiagramm von Wasser. Die gelben Linienmarkierungen erlauben ein Auslesen des Siededruckes p_1 von Wasser bei einer Temperatur von $T_{W1} \approx 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Verändert nach Chaplin, 2000-2020).	223
Abb. b.14:	Phasendiagramm von Wasser. Die gelben Linienmarkierungen erlauben ein Auslesen der Siedetemperatur T_{GG} , die grünen Linien der Siedetemperatur T_{ME} . (Verändert nach Chaplin, 2000-2020).	226
Abb. b.15:	Aerostatischer Druck am Beispiel von Silbergas.	141, 207
Abb. b.16:	Skizze zur Versuchsanordnung bei den Aufgaben 9 und 10.	142, 204
Abb. c.1:	Angenommene Maße für ein Steintransportschiff.	79, 193, 212

Abb. c.2:	Skizze zur Hafenrampe für den Steintransport vom Nil bis zum Pyramidengerüst. Die Steinblöcke werden über eine immer steiler gebaute Rampe vom Hafen bis auf ihre endgültige Höhe am Gerüst gezogen.	81, 194, 213
Abb. c.3:	Schematische Darstellung eines Schrägaufzugs. Nach Vorlage von Abitz, F. (1992). Der Bau der großen Pyramide mit einem Schrägaufzug. In: Zeitschrift für Ägyptische Sprache, Vol.119(2). Braunschweig: Akademie Verlag. S. 67.	86, 195, 214
Abb. c.4:	Konstruktion zum Ansatz der „verkehrten Pyramide“. Erstellt mit GeoGebra.	88, 196, 215
Abb. c.5:	Schwerpunktsuche bei gestapelten Blöcken mit Nomenklatur. Erstellt mit GeoGebra.	90, 197, 218
Abb. c.6:	Konstruktion zum Kräfteparallelogramm beim Aufzug von Steinblöcken über die Hafenrampe. Erstellt mit GeoGebra.	82, 231
Abb. c.7:	Funktionsgraphen zur Hangabtriebskraft, Reibungskraft und Zugkraft mit Auswertung betreffend Stelle des Maximums. Erstellt mit GeoGebra.	84, 233
Abb. c.8:	Sinkende, schwebende, steigende und schwimmende Körper in Fluiden.	146, 216
Abb. c.9:	Verdrängtes Volumen und Auftriebskraft bei unterschiedlich stark beladenen Schiffen.	147, 216
Abb. c.10:	Kräfte bei der schiefen Ebene.	147, 217
Abb. c.11:	Kräfteparallelogramm bei der schiefen Ebene.	148, 217

10 Anhang

10.1 Didaktische Analysen

10.1.1 Did. Analyse – Omas Lieblingshäferl

SCHLÜSSELBEGRIFFE:

1. Freier Fall, potentielle Energie, kinetische Energie, Energieerhaltung, Gravitationskraft, Fadenpendel, Schwingungen, Reibungskraft, gedämpfter freier Fall
2. Slow Motion, Videoanalyse
3. Geschwindigkeit
4. –
5. Waagrecht Wurf, Anfangsgeschwindigkeit, Unabhängigkeitsprinzip
6. Modellierung in der Physik, Abschätzung von Fehlern durch Vereinfachungen
7. Pendeluhr, Rückkopplung, Amplitude

Verortung im KOMPETENZMODELL für die AHS Oberstufe (vgl. Lehrpläne, 2019):

Aufgabe	Kompetenzbereich	Komplexität
1.	W, E	Refl. u. Probl.lös.
2.	E	Repro. u. Trans.
3.	E	Refl. u. Probl.lös.
4.	W	Repro. u. Trans.
5.	W	Repro. u. Trans.
6.	E	Refl. u. Probl.lös.
7.	W	Refl. u. Probl.lös.

ELEMENTARE GRUNDIDEEN:

- In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie stets erhalten.
- Die erforderliche bzw. verfügbare potentielle Energie eines Körpers ist proportional zur überwundenen Höhendifferenz, sowie der Masse des Körpers.
- Die kinetische Energie eines Körpers ist proportional zum Quadrat seines Tempos hinsichtlich des gewählten Bezugssystems.

- Beim ungedämpften freien Fall nimmt der zurückgelegte Weg mit dem Quadrat der Falldauer zu.
- Kommt es beim freien Fall zu Reibungseffekten, so spricht man von einem gedämpften freien Fall.
- Das Tempo eines Körpers entspricht dem Betrag des zugehörigen Geschwindigkeitsvektors.
- Ohne Einwirkung einer äußeren Kraft bewegt sich ein Körper geradlinig gleichförmig.
- Bewegungen in unterschiedlichen Richtungen sind unabhängig voneinander.

Bekannte LERNENDENVORSTELLUNGEN zu diesen Gebieten:

Tempo und Geschwindigkeit:

- Geschwindigkeit wird mit Tempo verwechselt und als skalare Größe gesehen (Betrag der Geschwindigkeit, ohne Richtung) (vgl. Schecker, 1985, S. 254).
- Durchschnittstempo $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ wird mit Momentantempo gleichgesetzt. Ort und Zeitpunkt werden mit Weg und Zeitdifferenz verwechselt (vgl. Wilhelm, 2002).
- Es gibt keine negativen Geschwindigkeiten (vgl. Wilhelm, 2002).
- „Das 1. Axiom gilt auf der Erde nicht, sondern nur irgendwo im Weltall.“ (Schecker, 2010)

Bewegung und Kraft, Kreisbewegung:

- „Dominanz der Zentrifugalkraft: Bei Drehbewegungen wirkt immer eine nach außen ziehende Zentrifugalkraft, unabhängig vom Bezugssystem.“ (Wiesner, 2011)
- Beibehalten von Bewegungsmustern: zB. Ein rotierender Körper ohne Führung „behält einen Teil der ihm eingeprägten Kreisbewegung bei.“ (Wiesner, 2011)
- „Zum Aufrechterhalten einer Bewegung bedarf es immer einer Kraft.“ (Schecker, 2010)
- „ $F = m \cdot a$ ist eine Formel, mit der man Kräfte ausrechnet.“ (Schecker, 2010)
- „Körper bewegen sich in Richtung der angreifenden Kraft“ (Wiesner, 2011, S. 39).
- „Beschleunigung heißt schneller werden.“ (Wiesner, 2011, S. 38) Eine Änderung der Bewegungsrichtung ist keine Beschleunigung (vgl. Wiesner, 2011, S. 38).
- ‚Bewegungskräfte‘ werden vektoriell mit echten physikalischen Kräften im Kräfteparallelogramm addiert. (vgl. Schecker et.al., 2018, S.74)

Energie:

- Energie ist „eine Art von Substanz oder [ein] besonderer Stoff“. (Demuth, 2005, S. 7)
- Energie kann erzeugt und verbraucht werden (vgl. Harsch, 2009).
- Die physikalischen Begriffe Kraft und Energie werden von Schülerinnen und Schülern nicht klar unterschieden (Duit, 1991 & 2007).

- Der Energiebegriff wird vor allem dem Bereich Elektrizität zugeordnet (vgl. Duit, 1986).

Etwaige INTERESSEN DER LERNENDEN, welche durch die Aufgabenstellungen angesprochen werden könnten:

Technik:

Pendeluhren, Videoanalyse, Slow Motion Aufnahmen

Sport und Bewegung:

waagrecht Wurf von Bällen

10.1.2 Did. Analyse – Einer Ärztin täglich Brot

SCHLÜSSELBEGRIFFE:

1. Temperatur, Druck, atmosphärischer Luftdruck, Inkompressibilität von Flüssigkeiten
2. Volumen, Koexistenz mehrerer Phasen, Siededruck, Gasdruck, Inkompressibilität von Flüssigkeiten
3. Phasendiagramm, sieden, Siedepunkt, Siedekurve, hydrostatischer Druck, allgemeine Gasgleichung, Boltzmann-Konstante, Avogadro-Konstante, Stoffmenge, molare Masse, Dichte,
4. Kraft, Kräftegleichgewicht, Kreisfläche, Zylindervolumen
5. Reibungskraft, Gleitreibung, Gewichtskraft, Erdbeschleunigung
6. hydrostatischer Druck, Messungenauigkeit
7. aerostatischer Luftdruck
8. Stromstärke bei Flüssigkeiten, Strömungswiderstand, Volumenstrom, laminare Strömung, Viskosität, Hagen-Poiseuillesches Gesetz, Druckunterschied
9. relativer Fehler, Geschwindigkeit, Zeitintervall
10. Funktionsbegriff, funktionale Abhängigkeit, Tempo, Anstieg, asymptotisches Verhalten, Schnittpunkt, Nullstelle, Exponentialfunktionen, (Differentialgleichung, Ableitung, unbestimmtes Integral, Trennung der Variablen, homogene und inhomogene Diffgl., partielle Lösung, Nebenbedingung)

Verortung im KOMPETENZMODELL für die AHS Oberstufe (vgl. Lehrpläne, 2019):

Aufgabe	Kompetenzbereich	Komplexität
1.	E	Repro. u. Trans.
2.	W, E	Repro. u. Trans.
3.	W, E	Refl. u. Probl.lös.
4.	E	Repro. u. Trans.
5.	W, E	Refl. u. Probl.lös.
6.	W, E	Refl. u. Probl.lös.
7.	E, S	Repro. u. Trans.
8.	W, S	Repro. u. Trans.
9.	W, S	Repro. u. Trans.
10.	E	Refl. u. Probl.lös.
11.	W, E	Refl. u. Probl.lös.

ELEMENTARE GRUNDIDEEN:

- Die Siedetemperatur eines Stoffes ist abhängig vom herrschenden Druck.

- Ein Phasendiagramm zeigt die temperaturabhängigen Druckbereiche, in welchen ein Stoff in einer bestimmten Phase vorliegt.
- Die Siedekurve gibt für jede Temperatur (bei der dies möglich ist) an, bei welchem Druck ein Stoff sowohl in flüssiger als auch in gasförmiger Phase vorliegen kann.
- In einem abgeschlossenen Ein-Stoff-System, in welchem der Stoff in flüssiger und gasförmiger Phase koexistiert, entspricht der Gasdruck stets dem Siededruck bei der entsprechenden Temperatur des Stoffes.
- Der Druck ist eine skalare Größe und somit unabhängig von der Richtung.
- Flüssigkeiten sind quasi inkompressibel, Gase nicht.
- Wirkt eine Kraft $\neq \vec{0}$ auf einen Körper, so wird dieser beschleunigt.
- Um die Beschleunigung eines Körpers zu stoppen, muss ein Kräftegleichgewicht hergestellt werden. Bzw. ein Körper ohne äußere Krafteinwirkung bewegt sich geradlinig gleichförmig.
- Ein Kräftegleichgewicht herrscht für einen Körper, wenn die vektorielle Summe aller auf ihn wirkenden Kräfte $\vec{0}$ ergibt.
- Druck ist gleich Kraft pro Flächeninhalt.
- Bei einem mit idealem Gas gefüllten Gefäß rührt der Druck von der Kraft der Gasteilchen, welche diese aufgrund ihrer kinetischen Energie beim Abprallen an der Gefäßwand auf diese ausüben => Allgemeine Gasgleichung: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T = N \cdot k \cdot T$.
- Die Reibungskraft zwischen zwei Körpern ist stets der Relativbewegung entgegengesetzt gerichtet.
- Die Haftreibungskraft ist stets größer der Gleitreibungskraft.
- Der hydrostatische Druck am unteren Ende einer Wassersäule nimmt mit der Höhe dieser Säule näherungsweise linear zu. Er entspricht der Gewichtskraft pro Flächeneinheit der Flüssigkeit direkt über einer Fläche auf diese Fläche.
- Der aerostatische Druck der Erdatmosphäre berechnet sich an sich wie der hydrostatische Druck. Jedoch kann die Variabilität der Dichte der Luft in Abhängigkeit vom Abstand zum Erdmasseschwerpunkt nicht mehr vernachlässigt werden und man hat es mit theoretisch unendlich hohen Gassäulen zu tun. Aus dem linearen Zusammenhang wie beim hydrostatischen Druck wird daher eine Exponentialfunktion.
- Die Viskosität (Zähflüssigkeit) eines Fluids ist ein Maß für dessen innere Reibung.
- Wie die elektrische Stromstärke den zeitlichen Ladungsfluss angibt, kann die Stromstärke von Fluiden (z.B. der Strom Donau) als zeitlicher Massefluss gesehen werden.

- Ebenso gibt der Volumenstrom an, wieviel Volumen eines Fluids pro Zeiteinheit durch eine bestimmte Fläche fließt.
- Eine Funktion $y(x)$ ordnet jedem x -Wert einen entsprechenden y -Wert zu.

Bekannte LERNENDENVORSTELLUNGEN zu diesen Gebieten:

Tempo und Geschwindigkeit:

- Geschwindigkeit wird mit Tempo verwechselt und als skalare Größe gesehen (Betrag der Geschwindigkeit, ohne Richtung) (vgl. Schecker, 1985, S. 254).
- Durchschnittstempo $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ wird mit Momentantempo gleichgesetzt. Ort und Zeitpunkt werden mit Weg und Zeitdifferenz verwechselt (vgl. Wilhelm, 2002).

Bewegung und Kraft:

- „Zum Aufrechterhalten einer Bewegung bedarf es immer einer Kraft.“ (Schecker, 2010)
- „Ist die Summe der einwirkenden Kräfte null, bewegt sich der Körper nicht (Übergeneralisierung des statischen Kräftegleichgewichts).“ (Wiesner, 2011)
- Damit sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit bewegen kann, muss die angreifende Kraft größer sein als die Reibungskraft (vgl. Wiesner, 1994).

Kräfte:

- „Kraft wird als Eigenschaft eines Körpers angesehen und nicht als Wechselwirkungsgröße“ (Wiesner, 2011, S. 38). „Körper, bewegen sich, weil sie eine Kraft gespeichert haben.“ (Schecker, 2010)
- Diese Kraft „kann auf einen anderen Körper übertragen werden.“ (Wiesner, 2011, S. 38) (vgl. Schecker, 2010)
- „Nur aktive Körper (Lebewesen, Maschinen, gespannte Federn) können eine Kraft ausüben.“ (Schecker, 2010) „Passive Körper leisten allenfalls einen Widerstand, sie können aber keine richtige Kraft ausüben.“ (Schecker, 2010) (vgl. Wiesner, 2011, S. 39)

Wärmelehre:

- Wärme wird als Zustandsgröße – bzw. als Zustand des Warmseins interpretiert (vgl. Wilhelm, 2007).
- Später wird Wärme oft als Energie und als etwas Speicherbares gesehen (vgl. Wilhelm, 2007).
- Temperatur wird hingegen nicht zur Beschreibung des Zustands eines Körpers genutzt (Wilhelm, 2007).

Zustandsformen:

- „Schülerinnen und Schüler nehmen [die drei] Zustandsformen [(fest, flüssig, gasförmig)] zunächst getrennt wahr, d.h. es gibt für sie Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase, die kaum etwas miteinander zu tun haben.“ (Collin, 2008, S. 8)
- „Außer Wasser gibt es im Alltag der Schülerinnen und Schüler kaum einen Stoff, welcher in allen drei Zustandsformen auftritt.“ (Collin, 2008, S. 8)
- Viele Schülerinnen und Schüler verbinden mit dem Begriff „Gas“ eher Eigenschaften wie brennbar, explosiv und giftig, anstatt ihn als Aggregatzustand zu deuten (Weerden, 1978, S. 73).
- Die Umkehrbarkeit von Aggregatzustandsänderungen ist nur teilweise gegeben (vgl. Stavy, 1990).
- Stoffe hören auf zu existieren, sobald sie verdampfen oder sublimieren (vgl. Stavy, 1990).
- Viele Schülerinnen und Schüler sind der Meinung, dass sich im Zuge einer Aggregatzustandsänderung die Masse des Stoffes ändert (vgl. Stavy, 1990, sowie Ross, 2003, S. 100).

Teilchenmodell:

- „Teilchen- und Kontinuumsvorstellungen werden vermischt.“ (Wilhelm, 2007)
- „Auch in der Mikrowelt dominieren makroskopische Denkweisen. Eigenschaften makroskopischer Körper werden auf die submikroskopischen Modellobjekte übertragen.“ (Wilhelm, 2007)
- „Die kleinsten Teilchen haben Eigenschaften makroskopischer Körper wie Temperatur, Farbe, Geruch, Form und Konsistenz“ (Wilhelm, 2007).
- „Zwischen den Teilchen eines Stoffes befindet sich Luft (wie auch zwischen Kern und Elektron und im interstellaren Raum) (Luft ist nichts und dort ist nichts, also Luft).“ (Wilhelm, 2007)
- „Die Eigenbewegung der Teilchen hört wegen der Reibung von alleine auf (oder wird erst gar nicht gesehen).“ (Wilhelm, 2007)
- „Zwischen den Teilchen befindet sich der selbe Stoff in kontinuierlicher Form (z.B. Wasser zwischen den Wasserteilchen).“ (Wilhelm, 2007)

Druck:

- Druck wird als „gerichtete Einwirkung auf einen Körper“ gesehen (Alltag) (Wilhelm, 2007).
- „Schülerinnen und Schüler beschreiben Druckphänomene über Bewegungen und nicht über Druckzustände.“ (Wodzinski, 1999-2)
- „Ein Gas, das sich in Ruhe befindet, übt nach Schüleransicht keine Kraft aus.“ Dies tue nur ein Gas, das sich bewegt (Wodzinski, 1999-2).
- „Luft unter atmosphärischem Luftdruck ist normal, d.h. übt keine Kraft aus.“ (Wodzinski, 1999-1 nach Séré, 1982)

- „Unterdruck (Vakuum) saugt.“ (Wodzinski, 1999-1 nach Séré, 1982)
- Flüssigkeiten drücken „stärker nach unten als zur Seite.“ (Wodzinski, 1999-1 nach Engel Clough, 1985)
- „Der Druck hängt vom Gesamtvolumen des Gefäßes ab.“ (Wodzinski, 1999-1 nach Engel Clough, 1985)

Etwaige INTERESSEN DER LERNENDEN, welche durch die Aufgabenstellungen angesprochen werden könnten:

Natur und Umwelt:

Schwimmbase bei Fischen, Druckempfindlichkeit von Lebewesen mit Lebensräumen auf unterschiedlichen Höhen bzw. Wassertiefen

Technik:

Druckkochtopf

Geschichte und Gesellschaft:

Kochen bei Bergvölkern

Sport und Bewegung:

Hydrostatischer Druck beim Tauchen, Aerostatischer Druck beim Wandern bzw. Bergsteigen

Gesundheit und Medizin:

Verabreichen von Injektionen, hydrostatischer Druck bei Infusionen

10.1.3 Did. Analyse – Pharao für einen Tag

SCHLÜSSELBEGRIFFE:

1. Prisma, Masse, Gewichtskraft, Dichte, Volumenverdrängung, Auftriebskraft
- 2a. Kräfteparallelogramm, Normalkraft, Parallelkraft bzw. Hangabtriebskraft, Reibungskraft, Steigungswinkel, Prozentrechnung
- 2b. Zugkraft, Reibungskoeffizient, Funktionsbegriff, Hochpunkt
- 2c. Masse vs. Gewicht, Arbeit, potentielle Energie
3. Seilzug, Kalorien, Erdbeschleunigung
4. Massenschwerpunkt, labiles Gleichgewicht, Folgen und Reihen, rekursive Schreibweise

Verortung im KOMPETENZMODELL für die AHS Oberstufe (vgl. Lehrpläne, 2019):

Aufgabe	Kompetenzbereich	Komplexität
1.	W	Repro. u. Trans.
2a.	W, E	Refl. u. Probl.lös.
2b.	W, E, S	Refl. u. Probl.lös.
2c.	W, S	Refl. u. Probl.lös.
3.	W, E, S	Refl. u. Probl.lös.
4.	W, E, S	Refl. u. Probl.lös.

ELEMENTARE GRUNDIDEEN:

- Die Auftriebskraft auf einen Festkörper in einem Fluid entspricht der Gewichtskraft des vom Festkörper verdrängten Fluids.
- Kraft ist eine vektorielle Größe.
- Jede Kraft kann in beliebig viele wirkende Teilkräfte zerlegt werden, solange die Summe aller Teilkräfte wieder der ursprünglichen Kraft entspricht.
- Die Hangabtriebskraft auf einen Körper auf der schiefen Ebene ist die Normalprojektion der Gewichtskraft des Körpers auf die schiefe Ebene.
- Die Reibungskraft zwischen zwei Körpern ist stets der Relativbewegung entgegengesetzt gerichtet.
- Die Reibungskraft beim Zug eines Körpers über eine schiefe Ebene ist proportional zur Normalkraft aus der Gewichtskraft. Der Proportionalitätsfaktor wird Reibungskoeffizient genannt und kann Werte zwischen 0 und 1 haben.

- Grundvorstellung zur Prozentrechnung: Eine Größe A wird um x % vermehrt, wenn für das Ergebnis E gilt: $E = A + \frac{x}{100} \cdot A. \Rightarrow x = \left(\frac{E}{A} - 1\right) \cdot 100$. (vgl. Vincenz 2012, S.57)
- Die erforderliche Zugkraft, um einen Körper über eine schiefe Ebene hinaufzuziehen, ist die Summe aus Hangabtriebskraft und Gleitreibungskraft.
- Grundvorstellungen zum Funktionsbegriff: insb. Zuordnungsvorstellung und Objektvorstellung (vgl. Pfeifer 2012, S.23-28).
- Als Gewicht oder Gewichtskraft bezeichnet man die Gravitationskraft, die auf einen Körper in der Umgebung einer Masse (meist Erde) aufgrund seiner eignen Masse wirkt.
- Die verrichtete Arbeit entspricht dem Produkt aus dem Weg entlang welchem eine Kraft wirkte und der zum Weg parallelen Komponente dieser Kraft.
- Bei einem Seilzug wird ein Gleichgewicht zweier Massen, welche über ein Seil um eine Rolle miteinander verbunden sind, hergestellt. Dadurch bedarf es nur noch eines minimalen Zusatzgewichtes, um das das Kräftegleichgewicht zu Gunsten einer der Seiten zu verändern und diese absinken zu lassen, während die andere Masse steigt.
- Der Masseschwerpunkt eines Körpers ist jener Punkt, an welchem man sich die gesamte Masse des Körpers vereint vorstellen kann.
- Setzt eine Kraft am Masseschwerpunkt eines Körpers an, so führt dies zu einer reinen Translationsbeschleunigung ohne Rotationsbeschleunigung.
- Unterstützt man einen Körper im Schwerfeld der Erde unter seinem Masseschwerpunkt, so kann der Körper im labilen Gleichgewicht gehalten werden.

Bekannte LERNENDENVORSTELLUNGEN zu diesen Gebieten:

Bewegung und Kraft:

- „Körper bewegen sich in Richtung der angreifenden Kraft“ (Wiesner, 2011, S. 39).
- „Ist die Summe der einwirkenden Kräfte null, bewegt sich der Körper nicht (Übergeneralisierung des statischen Kräftegleichgewichts).“ (Wiesner, 2011)
- Damit sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit bewegen kann, muss die angreifende Kraft größer sein als die Reibungskraft (vgl. Wiesner, 1994).
- ‚Bewegungskräfte‘ werden vektoriell mit echten physikalischen Kräften im Kräfteparallelogramm addiert (vgl. Schecker et.al., 2018, S.74).

Kräfte:

- „Kraft wird als Eigenschaft eines Körpers angesehen und nicht als Wechselwirkungsgröße“ (Wiesner, 2011, S. 38). „Körper, bewegen sich, weil sie eine Kraft gespeichert haben.“ (Schecker, 2010)
- Diese Kraft „kann auf einen anderen Körper übertragen werden.“ (Wiesner, 2011, S. 38) (vgl. Schecker, 2010)
- „Nur aktive Körper (Lebewesen, Maschinen, gespannte Federn) können eine Kraft ausüben.“ (Schecker, 2010) „Passive Körper leisten allenfalls einen Widerstand, sie können aber keine richtige Kraft ausüben.“ (Schecker, 2010) (vgl. Wiesner, 2011, S. 39)
- Die Begriffe Masse und Gewicht werden verwechselt (vgl. Kosler, 2016).

Arbeit und Energie:

- Arbeit sind all jene geistigen oder körperlichen Betätigungen, die Ermüdungserscheinungen zur Folge haben (vgl. Sexl, 1999).
- Energie ist „eine Art von Substanz oder [ein] besonderer Stoff“. (Demuth, 2005, S. 7)
- Energie kann erzeugt und verbraucht werden (vgl. Harsch, 2009).
- Die physikalischen Begriffe Kraft und Energie werden von Schülerinnen und Schülern nicht klar unterschieden (Duit, 1991 & 2007).
- Ein Zusammenhang zwischen den beiden physikalischen Begriffen Energie und Arbeit wird von Schülerinnen und Schülern nur selten gesehen (Duit, 1986).
- Der Energiebegriff wird vor allem dem Bereich Elektrizität zugeordnet (vgl. Duit, 1986).

Auftrieb:

- „Alles was schwer ist, geht unter, alles was leicht ist schwimmt.“ (vgl. Jonen, 2003)
- „Alles, was Löcher hat, geht unter, alles, was flach ist, schwimmt.“ (vgl. Jonen, 2003)
- „Alle Sachen in denen Luft ist schwimmen, weil Wasser und Luft sich nicht vertragen.“ (vgl. Jonen, 2003)
- „Bei einem schwimmenden Körpern [ist] die Auftriebskraft größer [] als die Gewichtskraft.“ (Schecker et.al., 2018, S. 249)

Schwerpunkt:

- Der Masseschwerpunkt wird mit dem geometrischen Mittelpunkt gleichgesetzt (vgl. Karmiloff-Smith et.al., 1976).
- Eine Wippe funktioniert gut, wenn links und rechts des ‚Auflagepunktes‘ gleich viele Kinder oder Lebewesen sitzen (Schecker et.al., 2018, S. 245f).

Etwaige INTERESSEN DER LERNENDEN, welche durch die Aufgabenstellungen angesprochen werden könnten:

Technik:

Auftrieb bei Schiffen, Rampenbauten zur Minderung des erforderlichen Kraftaufwands, Aufzugstechnik

Geschichte und Gesellschaft:

Pyramidenbau in Ägypten und anderen Orten der Welt, Arbeitsalltag im alten Ägypten

Gesundheit und Ernährung:

Energiehaushalt des Menschen

Kunst, Mode und Ästhetik:

Formen von Pyramiden in diversen Kulturen und Epochen

10.2 Aufgabenblätter – erprobte Version

10.2.1 Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl

OMAS LIEBLINGSHÄFERL

Drehe diese Anleitung NICHT um, bevor du nicht diese Seite vollständig gelesen und den hier beschriebenen Versuch durchgeführt hast!

Oma hat uns für dieses Experiment ausnahmsweise ihr Lieblingshäferl geborgt. Gehe daher bitte sorgsam damit um und achte darauf, es nicht fallen zu lassen oder mit etwas daran anzustoßen (außer wenn es im Versuch explizit erwünscht ist.)

Bevor du loslegst, vergewissere dich, wo Schaufel und Besen zu finden sind und achte stets auf die Sicherheit von dir und anderen im Labor!

Versuch:

Polstere die Schachtel rundum und vor allem die Grundfläche gut (mit Polstern bzw. Verpackungsmaterial) aus.

Halte die Stativstange mit deiner stärkeren Hand waagrecht in einer Höhe von $1,3\text{m}$ über dem Boden' direkt über die gepolsterte Schachtel. Hänge Omas Lieblingshäferl, wie in Abb. a.1 dargestellt, um die Stange und halte es am Ende der Schnur an der Mutter mit deiner anderen Hand gut fest. Ziehe das Häferl soweit hoch, dass die rote Markierung auf der Schnur gerade die Stange berührt. Was auch immer passiert, halte die Stange gut fest und immer waagrecht auf selber Höhe. Lass nun die Mutter los.

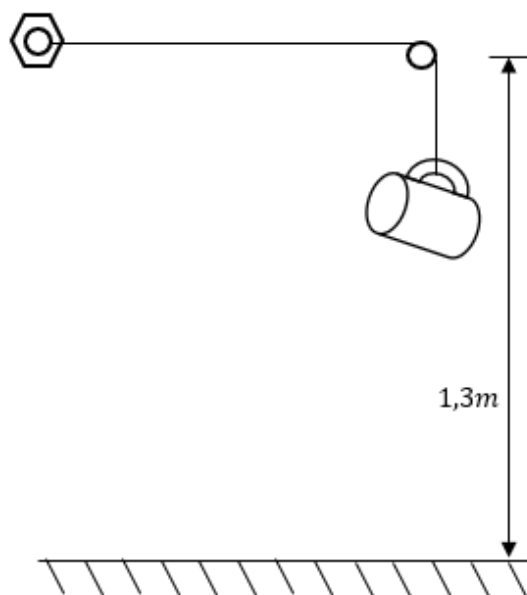


Abb. a.1: Versuchsaufbau

Wenn du den Versuch durchgeführt hast, drehe die Anleitung um.

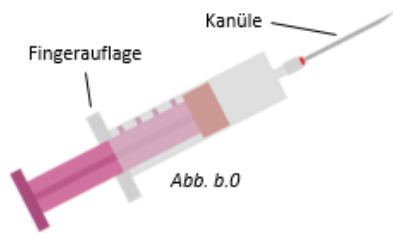
Materialien:

- Kartonbox
- Polster oder Verpackungsmaterial
- Keramikhäferl mit einer Schnur mit einer Mutter verbunden
- Stativstange
- Maßband
- Maßstab
- Laborwaage
- Eigenes Handy mit Slow-Motion-Video-Aufnahmefunktion

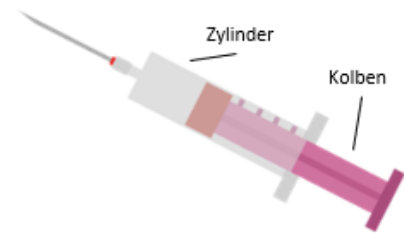
Aufgabenstellungen:

1. Wieso geht das? Was passiert da? Überlegt gemeinsam und besprecht eure Ideen. Haltet eure Überlegungen (qualitativ, noch nicht rechnen) schriftlich fest.
2. Wiederholt das Experiment und nehmt es mittels Handy in Slow Motion auf. Fertigt eine Skizze vom Aufbau zu dem Zeitpunkt an, ab welchem das Häferl seine Höhe kaum mehr verändert. Besonders interessant ist dabei die Position (Winkel) der Mutter, sowie die Höhe des Häferls zu diesem Zeitpunkt. (Ein Maßstab könnte bei dieser Videoanalyse sehr nützlich sein.)
3. Bestimmt die Geschwindigkeit der Mutter zu jenem Zeitpunkt, zu dem sie sich erstmals direkt unterhalb der Stativstange befindet unter der Annahme, dass das Häferl zu diesem Zeitpunkt abrupt (Reibung) stehen bleibt.
(Sollte eure Analyse aus Punkt 2 ergeben haben, dass das Häferl seine Position noch verändert, während die Mutter sich erstmals unterhalb der Stange befindet, könnt ihr von einem freien, ungedämpften Fall des Häferls bis hier-hin ausgehen.)
4. Angenommen, die Reibung würde zu diesem Zeitpunkt (aus Frage 3) schlagartig groß genug werden, um das Häferl zum Stillstand zu bringen. Würde die Mutter den Salto dann dennoch schaffen? Rechnet nach!
5. Katapult: Stellt euch vor, die Mutter würde zu diesem Zeitpunkt (aus Frage 3) den Kontakt zum Seil verlieren („losgelassen werden“). Wie weit (waagrechte Entfernung) würde die Mutter fliegen, bevor sie den Boden berührt?
6. Welche Vereinfachungen wurden bei obigen Berechnungen angenommen? Wie sinnvoll schätzt ihr diese ein? Haltet eure Überlegungen schriftlich fest.
7. Vergleicht dieses Experiment mit der Funktionsweise einer Pendeluhr. Welche Ähnlichkeiten könnt ihr feststellen? Welche Unterschiede gibt es? Haltet eure Überlegungen schriftlich fest.

10.2.2 Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot



EINER ÄRZTIN TÄGLICH BROT



Bei dieser Versuchsreihe dreht sich alles um Spritzen – aber keine Angst, es wird nicht weh tun. Du erhältst für die Versuche folgende

Materialien:

- 1 Spritze (20 ml)
- 1 Kanüle (0,45 x 23) mm
- 1 Becherglas ($V \geq 100 \text{ ml}$)
- 1 Alkoholthermometer
- 1 Stoppuhr
- 2 Holzblöcke
- Massestücke nach Bedarf
- ggf. 1 Leihhandy mit der App phyphox
- 1 Geo-Dreieck
- Laptop od. PC mit GeoGebra
- weitere Materialien nach Bedarf

Aufgabenstellungen:

1. Stelle dir etwas Wasser aus der Wasserleitung bereit. Miss und notiere nun folgende, wichtige Versuchsbedingungen: Wassertemperatur, Raumtemperatur, Luftdruck (mit der Handyapp phyphox).
2. Befülle die Spritze mit ausschließlich 5 ml flüssigem Wasser bei aktuellem Luftdruck. (Achte darauf, dass keine Luft eingeschlossen ist.) Verschließe nun den Spritzenzylinder mit deinem Finger und ziehe kräftig am Spritzenkolben. Halte deine Beobachtungen zur Flüssigkeit im Zylinder fest! Beschreibe auch, was sich im Zylinder befindet und wie sich das Volumen des flüssigen Wassers darin ändert!
3. Nutze das Phasendiagramm in Abb. b.1, um den Gasdruck im Inneren des Spritzenvolumens zu eruieren. Für eine Expansion von anfänglich ausschließlich 5 ml flüssigen Wassers im Spritzenzylinder auf insgesamt 20 ml Innenvolumen berechne, um wieviel sich die Masse des flüssigen Wassers dabei verringert und um wieviel die Höhe der Wassersäule im Spritzenzylinder bei senkrecht gehaltener Spritze dabei abnimmt!
4. Gib die Kraft an, welche du aufbringen musst, um den Kolben in Aufgabe 3. bei 20 ml Innenvolumen zu halten!
[Vernachlässige den hydrostatischen Druck bei den Aufgaben 4. und 5.!]
5. Überlege dir ein Experiment, mit welchem du die Reibungskraft zwischen Spritzenzylinder und Spritzenkolben näherungsweise messen kannst. Führe die Messung durch und gib die Gesamtkraft an, welche mindestens nötig ist, um das Innenvolumen der Spritze wie in Aufgabe 3. auf 20 ml zu erhöhen!
6. Überprüfe, ob die Vernachlässigung des hydrostatischen Drucks in den Aufgaben 4. und 5. gerechtfertigt war, indem du den hydrostatischen Druck bei 5 ml Wasservolumen in der senkrecht gehaltenen Spritze mit dem atmosphärischen Druck vergleichst!
7. Der höchste Gipfel Österreichs, der Großglockner, liegt auf ca. 3798 m über Meeresniveau (Statistik Austria, 2020). Bei welcher Temperatur siedet Wasser am Großglockner? Vergleiche dein Ergebnis mit der Siedetemperatur am Mount Everest auf einer Höhe von rund 8848 m (vgl. Berghold, 2019).
[Gehe von einem durchschnittlichen Luftdruck $p_0 \approx 100.000 \text{ Pa}$ und einer Luftdichte von $\rho_0 \approx 1,2041 \text{ kg/m}^3$ auf Meeresniveau aus (vgl. Fricke, 2017).]

Vertiefung:

Meist arbeiten Ärztinnen jedoch mit Spritzen inklusive sogenannter Kanülen (dünne Metall-Hohlzylinder, umgangssprachlich Nadel). Oft werden dabei zunächst flüssige Substanzen durch die Kanüle in die Spritze aufgesogen und anschließend wiederum durch die Kanüle in Venen oder Muskel des menschlichen Körpers gespritzt.

Wie sich durch Aufsetzen der Kanüle auf die Spritze und neuerlichem Einsaugen bzw. Ausspritzen von Wasser durch die Kanüle leicht feststellen lässt, stellt die enge Kanüle einen erheblichen Widerstand für die Stromstärke (bzw. Fließgeschwindigkeit) des Wassers dar. Probiere dies nun selbst aus!

Die Geschwindigkeit des Wassers durch ein Rohr ist nicht für alle Moleküle gleich. Für geringe Fließgeschwindigkeiten kann sie als „laminare Strömung“ beschrieben werden. Dabei bewegen sich die Teilchen am Rohr aufgrund der größeren Reibung langsamer als jene in der Mitte des Rohres (siehe Abb. b.2).



Abb. b.2: Geschwindigkeitsverteilung laminarer Strömungen im Rohr (verändert nach Schlichting, 2006).

Das Hagen-Poiseuillesche Gesetz (b.1) beschreibt für solche laminaren Strömungen einer Flüssigkeit mit Viskosität η durch ein Rohr der Länge l und mit Innenradius r den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ durch das Rohr in Abhängigkeit vom Druckunterschied Δp zwischen den beiden Enden des Rohres.

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Dabei fließt die Flüssigkeit pro Zeiteinheit $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ natürlich stets vom Ende höheren Drucks zum Ende niedrigeren Drucks (vgl. Prandtl, 1931).

Tabelle b.1: Viskosität einiger Flüssigkeiten und Gase bei $T = 20^\circ \text{C}$. (verändert nach Demtröder 2008, S. 240)

Stoff	η in $[\text{mPa} \cdot \text{s}]$
Luft (10^5 Pa)	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Helium (10^5 Pa)	$1,9 \cdot 10^{-2}$
Benzol	0,65
Wasser	1,002
Ethanol	1,20
Quecksilber	1,55
Schweröl	660
Glyzerin	1480,0

Aufgabenstellungen:

- Berechne den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ an Wasser durch die Kanüle, wenn man bei einer mit 2 ml Wasser gefüllten Spritze mit Kanüle das Spritzenvolumen plötzlich auf 20 ml erhöht und das Ende der Kanüle in Wasser getaucht ist!
[Vernachlässige dabei erneut den hydrostatischen Druck! Die Länge der Kanüle beträgt rund $l = 23 \text{ mm}$. Für den Innendurchmesser kann mit $d = 0,225 \text{ mm}$ gerechnet werden.]
- Überprüfe deinen Wert aus Aufgabe 9. experimentell und gib an um wieviel Prozent der Messwert vom berechneten Wert abweicht! Welche Ursachen könnte die Abweichung haben?
- Was passiert, wenn man immer mehr Wasser durch die Kanüle einströmen lässt? Gehe nun von einer unendlich langen, senkrecht stehenden Spritze aus, deren Kanülenende wieder in Wasser getaucht ist und deren Kolben sehr weit (jedenfalls immer höher als der Stand des flüssigen Wassers) herausgezogen wurde. Höhe und Geschwindigkeit des einströmenden Wassers sollen nun berücksichtigt werden. Das heißt, anders als in Aufgabe 8. soll der hydrostatische Druck zwar nach wie vor in der Kanüle, nicht mehr aber im unendlich langen

Spritzenzylinder vernachlässigt werden. Stelle eine Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ für den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ in Abhängigkeit von der Höhe h der Wassersäule im Spritzenzylinder auf!

Mittels Differential- und Integralrechnung lassen sich auch die beiden folgenden Funktionen herleiten:

- $h(t)$... die aktuelle Höhe h der Wassersäule in Abhängigkeit von der Einströmdauer t seit Start (beginnend bei leerem Spritzenzylinder)

$$h(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} \right)$$

- $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$... das aktuelle Tempo $\frac{\Delta h}{\Delta t}$, mit dem die Wassersäule steigt in Abhängigkeit von der Einströmdauer t seit Start (beginnend bei leerem Spritzenzylinder)

$$\frac{\Delta h}{\Delta t}(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}$$

Dabei ist

- p_{atm} ... Umgebungsdruck
- p_{Gas} ... Druck des Wassergases in der Spritze
- ρ ... Dichte des flüssigen Wassers im Spritzenzylinder
- g ... Erdbeschleunigung
- R ... Innenradius des Spritzenzylinders

Zeichne alle drei Funktionen in GeoGebra und interpretiere sie!

[Falls du an der Herleitung der beiden Funktionen interessiert bist, frage nach Kuvert Nr. b10.]

[Das Gefäß, aus dem das Wasser durch die Kanüle entnommen wird, wird als unendlich breit angenommen, sodass sich der Wasserstand durch die Entnahme nicht ändert.]

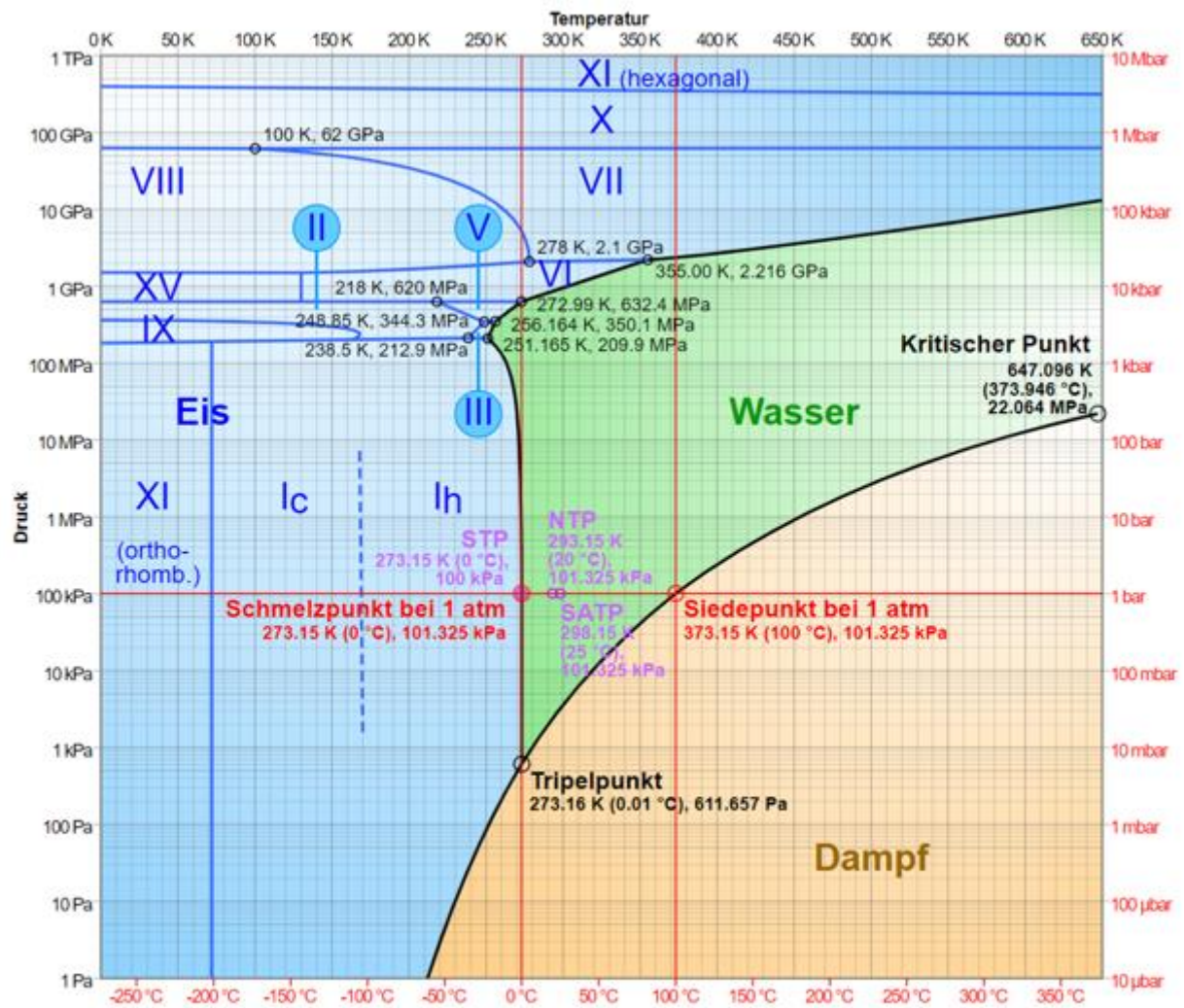


Abb. b.1: Phasendiagramm von Wasser. Druck auf logarithmischer Skala. Die römischen Zahlen markieren Bereiche unterschiedlicher Eisphasen. (Verändert in https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_diagram#/media/File:Phase_diagram_of_water.svg, zuletzt aufgerufen am 04.03.2020, nach Chaplin, 2000-2020)

10.2.3 Hilfestellungen zu B – Einer Ärztin täglich Brot

Kuvert Nr. b10: Mathematische Herleitung für die beiden Funktionen $h(t)$ und $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$:

Wir gehen von der Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ aus, welche du vermutlich bereits selbst gefunden hast:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} - \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot h$$

Setzt man die Formel für das Zylindervolumen $V = R^2 \cdot \pi \cdot h$ ein, so erhält man die Gleichung:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t}(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} - \frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot h(t)$$

Die aktuelle Höhe $h(t)$ steckt hier bereits drin, ebenso wie Höhenänderung $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$, jedoch sind diese leider miteinander verknüpft und hängen voneinander ab. Um besser zu erkennen, worum es sich bei dieser Gleichung handelt, nennen wir vorübergehend:

$$\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} = s$$

$$\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} = a$$

Und weil uns eigentlich das Momentantempo der Wasserhöhe interessiert, gehen wir vom Differenzenquotienten $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$ zum Differenzialquotienten $h'(t)$ über und erhalten:

$$h'(t) + a \cdot h(t) = s$$

Wir haben es hier also mit einer inhomogenen Differenzialgleichung 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten zu tun. (Vielleicht hast du mit so etwas Ähnlichem schon mal beim Zerfallsgesetz zu tun gehabt...?)

Die Lösung $h(t)$ einer solchen inhomogenen Differenzialgleichung setzt sich immer als Summe aus der Lösung der homogenen Differenzialgleichung $h_h(t)$ und der partikulären Lösung $h_p(t)$ zusammen.

$$h(t) = h_h(t) + h_p(t)$$

Betreffend partikulärer Lösung haben wir hier Glück, denn die Koeffizienten a und s sind konstant und daher beträgt diese ganz einfach

$$h_p(t) = \frac{s}{a}$$

Nun lösen wir noch die homogenen Differenzialgleichung

$$h'(t) + a \cdot h(t) = 0$$

durch Trennung der Variablen:

$$h'(t) = -a \cdot h(t)$$

$$\frac{dh}{dt} = -a \cdot h$$

$$\int \frac{1}{h} dh = \int -a dt$$

Wir integrieren also links des Gleichheitszeichens über die Höhe h und rechts des Gleichheitszeichens über die Zeit t und fassen die beiden Integrationskonstanten dieser unbestimmten Integrale mit $\tilde{c}$ zusammen.

$$\ln(h) = -at + \tilde{c}$$

$$h = e^{-at + \tilde{c}}$$

$$h = e^{\tilde{c}} \cdot e^{-at}$$

Wir nennen $e^{\tilde{c}}$, was ja auch immer konstant ist, der Einfachheit halber c .

$$h_h(t) = c \cdot e^{-at}$$

Die gesamte Lösung ist nun also

$$h(t) = h_h(t) + h_p(t)$$

$$h(t) = c \cdot e^{-at} + \frac{s}{a}$$

Die Integrationskonstante c können wir nun auch berechnen, indem wir als Nebenbedingung verwenden, dass die Spritze ganz am Anfang leer sein soll, also $h(t=0) = 0$. Damit erhalten wir:

$$h(t=0) = c \cdot e^0 + \frac{s}{a} = c + \frac{s}{a} \stackrel{!}{=} 0$$

$$c = -\frac{s}{a}$$

Und somit haben wir unsere erste Funktion:

$$h(t) = -\frac{s}{a} \cdot e^{-at} + \frac{s}{a}$$

Wenn wir nun $h(t)$ einmal nach t ableiten, haben wir auch $h'(t)$:

$$h'(t) = s \cdot e^{-at}$$

Zum Schluss ersetzen wir unsere Hilfsvariablen a und s wieder durch die Größen, die wir kennen und erhalten so:

$$\begin{aligned} h(t) &= -\frac{s}{a} \cdot e^{-at} + \frac{s}{a} \\ h(t) &= -\frac{\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}}{\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}}{\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}} \\ h(t) &= -\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4 \cdot 8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot r^4} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4 \cdot 8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot r^4} \\ h(t) &= -\frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \\ h(t) &= \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}\right) \end{aligned}$$

Ebenso ergibt sich:

$$h'(t) = s \cdot e^{-at}$$

$$h'(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}$$

Messreihe zum Volumenstrom

Messung Δt [s] für	$\Delta V = (1 \pm 0,25) \text{ ml}$	$\Delta V = (5 \pm 0,25) \text{ ml}$	$\Delta V = (18 \pm 0,25) \text{ ml}$
Δt_1	3,47	21,38	80,84
Δt_2	4,34	22,13	79,69
Δt_3	3,87	21,56	78,43
Δt_4	4,56	21,29	77,13
Δt_5	4,78	22,12	78,75
$\overline{\Delta t} \pm \sigma$ [s]	$4,2 \pm 0,5$	$21,7 \pm 0,4$	$79 \pm 1,5$
$\frac{\overline{\Delta V}}{\overline{\Delta t}} \pm \sigma$ [ml/s]	$0,24 \pm 0,09$	$0,230 \pm 0,015$	$0,228 \pm 0,007$

Tabelle b.2: Messreihe zum Volumenstrom. σ gibt die Standardabweichung an.

10.2.4 Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag

PHARAO FÜR EINEN TAG

Selbst rund 4.700 Jahre nach der Errichtung der ersten, großen (Stufen-)Pyramide für den altägyptischen König Djoser (Müller-Römer, 2009, S. 17) rätseln auch heute noch zahlreiche Archäologinnen und Archäologen darüber, wie diese gewaltigen Bauwerke technisch umgesetzt werden konnten. Für die berühmteste Pyramide, die Cheops-Pyramide in Giza, wurden hauptsächlich Steinblöcke des nahegelegenen Kalksteinvorkommens genutzt. Edlere Steinblöcke aus Granit und Basalt, etwa für die Verkleidung der Königskammer, wurden vermutlich mit Schiffen über den Nil antransportiert (vgl. Abitz, 1992).

Obwohl also unterschiedliche Materialien, sowie verschiedenförmige Steine verwendet wurden, gehe **FÜR ALLE AUFGABEN** von folgenden mittleren Annahmen aus:

Alle verwendeten Steinblöcke sind quaderförmig, haben eine Dichte von $\rho_B = 2,778 \text{ g/cm}^3$ und eine Masse von $m_B = 2,5 \text{ t}$. (Masse: vgl. Abitz, 1992, S. 62; Dichte Kalkstein: vgl. Osthues, 2014 und Neufert, 1992; Dichte Granit: vgl. Grotzinger, 2017, S. 10; Dichte Basalt: vgl. Jaumann, 2018, S. 39)

1. Schiffbeladung

Aufgabe:

1. Berechne, wie viele Steinblöcke maximal gleichzeitig in einem Schiff transportiert werden konnten, wenn die Eigenmasse des Schiffes $m_S = 20 \text{ t}$ beträgt und dieses (vereinfacht) als Prisma mit Höhe $h_S = 4 \text{ m}$ und der Grundfläche aus Abb. c.1 angenommen wird!

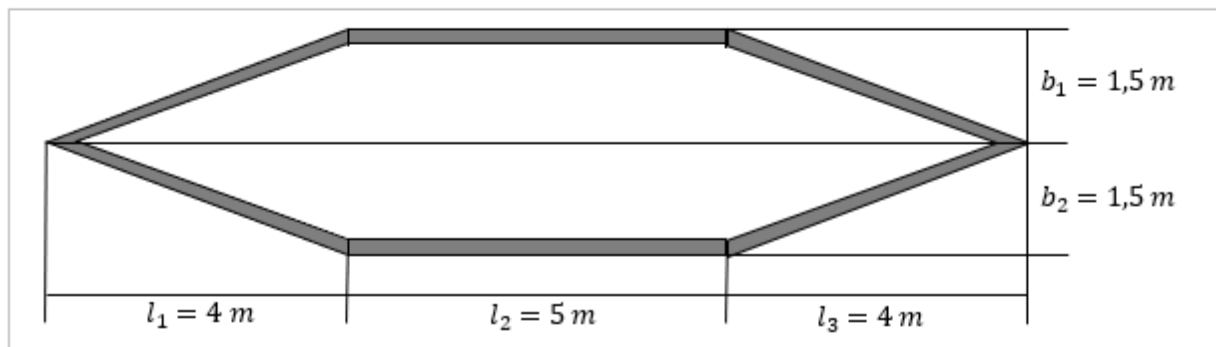


Abb. c.1: Angenommene Maße für ein Steintransportschiff.

2. Hafenrampe

Vom Hafen am Nilufer aus wurden die Steinblöcke vermutlich einzeln auf Holzschlitten über eine Rampe bis zum Pyramidenfuß gezogen. Der Pyramidenfuß lag dabei etwa $d = 550\text{ m}$ (horizontale Distanz) vom Hafen entfernt und ca. 40 m über diesem. Manche Archäologinnen und Archäologen gehen davon aus, dass diese Rampe mit fortlaufendem Bau der Pyramide immer weiter aufgebaut und somit auch steiler wurde (vgl. Abitz, 1992). Wir folgen hier dieser Idee:

Der Einfachheit halber soll beim Pyramidenfuß ein Gerüst stehen, von welchem aus ankommende Steine waagrecht bis zu ihrer Endposition verschoben werden können (vgl. Abb. c.2). Der oberste Stein muss über die Rampe daher auf eine Höhe von ca. 186 m über dem Hafenniveau gezogen werden (Die Höhe der Cheops-Pyramide beträgt ca. $146,59\text{ m}$ (Abitz, 1992, S. 61)).

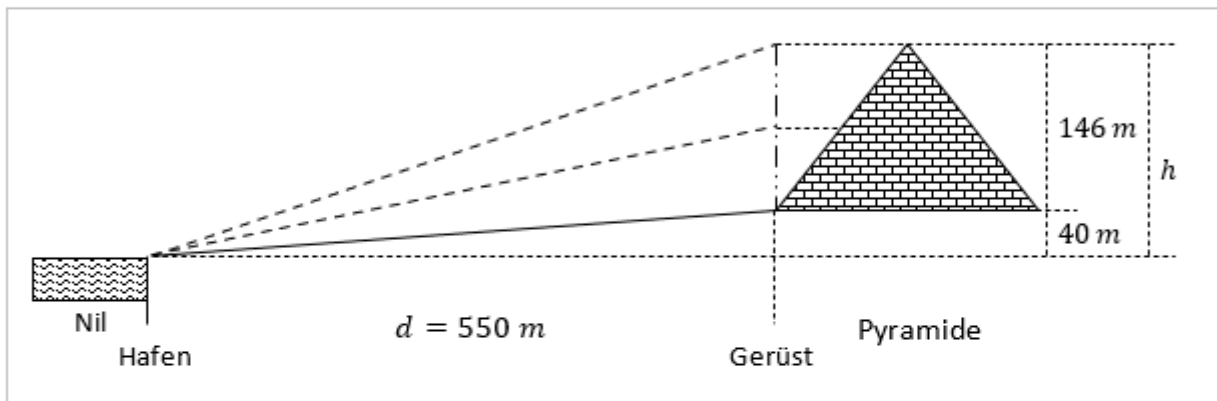


Abb. c.2: Die Steinblöcke werden über eine immer steiler gebaute Rampe vom Hafen bis auf ihre endgültige Höhe am Gerüst gezogen.

Aufgaben:

- 2a. Um wieviel Prozent ändert sich
- die Reibungskraft
 - die Hangabtriebskraft
- beim Transport vom ersten (Basis) bis zum letzten (obersten) Stein?
[Tipp: Kuvert Nr. c2a]
- 2b. Angenommen, die Pyramide und mit ihr das Gerüst würden immer höher gebaut werden (bis über 1000 Meter). Gib an, bei welcher Gerüsthöhe die größte Zugkraft erforderlich wäre!
[Als Reibungskoeffizient wird $\mu = 0,6$ angenommen (vgl. Müller, 2010, S. 115).]
[Tipps: Kuverts Nr. c2b1, c2b2, c2b3]
- 2c. Friedrich Abitz schrieb unter anderem zu dieser Rampenidee:
- „Beispielhaft würde die Verlängerung des Transportweges um nur 1 m dem Kraftaufwand entsprechen, 1 Block von 2,5 t Gewicht über 2300 km zu schleppen.“* (Abitz, 1992, S. 65)
- Formuliere dazu einen Satz so, dass er physikalisch korrekt ist!

3. Schrägaufzug

Eine andere Theorie, wie die Steinblöcke beim Pyramidenbau auf die benötigte Höhe befördert werden konnten, geht von so genannten Schrägaufzügen aus (vgl. Abb. c.3). Dabei liegt eine Rolle (z.B. Baumstamm) auf zwei aus Ziegeln gemauerten, parallelen Wänden. Über die Rolle wird ein Seil gelegt, welches an einem Ende mit einer Plattform verbunden ist, auf welche die Steinblöcke einzeln gelegt werden. Am anderen Seilende hängt ein Käfig, in welchen Arbeiter durch ein Loch in der Ziegelwand steigen können. **Jeder Arbeiter** kann dabei natürlich auch noch **pro Hand** einen deutlich kleineren Stein als **zusätzliche Masse** tragen.

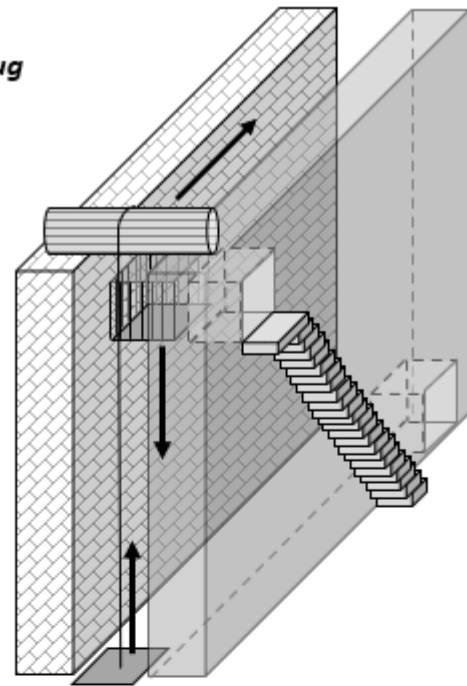


Abb. c.3: Schematische Darstellung eines Schrägaufzugs nach Vorlage von Abitz, 1992, S. 67.

Sobald ausreichend viele Arbeiter samt ihren getragenen Steinen im Käfig sind, rollt der Stamm auf den Wänden ab und befördert dabei den Steinblock schräg nach oben und die Arbeiter nach schräg unten. Der Steinblock kann nun oben von anderen Arbeitern horizontal entnommen werden. Über eine äußere Treppe gelangen die Arbeiter mit ihren Tragemassen wieder nach oben für den nächsten Arbeitsschritt (vgl. Abitz, 1992).

Aufgabe:

- 3a. Angenommen wird ein Schrägaufzug, welcher die Steinblöcke **um 10 m nach oben** befördert. Berechne die von einem Aufzugsarbeiter (jene, die raufgehen und runterfahren) mittlere, täglich verrichtete Arbeit (physikalisch) und vergleiche diese mit der Energie eines Müsliriegels (siehe Nährwertetabelle in Tabelle c.4)! Gib alle Größen an, welche du geschätzt hast und erkläre kurz, wie du zu dieser Schätzung kamst!

[Für die verrichtete Arbeit ist ausschließlich das fortlaufende aufwärts Befördern der Steinblöcke zu berücksichtigen – natürlich inklusive wieder hinaufgehen. Reibungseffekte sollen vernachlässigt werden.]

Nährwerte eines Müsliriegels	
Energie	453 kJ / 108 kcal
Fett	3,7 g
Kohlenhydrate	16,8 g
davon Zucker	9,0 g
Eiweiß	1,3 g
Salz	0,10 g

Tab. c.1: Nährwerte eines Müsliriegels

- 3b. Wie anstrengend schätzt du die tägliche Tätigkeit eines Aufzugsarbeiters im Verhältnis zur in Aufgabe 3a. berechneten erforderlichen physikalischen Arbeit ein? Beschreibe, weshalb ein Müsliriegel pro Tag den Bedarf an zugeführter „chemischer“ Energie eines solchen Arbeiters bei Weitem nicht decken kann! Gehe in deiner Beschreibung auch auf den Wirkungsgrad ein!

4. Verkehrte Pyramide

Aus anfänglichen Stufenpyramiden wurden glatte Pyramiden, aus kleinen große. Wenn ausreichend Ressourcen da waren und die eigene Lebenszeit reichte, versuchten viele Pharaonen immer außergewöhnlichere Pyramiden errichten zu lassen.

Hochgeschätzte Pharaonin / hochgeschätzter Pharaos! Ein Baumeister hatte nun die Idee, für euch eine verkehrte Pyramide, also so etwas wie einen Trichter zu errichten. Der Innenraum dieses Trichters könnte dann mit allerhand Schätzen und natürlich eurem Sarkophag befüllt werden. Was haltet ihr von dieser Idee? Kann so etwas überhaupt funktionieren?

Betrachtet wird zur Vereinfachung lediglich eine Steinreihe. Dabei soll Stein für Stein jeweils so **unter** die bisherigen Steine gelegt werden, dass die darauf liegenden Steine so weit über die linke Kante des neuen Steins ragen, dass der „Turm“ gerade noch nicht umfällt (siehe Abb. c.4). Alle Steine haben dieselbe Masse, Form und Volumen und sind homogen (Dichte überall genau gleich).

Aufgaben:

- 4a. Wie weit darf der erste Stein maximal über den zweiten ragen? Gib auch deren gemeinsamen Schwerpunkt an!
- 4b. Wie weit darf der zweite Stein maximal über den dritten ragen? Gib auch den gemeinsamen Schwerpunkt der drei Steine an!
[Tipp: Kuvert Nr. c4b]
- 4c. Berechne, ab wieviel Steinblöcken sich der unterste Block zur Gänze neben (natürlich weiter unten) dem ersten Block befindet, sofern dies überhaupt möglich ist!
[Tipp: Kuvert Nr. c4c]
- 4d. Gib an, wie weit der 75. Stein maximal über den 76. Stein ragen darf!
- 4e. Ist es auch möglich, dass die linke Kante des obersten Blocks mehr als 2 ganze Blocklängen vor der linken Kante des untersten Blocks liegt? Falls ja, gib an, ab wieviel Blöcken dies möglich ist!
[Nutze dazu ein Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel, GeoGebra oder Calc.]
- 4f. Wie sieht die Sache an den „Trichter“-kanten aus? Kann eine solche Pyramide überhaupt eine quadratische Deckfläche haben? Gib an, wieviel Prozent der Masse des obersten Ecksteins mindestens über dem darunter liegenden Steinblock liegen müssen, damit die Konstruktion hält!
- 
1. Stein
- Abb. c.4: verkehrte Pyramide

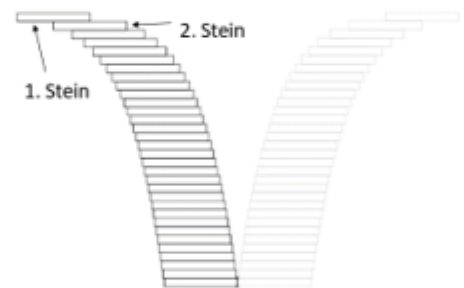


Abb. c.4: verkehrte Pyramide

10.2.5 Hilfestellungen zu C – Pharaos für einen Tag

Tipp Nr. c2a: Solltest du bei Aufgabe 2a nicht weiterkommen, versuche zunächst Aufgabe 2b. Vielleicht stößt du dabei auf eine Idee für 2a.

Tipp Nr. c2b1: *Zugkraft = Hangabtriebskraft + Reibungskraft* $\vec{F}_Z = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_R$

Tipp Nr. c2b2: Setze für die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ und für die Masse des Steinblocks $m_B = 2,5 \text{ t}$ ein. GeoGebra könnte bei der Aufgabe sehr nützlich sein.

Tipp Nr. c2b3: Zeichne in GeoGebra die Funktionsgraphen für die Reibungskraft $F_R(h)$ und die Hangabtriebskraft $F_{\parallel}(h)$ jeweils in Abhängigkeit von der Rampenhöhe (im für den Pyramidenbau relevanten Höhenintervall).

Tipp Nr. c4b:

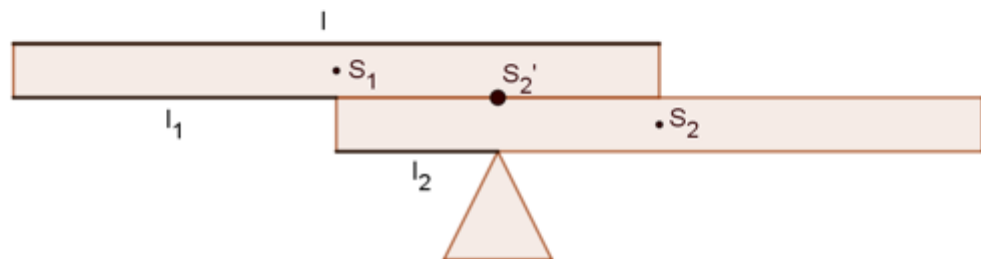


Abb. c.5: 2 Steine der Länge l ruhen auf der linken Kante des dritten Steins. Dabei darf der erste Stein mit Schwerpunkt S_1 maximal um die Länge l_1 über die Kante des zweiten Steins ragen. Der Schwerpunkt des zweiten Steins ist S_2 . S_2' stellt den gemeinsamen Schwerpunkt der beiden Steine dar. Somit darf der zweite Stein genau um l_2 über den dritten Stein hinaus ragen.

Berechne nun l_2 . Drücke es durch die Länge eines Steins l aus, oder setze für l einen Wert ein.

Tipp Nr. c4c: Berechne jeweils für n Steine, die auf dem $(n + 1)$ -ten neu untergelegten Stein liegen:

- die Position des Schwerpunktes des n -ten Steins S_n .
- die Position des gemeinsamen Schwerpunktes S_n' aller n Steine, die auf dem $(n + 1)$ -ten Stein liegen.
- die Länge l_n , um welche der n -te Stein maximal über den $(n + 1)$ -ten Stein ragen darf.

10.3 Aufgabenblätter – überarbeitete Version

10.3.1 Aufgabenblatt A – Omas Lieblingshäferl

OMAS LIEBLINGSHÄFERL

Drehe diese Anleitung **NICHT** um, bevor du nicht diese Seite vollständig gelesen und den hier beschriebenen Versuch durchgeführt hast!

Oma hat uns für dieses Experiment ausnahmsweise ihr Lieblingshäferl geborgt. Gehe daher bitte sorgsam damit um und achte darauf, es nicht fallen zu lassen oder mit etwas daran anzustoßen (außer wenn es im Versuch explizit erwünscht ist.)

Bevor du loslegst, vergewissere dich, wo Schaufel und Besen zu finden sind und achte stets auf die Sicherheit von dir und anderen im Labor!

Versuch:

Polstere die Schachtel rundum und vor allem die Grundfläche gut (mit Polstern bzw. Verpackungsmaterial) aus.

Halte die Stativstange mit deiner stärkeren Hand waagrecht in einer Höhe von 1,3m über dem Boden direkt über die gepolsterte Schachtel. Hänge Omas Lieblingshäferl, wie in Abb. a.1 dargestellt, um die Stange und halte es am Ende der Schnur an der Mutter mit deiner anderen Hand gut fest. Ziehe das Häferl soweit hoch, dass die rote Markierung auf der Schnur gerade die Stange berührt. Was auch immer passiert, halte die Stange gut fest und immer waagrecht auf selber Höhe. Halte die Mutter, wie in Abb. a.1 dargestellt, auf Höhe der Stativstange und lass sie anschließend los.

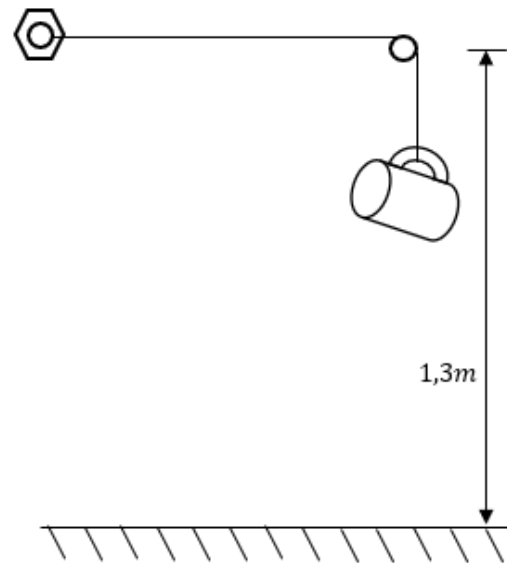


Abb. a.1: Versuchsaufbau

Wenn du den Versuch durchgeführt hast, drehe die Anleitung um.

Materialien:

- Kartonbox
- Polster oder Verpackungsmaterial
- Keramikhäferl mit einer Schnur mit einer Mutter verbunden
- Stativstange
- Maßband
- Maßstab
- Laborwaage
- Eigenes Handy mit Slow-Motion-Video-Aufnahmefunktion

Aufgabenstellungen:

1. Wieso geht das? Was passiert da? Überlegt gemeinsam und besprecht eure Ideen. Haltet eure Überlegungen (qualitativ, noch nicht rechnen) schriftlich fest.
Überprüft danach anhand des Kuverts Nr. a1, ob ihr die wichtigsten Aspekte bedacht habt.
2. Videoanalyse
 - a) Plant ein Experiment, um mittels Videoanalyse nachträglich zu jedem Zeitpunkt ablesen zu können, wie weit das Häferl bis dahin bereits gefallen ist und um welchen Winkel die Mutter bereits rotiert ist. Nehmt den Vorgang per Slow-Motion-Video auf.
(Ein Maßstab könnte bei dieser Videoanalyse sehr nützlich sein.)
 - b) Bestimmt aus der Videoanalyse den ungefähren Zeitpunkt t_2 , ab welchem das Häferl (nahezu) zum Stillstand kommt. Haltet die vom Häferl bis dahin überwundene Fallhöhe sowie die Position (Winkel) der Mutter zu jenem Zeitpunkt fest. Fertigt dazu zwei Skizzen an – eine zu diesem Zeitpunkt und eine von vor dem Loslassen der Mutter (t_0) – und tragt in diese jeweils die Längen aller linearen Schnurabschnitte ein.
[Tipp: Kuvert Nr. a2b]
3. Energie
 - a) Betrachtet nun den Zeitpunkt t_1 , zu welchem sich die Mutter auf ihrer Bahn erstmals direkt unter der Stativstange befindet. Nennt alle zu diesem Zeitpunkt im Versuchssystem relevanten Energieformen und stellt eine Energieumwandlungsgleichung für den Prozess auf.
[Tipp: Kuvert Nr. a3a]
 - b) Berechnet die bis zum Zeitpunkt t_2 (!!!) im System freigewordene potentielle Energie.
 - c) Schätzt die Rotationsenergie der Mutter zum Zeitpunkt t_2 mithilfe der Videoaufnahme und durch Berechnung ab.
[Tipps: Kuverts Nr. a3c1, a3c2]
 - d) Berechnet die im System durch Reibungseffekte bis zum Zeitpunkt t_2 in Wärme umgewandelte Energie.
4. Angenommen, ein Mechanismus würde Mutter und Häferl zum Zeitpunkt t_1 entkoppeln – also die Schnur an der Stativstange abklemmen und die Schnurabschnittslängen fixieren. Würde die Mutter den Salto dann dennoch „rund“ (kreisförmig) schaffen? Rechnet nach!
5. Katapult: Stellt euch vor, die Mutter würde zum Zeitpunkt t_1 den Kontakt zum Seil verlieren („losgelassen werden“). Wie weit (waagrechte Entfernung) würde die Mutter fliegen, bevor sie den Boden berührt? Stellt die Flugbahn der Mutter mit GeoGebra in einem xy-Diagramm dar.
6. Beschreibt welche Messfehler euer Ergebnis aus Aufgabenstellung 5 relativieren und schätzt diese sinnvoll ab.
7. Vergleicht dieses Experiment mit der Funktionsweise einer Pendeluhr. Welche Ähnlichkeiten könnt ihr feststellen? Welche Unterschiede gibt es? Haltet eure Überlegungen schriftlich fest.

10.3.2 Hilfestellungen zu A – Omas Lieblingshäferl

Kuvert Nr. a1: Überprüft, ob ihr die folgenden Fragen mit euren Überlegungen aus Aufgabenstellung 1 bereits beantworten könnt und diskutiert eure Antworten dazu:

- Welche Bewegung führt das Häferl aus und welche würde es ausführen, würde es nicht an die Mutter gekoppelt sein?
- Welche Bewegung führt die Mutter aus und wie würde sie sich verhalten, würde ihr Faden an der Stativstange fixiert sein?
- Welchen Zusammenhang seht ihr zwischen der Energie und der Fadenlänge eines Fadenpendels?
- Auf welche Höhe würde die Mutter schwingen, würde ihr Faden an der Stativstange fixiert sein und wie hoch schwingt sie tatsächlich?
- Wie lässt sich das Verhalten der Mutter mit der Energieerhaltung in Einklang bringen?

Tipp Nr. a2b:

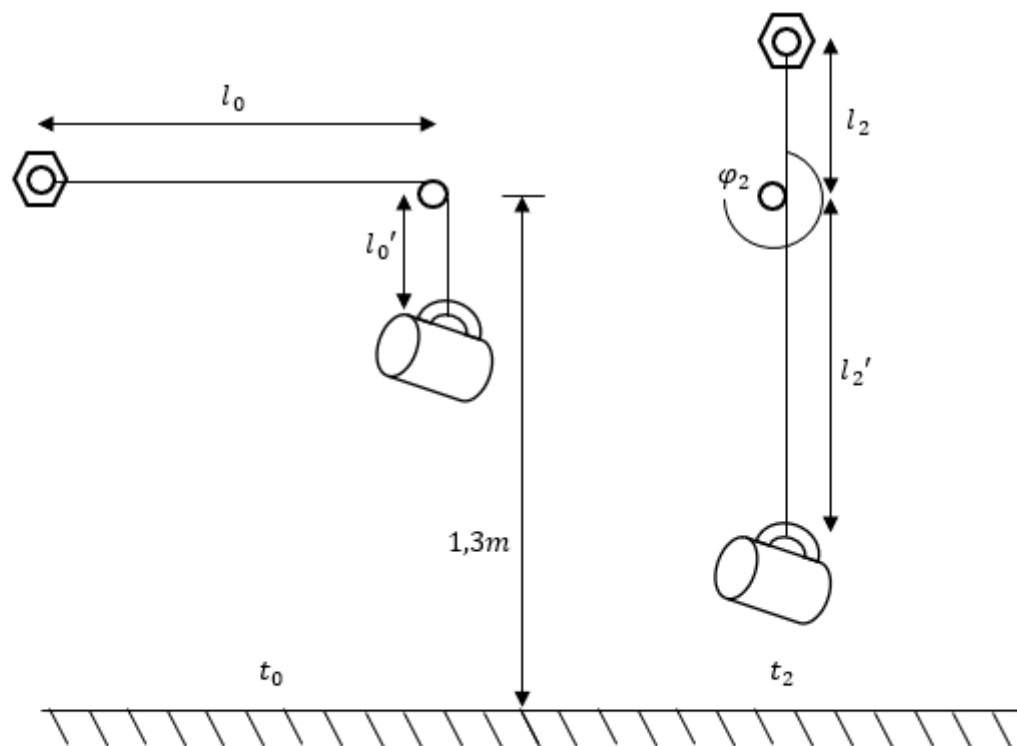


Abb. a.3: Skizzenvorlage zur Messdateneintragung.

Tipp Nr. a3a: Für ein Federpendel könnte so eine Energieumwandlungsgleichung etwa so aussehen:

$$\Delta E_{pot} = -\Delta E_{kin}$$

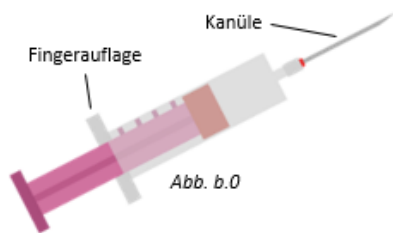
Tipp Nr. a3c1: Nutzt eure Slow-Motion-Aufnahme zur Abschätzung der durchschnittlichen Winkelgeschwindigkeit $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ der Mutter rund um den gefragten Zeitpunkt und vergesst dabei nicht den Zeitdehnungsfaktor eures Videos zu berücksichtigen.

[Sollte eine, wenn auch nur ungefähre, Abschätzung der Winkelgeschwindigkeit aus eurem Video gar unmöglich sein, nehmt Tipp a3c2 in Anspruch.]

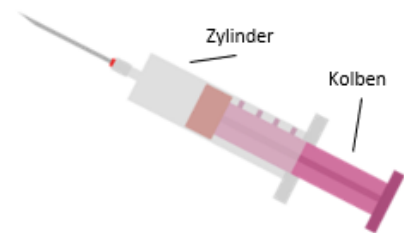
Tipp Nr. a3c2: Sprecht mit eurer Lehrerin oder eurem Lehrer, bevor ihr diesen Tipp in Anspruch nehmt!

Nehmt für $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ bei $\varphi(t_2) = 270^\circ$ einen ungefähren Wert von 360° pro Sekunde im Video und einer 8-fachen Verlangsamung durch die Slow-Motion-Aufnahme an.

10.3.3 Aufgabenblatt B – Einer Ärztin täglich Brot



EINER ÄRZTIN TÄGLICH BROT



Bei dieser Versuchsreihe dreht sich alles um Spritzen – aber keine Angst, es wird nicht weh tun. Du erhältst für die Versuche folgende

Materialien:

- 1 Spritze (20 ml)
- 1 Kanüle (0,45 x 23) mm
- 1 Becherglas ($V \geq 100 \text{ ml}$)
- 1 Alkoholthermometer
- 1 Stoppuhr
- 1 Schiebelehre
- 2 Holzblöcke
- Massestücke nach Bedarf
- ggf. 1 Leihhandy mit der App phyphox
- 1 Geo-Dreieck
- Laptop od. PC mit GeoGebra
- weitere Materialien nach Bedarf

Vorbereitung:

Stelle dir etwas Wasser aus der Wasserleitung bereit und lasse seine Temperatur an die Raumtemperatur angleichen.

Aufgabenstellungen:

1. Untersuche, wie Gase bzw. Flüssigkeiten auf Druckänderungen reagieren. Führe dazu drei Experimente durch:
 - a. Fülle den Spritzenzylinder mit 20 ml Luft. Verschließe nun den Zylinder mit deinem Finger und drücke so fest du kannst auf den Spritzenkolben, um den Druck im Inneren zu erhöhen. Notiere die Volumsänderung in Prozent.
 - b. Fülle den Spritzenzylinder mit 20 ml flüssigem Wasser bei atmosphärischem Luftdruck. (Achte darauf, dass keine Luft eingeschlossen ist.) Fahre fort wie in a. Erkläre die Ergebnisse aus a und b!
 - c. Fülle den Spritzenzylinder mit ein paar Tropfen flüssigem Wasser + 20 ml Luft. Verschließe den Zylinder und warte ein paar Sekunden. Drücke den Kolben anschließend wieder so fest du kannst in den Zylinder und beobachte das Innere des Zylinders am besten gegen eine Lichtquelle. Was ist dabei zu erkennen und wie kannst du es erklären? [Tipp: Betrachte das Phasendiagramm in Abb. b.12.]
2. Überprüfe, ob sich die Wassertemperatur der Raumtemperatur bereits angepasst hat und halte diese ebenso wie den aktuellen Luftdruck (mit der Handyapp phyphox) fest.
3. Befülle die Spritze mit ausschließlich 5 ml flüssigem Wasser bei aktuellem Luftdruck. (Achte darauf, dass keine Luft eingeschlossen ist.) Verschließe nun den Spritzenzylinder mit deinem Finger und ziehe kräftig am Spritzenkolben. Halte deine Beobachtungen zur Flüssigkeit im Zylinder fest! Beschreibe auch, was sich im Zylinder befindet und wie sich das Volumen des flüssigen Wassers darin ändert!
[Tipps: Kuverts Nr. b3-1, b3-2, b3-3]
4. Nutze das Phasendiagramm in Abb. b.12 um den Gasdruck im Inneren des Spritzenvolumens festzustellen. Für eine Expansion von anfänglich ausschließlich 5 ml flüssigen Wassers im Spritzenzylinder auf insgesamt 20 ml Innenvolumen berechne näherungsweise, um wieviel sich die Masse des flüssigen Wassers dabei verringert und um wieviel die Höhe der Wassersäule im Spritzenzylinder bei senkrecht gehaltener Spritze dabei abnimmt!
[Tipps: Kuverts Nr. b4-1, b4-2]

5. Gib die Kraft an, welche du aufbringen musst, um den Kolben in Aufgabe 4. bei 20 ml Innenvolumen zu halten!
[Vernachlässige den hydrostatischen Druck bei den Aufgaben 5. und 6.!]
[Tipps: Kuverts Nr. b5-1, b5-2]
6. Überlege dir ein Experiment, mit welchem du die Gleitreibungskraft zwischen Spritzenzylinder und Spritzenkolben näherungsweise messen kannst. Führe die Messung durch und gib die Gesamtkraft an, welche mindestens nötig ist, um das Innenvolumen der Spritze wie in Aufgabe 4. auf 20 ml zu erhöhen!
7. Überprüfe rechnerisch, ob die Vernachlässigung des hydrostatischen Drucks in den Aufgaben 5. und 6. gerechtfertigt war, indem du den hydrostatischen Druck bei 5 ml Wasservolumen in der senkrecht gehaltenen Spritze mit dem Gasdruck im Spritzenzylinder vergleichst!
8. Der höchste Gipfel Österreichs, der Großglockner, liegt auf ca. 3798 m über Meeresniveau (Statistik Austria, 2020). Bei welcher Temperatur siedet Wasser am Großglockner? Vergleiche dein Ergebnis mit der Siedetemperatur am Mount Everest auf einer Höhe von rund 8848 m (vgl. Berghold, 2019).
[Gehe von einem durchschnittlichen Luftdruck $p_0 \approx 100.000 \text{ Pa}$ und einer Luftdichte von $\rho_0 \approx 1,2041 \text{ kg/m}^3$ auf Meeresniveau aus (vgl. Fricke, 2017).]
12. Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse
Solltest du den Vertiefungsteil des Aufgabenblattes überspringen wollen, kannst du Aufgabenstellung 12 schon jetzt bearbeiten. Anderenfalls komme erst nach Aufgabenstellung 11 hierher zurück!

Erkenntnisse aus den Aufgabenstellungen 1 bis 8:

- a) Welche Auswirkungen hat die veränderte Siedetemperatur auf das Kochen im Gebirge, wie zum Beispiel am Mount Everest?
- b) Auf welche Weise ändert sich die Luftdichte, wenn du mit einem Heißluftballon von Meeresniveau auf 10 km über diesem steigst? Was ist daher zu beachten?
- c) Auf welche Weise ändert sich die Wasserdichte, wenn du mit einem U-Boot von Meeresniveau auf 10 km Wassertiefe tauchst?

Erkenntnisse aus dem Vertiefungsteil:

- d) Konntest du aus den Graphen aus Aufgabe 11 herauslesen, um wieviel der hydrostatische Druck pro Meter beim Tauchen zunimmt? Welchem Gesamtdruck ist eine Taucherin oder ein Taucher in einer Wassertiefe von 30 m ausgesetzt? Wie tief, denkst du, könntest du ohne druckstabilisierende Hilfsmittel tauchen?
- e) Welche Erkenntnisse kannst du aus diesem Aufgabenblatt für die Verabreichung von Injektionen ziehen?
- f) Welche Erkenntnisse kannst du aus diesem Aufgabenblatt für die Verabreichung von Infusionen ziehen?

Vertiefung:

Meist arbeiten Ärztinnen jedoch mit Spritzen inklusive sogenannter Kanülen (dünne Metall-Hohlzylinder, umgangssprachlich Nadel). Oft werden dabei zunächst flüssige Substanzen durch die Kanüle in die Spritze aufgesogen und anschließend wiederum durch die Kanüle in Venen oder Muskel des menschlichen Körpers gespritzt.

Wie sich durch Aufsetzen der Kanüle auf die Spritze und neuerlichem Einsaugen bzw. Ausspritzen von Wasser durch die Kanüle leicht feststellen lässt, stellt die enge Kanüle einen erheblichen Widerstand für die Stromstärke (bzw. Fließgeschwindigkeit) des Wassers dar. Probiere dies nun selbst aus!

Die Geschwindigkeit des Wassers durch ein Rohr ist nicht für alle Moleküle gleich. Für geringe Fließgeschwindigkeiten kann sie als „laminare Strömung“ (ohne Turbulenzen) beschrieben werden. Dabei bewegen sich die Teilchen am Rohr aufgrund der größeren Reibung langsamer als jene in der Mitte des Rohres (siehe Abb. b.2).



Abb. b.2: Geschwindigkeitsverteilung laminarer Strömungen im Rohr (verändert nach Schlichting, 2006).

Das Hagen-Poiseuillesche Gesetz beschreibt für solche laminaren Strömungen einer Flüssigkeit mit Viskosität η (Zähigkeit; siehe Tab. b.1) durch ein Rohr der Länge l und mit Innenradius r den

Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ durch das Rohr in Abhängigkeit vom Druckunterschied Δp zwischen den beiden Enden des Rohres.

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Dabei fließt die Flüssigkeit pro Zeiteinheit $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ natürlich stets vom Ende höheren Drucks zum Ende niedrigeren Drucks (vgl. Prandtl, 1931).

Tabelle b.1: Viskosität einiger Flüssigkeiten und Gase bei $T = 20^\circ\text{C}$. (verändert nach Demtröder 2008, S. 240)

Stoff	η in $[\text{mPa} \cdot \text{s}]$
Luft (10^5 Pa)	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Helium (10^5 Pa)	$1,9 \cdot 10^{-2}$
Benzol	0,65
Wasser	1,002
Ethanol	1,20
Quecksilber	1,55
Schweröl	660
Glyzerin	1480,0

Aufgabenstellungen:

9. Berechne den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ an Wasser durch die Kanüle, wenn sich ausschließlich Wasser im Spritzenzylinder befindet und der Spritzenkolben von 2 ml auf 20 ml aufgezogen wurde. Das Ende der Kanüle soll dabei in Wasser getaucht sein! (vgl. Abb. b.16)
[Vernachlässige dabei erneut den hydrostatischen Druck! Die Länge der Kanüle beträgt rund $l = 23 \text{ mm}$. Für den Innendurchmesser kann mit $d = 0,225 \text{ mm}$ gerechnet werden.]
10. Überprüfe deinen Wert aus Aufgabe 9. experimentell und gib an um wieviel Prozent der Messwert vom berechneten Wert abweicht! Welche Ursachen könnte die Abweichung haben?

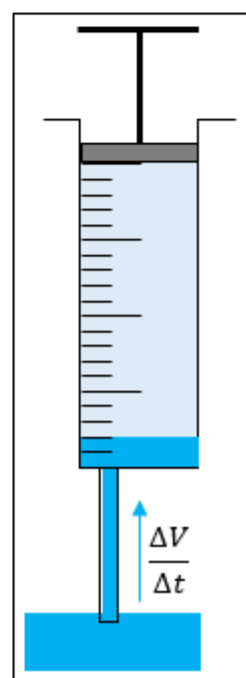


Abb b.16: Skizze zur Versuchsanordnung bei den Aufgaben 9 und 10.

11. Was passiert, wenn man immer mehr Wasser durch die Kanüle einströmen lässt? Gehe nun von einer unendlich langen, senkrecht stehenden Spritze aus, deren Kanülenende wieder in Wasser getaucht ist und deren Kolben sehr weit (jedenfalls immer höher als der Stand des flüssigen Wassers) herausgezogen wurde. Höhe und Geschwindigkeit des einströmenden Wassers sollen nun berücksichtigt werden. Das heißt, anders als in Aufgabe 9. soll der hydrostatische Druck zwar nach wie vor in der Kanüle, nicht mehr aber im unendlich langen Spritzenzylinder vernachlässigt werden. Stelle eine Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ für den Volumenstrom $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ in Abhängigkeit von der Höhe h der Wassersäule im Spritzenzylinder auf!
[Das Gefäß, aus dem das Wasser durch die Kanüle entnommen wird, wird als unendlich breit angenommen, sodass sich der Wasserstand durch die Entnahme nicht ändert.]
 [Tipps: Kuverts Nr. b11-1, b11-2]

Mittels Differential- und Integralrechnung lassen sich auch die beiden folgenden Funktionen herleiten:

- $h(t)$... die aktuelle Höhe h der Wassersäule in Abhängigkeit von der Einströmdauer t seit Start (beginnend bei leerem Spritzenzylinder)

$$h(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} \right)$$

- $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$... das aktuelle Tempo $\frac{\Delta h}{\Delta t}$, mit dem die Wassersäule steigt in Abhängigkeit von der Einströmdauer t seit Start (beginnend bei leerem Spritzenzylinder)

$$\frac{\Delta h}{\Delta t}(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}$$

Dabei ist
 p_{atm} ... Umgebungsdruck
 p_{Gas} ... Druck des Wassergases in der Spritze
 ρ ... Dichte des flüssigen Wassers im Spritzenzylinder
 g ... Erdbeschleunigung
 R ... Innenradius des Spritzenzylinders

[Falls du an der Herleitung der beiden Funktionen interessiert bist, frage nach Kuvert Nr. b11-5.]

Zeichne alle drei Funktionen in GeoGebra und interpretiere sie!

Beachte bei der Interpretation insbesondere folgende Parameter:

- $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$: Steigungsverhalten, Nullstelle(n), $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h = 0)$
- $h(t)$: Steigungsverhalten, Nullstelle(n), Grenzwert
- $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$: Steigungsverhalten, Nullstelle(n), $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t = 0)$

[Tipp für GeoGebra: Kuvert Nr. b11-3]

[Falls du Probleme mit der Eingabe von $h(t)$ und $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$ hast: Kuvert Nr. b11-4]

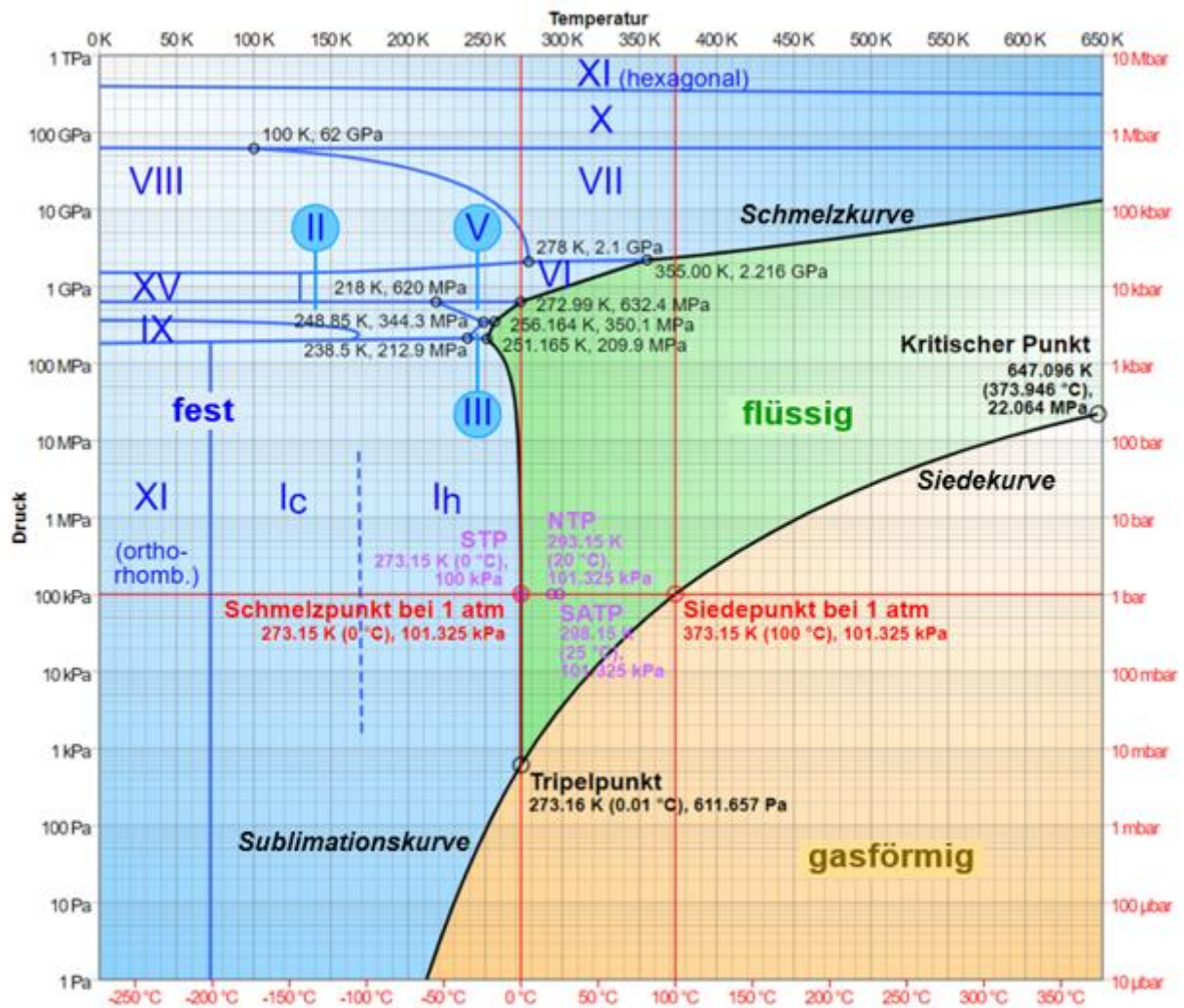


Abb. b.12: Phasendiagramm von Wasser. Druck auf logarithmischer Skala. Die römischen Zahlen markieren Bereiche unterschiedl. Eisphasen. (Verändert nach https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_diagram#/media/File:Phase_diagram_of_water.svg, zuletzt aufgerufen am 04.03.2020, nach Chaplin, 2000-2020)

10.3.4 Hilfestellungen zu B – Einer Ärztin täglich Brot

Kuvert Nr. b3-1: Finde die Siedekurve im Phasendiagramm in Abb. b.12. In welchem Aggregatzustand liegt Wasser in einem abgeschlossenen System vor, das sich im Phasendiagramm links von: rechts von: über: unter: auf: der Siedekurve befindet?

Kuvert Nr. b3-2: Überprüfung der Druckänderung:
Gehe vor, wie in Aufgabenstellung 3 verlangt, ziehe den Spritzenkolben jedoch langsam und gleichmäßig auf 20 ml auf und überprüfe dabei, ob die dafür benötigte Zugkraft kontinuierlich und deutlich zunimmt, abnimmt oder in etwa konstant bleibt. Was sagt dir das Ergebnis über den Druck im Inneren des Spritzenkolbens?

Kuvert Nr. b3-3: Überlege dir Antworten auf die folgenden Fragen:

- Woraus (Art der Moleküle) setzt sich flüssiges, festes bzw. gasförmiges Wasser zusammen?
- Wie sieht gasförmiges Wasser aus und wie sehen dagegen winzige Tröpfchen flüssigen Wassers umgeben von gasförmiger Luft aus?
- Was kannst du tun, um flüssiges Wasser gasförmig zu machen?
 - Temperatur bei konstantem Druck erhöhen?
 - Temperatur bei konstantem Druck verringern?
 - Druck bei konstanter Temperatur erhöhen?
 - Druck bei konstanter Temperatur verringern?
- Welche Rolle spielt das Volumen dabei?

Kuvert Nr. b4-1: Möglicherweise kann die allgemeine Gasgleichung hier nützlich sein.

Kuvert Nr. b4-2: Molrechnung:
mol ... SI-Einheit der Stoffmenge *n*
 $6,022 \cdot 10^{23}$ (= Loschmidt'sche Zahl) Teilchen entsprechen 1 *mol* eines Stoffes.
Die molare Masse hängt von der Art der Teilchen ab (vgl. PSE).

Kuvert Nr. b5-1: Erstelle eine Skizze und zeichne alle auf den Spritzenkolben wirkenden Kräfte ein.

Kuvert Nr. b5-2: Der statische Gasdruck entsteht durch die Teilchenbewegung im Gas. Je größer die Dichte eines Gases oder Gasgemenges ist, desto mehr Stöße (Impulsübertragung → Kraft) finden pro Zeiteinheit an Körperoberflächen, die an das Gas grenzen, statt.

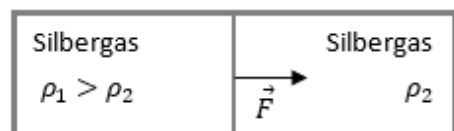


Abb. b.15: aerostatischer Druck am Beispiel von Silbergas

Kuvert Nr. b11-1: Beachte, dass der Druckunterschied Δp nun nicht mehr konstant bleibt, da der hydrostatische Druck im Inneren mit wachsender Wassersäule zunimmt.

Kuvert Nr. b11-2: Um Δp auszudrücken, überlege dir den Druck am unteren und jenen am oberen Ende der Kanüle (vgl. Abb. b.8).

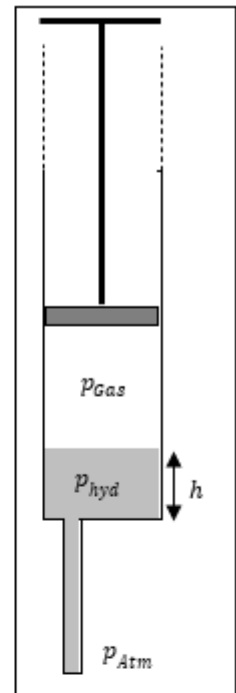


Abb. b.8: Skizze zu den Druckverhältnissen bei idealisierter Spritze mit Kanüle.

Kuvert Nr. b11-3: Solltest du in GeoGebra trotz korrekter Eingabe keinen sinnvollen Funktionsgraphen erkennen, musst du vermutlich noch die Achsen einzeln entsprechend skalieren. Überlege dir die physikalisch relevanten Intervalle der unabhängigen bzw. abhängigen Variablen und zoomte auf der jeweiligen Achse in diesen Bereich.

Kuvert Nr. b11-4:

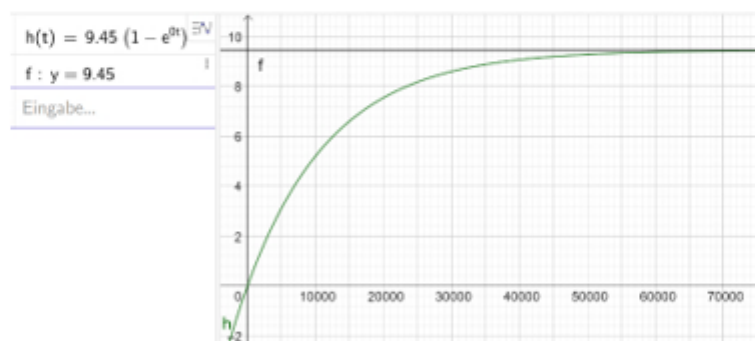


Abb. b.10: Funktion $h(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.

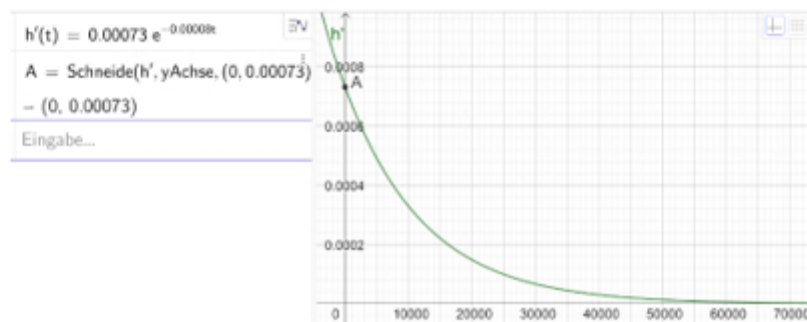


Abb. b.11: Funktion $h'(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.

Kuvert Nr. b11-5: Mathematische Herleitung für die beiden Funktionen $h(t)$ und $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$:

Wir gehen von der Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ aus, welche du vermutlich bereits selbst gefunden hast:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} - \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot h$$

Setzt man die Formel für das Zylindervolumen $V = R^2 \cdot \pi \cdot h$ ein, so erhält man die Gleichung:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t}(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} - \frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot h(t)$$

Die aktuelle Höhe $h(t)$ steckt hier bereits drin, ebenso wie Höhenänderung $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$, jedoch sind diese leider miteinander verknüpft und hängen voneinander ab. Um besser zu erkennen, worum es sich bei dieser Gleichung handelt, nennen wir vorübergehend:

$$\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} = s$$

$$\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} = a$$

Und weil uns eigentlich das Momentantempo der Wasserhöhe interessiert, gehen wir vom Differenzenquotienten $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t)$ zum Differenzialquotienten $h'(t)$ über und erhalten:

$$h'(t) + a \cdot h(t) = s$$

Wir haben es hier also mit einer inhomogenen Differenzialgleichung 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten zu tun. (Vielleicht hast du mit so etwas Ähnlichem schon mal beim Zerfallsgesetz zu tun gehabt...?)

Die Lösung $h(t)$ einer solchen inhomogenen Differenzialgleichung setzt sich immer als Summe aus der Lösung der homogenen Differenzialgleichung $h_h(t)$ und der partikulären Lösung $h_p(t)$ zusammen.

$$h(t) = h_h(t) + h_p(t)$$

Betreffend partikulärer Lösung haben wir hier Glück, denn die Koeffizienten a und s sind konstant und daher beträgt diese ganz einfach

$$h_p(t) = \frac{s}{a}$$

Nun lösen wir noch die homogenen Differenzialgleichung

$$h'(t) + a \cdot h(t) = 0$$

durch Trennung der Variablen:

$$h'(t) = -a \cdot h(t)$$

$$\frac{dh}{dt} = -a \cdot h$$

$$\int \frac{1}{h} dh = \int -a dt$$

Wir integrieren also links des Gleichheitszeichens über die Höhe h und rechts des Gleichheitszeichens über die Zeit t und fassen die beiden Integrationskonstanten dieser unbestimmten Integrale mit $\tilde{c}$ zusammen.

$$\ln(h) = -at + \tilde{c}$$

$$h = e^{-at + \tilde{c}}$$

$$h = e^{\tilde{c}} \cdot e^{-at}$$

Wir nennen $e^{\tilde{c}}$, was ja auch immer konstant ist, der Einfachheit halber c .

$$h_h(t) = c \cdot e^{-at}$$

Die gesamte Lösung ist nun also

$$h(t) = h_h(t) + h_p(t)$$

$$h(t) = c \cdot e^{-at} + \frac{s}{a}$$

Die Integrationskonstante c können wir nun auch berechnen, indem wir als Nebenbedingung verwenden, dass die Spritze ganz am Anfang leer sein soll, also $h(t=0) = 0$. Damit erhalten wir:

$$h(t=0) = c \cdot e^0 + \frac{s}{a} = c + \frac{s}{a} \stackrel{!}{=} 0$$

$$c = -\frac{s}{a}$$

Und somit haben wir unsere erste Funktion:

$$h(t) = -\frac{s}{a} \cdot e^{-at} + \frac{s}{a}$$

Wenn wir nun $h(t)$ einmal nach t ableiten, haben wir auch $h'(t)$:

$$h'(t) = s \cdot e^{-at}$$

Zum Schluss ersetzen wir unsere Hilfsvariablen a und s wieder durch die Größen, die wir kennen und erhalten so:

$$\begin{aligned} h(t) &= -\frac{s}{a} \cdot e^{-at} + \frac{s}{a} \\ h(t) &= -\frac{\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}}{\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}}{\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}} \\ h(t) &= -\frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4 \cdot 8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot r^4} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4 \cdot 8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot r^4} \\ h(t) &= -\frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} + \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \\ h(t) &= \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}\right) \end{aligned}$$

Ebenso ergibt sich:

$$\begin{aligned} h'(t) &= s \cdot e^{-at} \\ h'(t) &= \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t} \end{aligned}$$

10.3.5 Aufgabenblatt C – Pharao für einen Tag

PHARAO FÜR EINEN TAG

Selbst rund 4.700 Jahre nach der Errichtung der ersten, großen (Stufen-)Pyramide für den altägyptischen König Djoser (Müller-Römer, 2009, S. 17) rätseln auch heute noch zahlreiche Archäologinnen und Archäologen darüber, wie diese gewaltigen Bauwerke technisch umgesetzt werden konnten. Für die berühmteste Pyramide, die Cheops-Pyramide in Giza, wurden hauptsächlich Steinblöcke des nahegelegenen Kalksteinvorkommens genutzt. Edlere Steinblöcke aus Granit und Basalt, etwa für die Verkleidung der Königskammer, wurden vermutlich mit Schiffen über den Nil antransportiert (vgl. Abitz, 1992).

Obwohl also unterschiedliche Materialien, sowie verschiedenförmige Steine verwendet wurden, gehe **FÜR ALLE AUFGABEN** von folgenden mittleren Annahmen aus:

Alle verwendeten Steinblöcke sind quaderförmig, haben eine Dichte von $\rho_B = 2,778 \text{ g/cm}^3$ und eine Masse von $m_B = 2,5 \text{ t}$. (Masse: vgl. Abitz, 1992, S. 62; Dichte Kalkstein: vgl. Osthuys, 2014 und Neufert, 1992; Dichte Granit: vgl. Grotzinger, 2017, S. 10; Dichte Basalt: vgl. Jaumann, 2018, S. 39)

1. Schiffbeladung

Aufgabe:

1. Berechne, wie viele Steinblöcke maximal gleichzeitig in einem Schiff transportiert werden konnten, wenn die Eigenmasse des Schiffes $m_S = 20 \text{ t}$ beträgt und dieses (vereinfacht) als Prisma mit Höhe $h_S = 4 \text{ m}$ und der Grundfläche aus Abb. c.1 angenommen wird!
[Tipps: Kuverts Nr. c1-1, c1-2]

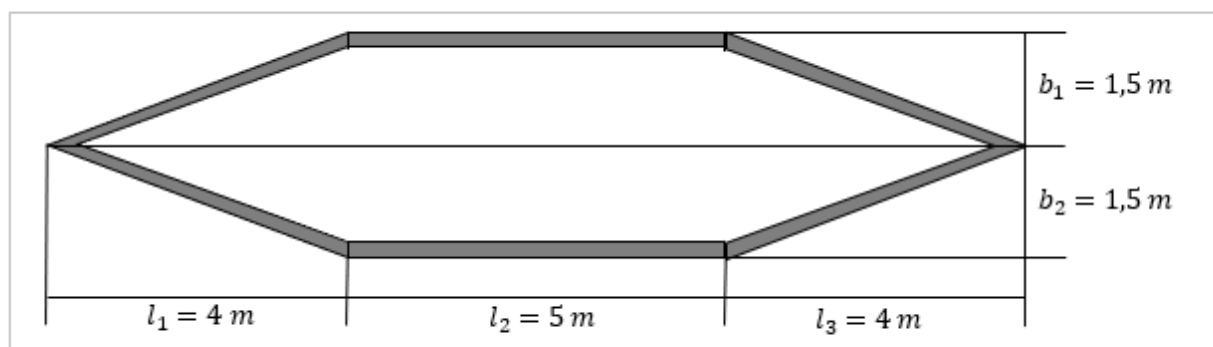


Abb. c.1: Angenommene Maße für ein Steintransportschiff.

2. Hafenrampe

Vom Hafen am Nilufer aus wurden die Steinblöcke vermutlich einzeln auf Holzschlitten über eine Rampe bis zum Pyramidenfuß gezogen. Der Pyramidenfuß lag dabei etwa $d = 550\text{ m}$ (horizontale Distanz) vom Hafen entfernt und ca. 40 m über diesem. Manche Archäologinnen und Archäologen gehen davon aus, dass diese Rampe mit fortlaufendem Bau der Pyramide immer weiter aufgebaut und somit auch steiler wurde (vgl. Abitz, 1992). Wir folgen hier dieser Idee:

Der Einfachheit halber soll beim Pyramidenfuß ein Gerüst stehen, von welchem aus ankommende Steine waagrecht bis zu ihrer Endposition verschoben werden können (vgl. Abb. c.2). Der oberste Stein muss über die Rampe daher auf eine Höhe von ca. 186 m über dem Hafenniveau gezogen werden (Die Höhe der Cheops-Pyramide beträgt ca. $146,59\text{ m}$ (Abitz, 1992, S. 61)).

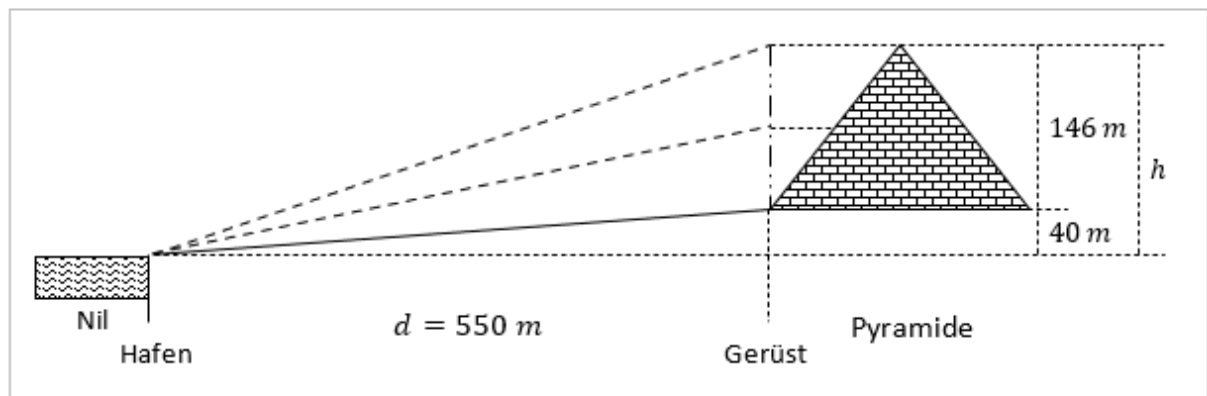


Abb. c.2: Die Steinblöcke werden über eine immer steiler gebaute Rampe vom Hafen bis auf ihre endgültige Höhe am Gerüst gezogen.

Aufgaben:

2a. Um wieviel Prozent ändert sich

- i) die Reibungskraft ii) die Hangabtriebskraft
- beim Transport vom ersten (Basis) bis zum letzten (obersten) Stein?
(Grundwert ist jeweils die benötigte Kraft für den Transport an die Basis.)
[Tipps: Kuverts Nr. c2a1, c2a2]

2b. Angenommen, die Pyramide und mit ihr das Gerüst würden immer höher gebaut werden (bis über 1000 Meter). Gib an, bei welcher Gerüsthöhe über Hafenniveau die größte Zugkraft erforderlich wäre und welche Konsequenzen du daraus für den alltäglichen Einsatz von Rampen ziehst! Untersuche auch, ob es für die Zugkraft bei immer höheren Gerüsten einen Grenzwert gibt und erkläre dessen Wert (sofern vorhanden) physikalisch!
[Nutze dafür GeoGebra. Als Reibungskoeffizient wird $\mu = 0,6$ angenommen (vgl. Müller, 2010, S. 115).]
[Tipps: Kuverts Nr. c2b1, c2b2]

2c. Friedrich Abitz (Archäologe, nicht Physiker) schrieb unter anderem zu dieser Rampenidee:

„Beispielhaft würde die Verlängerung des Transportweges um nur 1 m dem Kraftaufwand entsprechen, 1 Block von 2,5 t Gewicht über 2300 km zu schleppen.“ (Abitz, 1992, S. 65)

- i. Herr Abitz hat hier offenbar einige physikalische Begriffe komplett durcheinander gebracht. Erkläre, was an dieser Aussage alles physikalisch sinnlos ist und warum!
[Tipp: Kuvert Nr. c2c]
- ii. Angenommen Abitz meinte eine Verlängerung von d um 1 m . Berechne, welche Auswirkungen das auf die benötigte Zugkraft und die verrichtete Arbeit pro Block hätte!

3. Schrägaufzug

Eine andere Theorie, wie die Steinblöcke beim Pyramidenbau auf die benötigte Höhe befördert werden konnten, geht von so genannten Schrägaufzügen aus (vgl. Abb. c.3). Dabei liegt eine Rolle (z.B. Baumstamm) auf zwei aus Ziegeln gemauerten, parallelen Wänden. Über die Rolle wird ein Seil gelegt, welches an einem Ende mit einer Plattform verbunden ist, auf welche die Steinblöcke einzeln gelegt werden. Am anderen Seilende hängt ein Käfig, in welchen Arbeiter durch ein Loch in der Ziegelwand steigen können. **Jeder Arbeiter** kann dabei natürlich auch noch **pro Hand** einen deutlich kleineren Stein als **zusätzliche Masse** tragen.

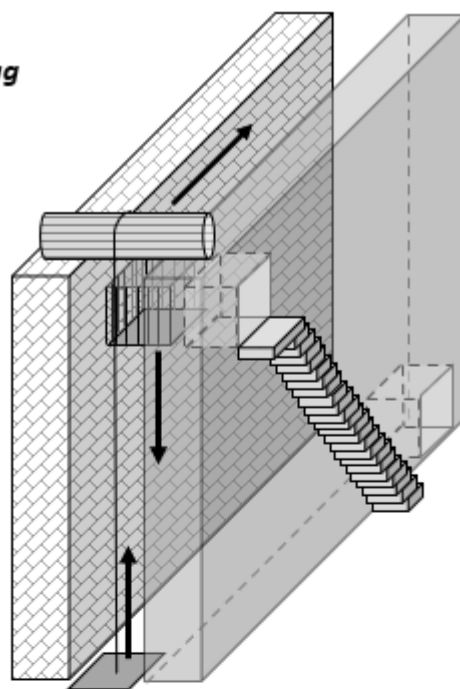


Abb. c.3: Schematische Darstellung eines Schrägaufzugs nach Vorlage von Abitz, 1992, S. 67.

Sobald ausreichend viele Arbeiter samt ihren getragenen Steinen im Käfig sind, rollt der Stamm auf den Wänden ab und befördert dabei den Steinblock schräg nach oben und die Arbeiter nach schräg unten. Der Steinblock kann nun oben von anderen Arbeitern horizontal entnommen werden. Über eine äußere Treppe gelangen die Arbeiter mit ihren Tragmassen wieder nach oben für den nächsten Arbeitsschritt (vgl. Abitz, 1992).

Aufgabe:

- 3a. Angenommen wird ein Schrägaufzug, welcher die Steinblöcke **um 10 m nach oben** befördert. Berechne die von einem Aufzugsarbeiter (jene, die raufgehen und runterfahren) mittlere, täglich verrichtete Arbeit (physikalisch) und vergleiche diese mit der Energie eines Müsliriegels (siehe Nährwertetabelle in Tabelle c.1)! Gib alle Größen an, welche du geschätzt hast und erkläre kurz, wie du zu dieser Schätzung kamst!

[Für die verrichtete Arbeit ist ausschließlich das fortlaufende aufwärts Befördern der Steinblöcke zu berücksichtigen – natürlich inklusive wieder hinaufgehen. Reibungseffekte sollen vernachlässigt werden.]

[Falls du dir mit deinen Schätzungen unsicher bist, findest du einen Tipp in Kuvert Nr. c3a]

Nährwerte eines Müsliriegels	
Energie	453 kJ / 108 kcal
Fett	3,7 g
Kohlenhydrate	16,8 g
davon Zucker	9,0 g
Eiweiß	1,3 g
Salz	0,10 g

Tab. c.1: Nährwerte eines Müsliriegels

- 3b. Wie anstrengend schätzt du die tägliche Tätigkeit eines Aufzugsarbeiters im Verhältnis zur in Aufgabe 3a. berechneten erforderlichen physikalischen Arbeit ein? Beschreibe, weshalb ein Müsliriegel pro Tag den Bedarf an zugeführter „chemischer“ Energie eines solchen Arbeiters bei Weitem nicht decken kann! Gehe in deiner Beschreibung auch auf den Wirkungsgrad ein!

4. Verkehrte Pyramide

Aus anfänglichen Stufenpyramiden wurden glatte Pyramiden, aus kleinen große. Wenn ausreichend Ressourcen da waren und die eigene Lebenszeit reichte, versuchten viele Pharaonen immer außergewöhnlichere Pyramiden errichten zu lassen.

Hochgeschätzte Pharaonin / hochgeschätzter Pharaos! Ein Baumeister hatte nun die Idee, für euch eine verkehrte Pyramide, also so etwas wie einen Trichter zu errichten. Der Innenraum dieses Trichters könnte dann mit allerhand Schätzen und natürlich eurem Sarkophag befüllt werden. Was haltet ihr von dieser Idee? Kann so etwas überhaupt funktionieren?

Betrachtet wird zur Vereinfachung lediglich eine Steinreihe. Dabei soll Stein für Stein jeweils so **unter** die bisherigen Steine gelegt werden, dass die darauf liegenden Steine so weit über die linke Kante des neuen Steins ragen, dass der „Turm“ gerade noch nicht umfällt (siehe Abb. c.4). Alle Steine haben dieselbe Masse, Form und Volumen und sind homogen (Dichte überall genau gleich).

Aufgaben:

- 4a. Wie weit darf der erste Stein maximal über den zweiten ragen? Gib auch deren gemeinsamen Schwerpunkt an!
- 4b. Wie weit darf der zweite Stein maximal über den dritten ragen? Gib auch den gemeinsamen Schwerpunkt der drei Steine an!
[Tipp: Kuvert Nr. c4b]
- 4c. Berechne, ab wieviel Steinblöcken sich der unterste Block zur Gänze neben (natürlich weiter unten) dem ersten Block befindet, sofern dies überhaupt möglich ist!
[Tipp: Kuvert Nr. c4c]
- 4d. Gib an, wie weit der 75. Stein maximal über den 76. Stein ragen darf!
[Tipp: Kuvert Nr. c4d]
- 4e. Ist es auch möglich, dass die linke Kante des obersten Blocks mehr als 2 ganze Blocklängen vor der linken Kante des untersten Blocks liegt? Falls ja, gib an, ab wieviel Blöcken dies möglich ist!
[Nutze dazu ein Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel, GeoGebra oder Calc.]
- 4f. Wie sieht die Sache an den „Trichter“-kanten aus? Kann eine solche Pyramide überhaupt eine quadratische Deckfläche haben? Gib an, wieviel Prozent der Masse des obersten Ecksteins mindestens über dem darunter liegenden Steinblock liegen müssen, damit die Konstruktion hält!

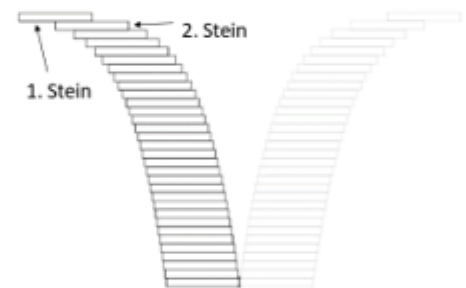


Abb. c.4: verkehrte Pyramide

10.3.6 Hilfestellungen zu C – Pharao für einen Tag

Tipp Nr. c1-1:

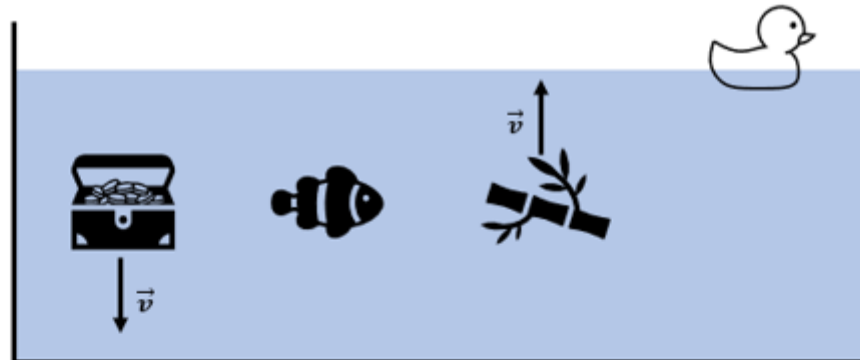


Abb. c.8: Sinkende, schwebende, steigende und schwimmende Körper in Fluiden.

Man sagt ein Körper in einem Fluid ...

sinkt, wenn seine Höhe abnimmt.

schwebt, wenn er völlig von dem Fluid umgeben ist und seine Höhe konstant bleibt.

steigt, wenn seine Höhe zunimmt.

schwimmt, wenn er zum Teil in das Fluid eintaucht, zum Teil darüber liegt und die Höhe konstant bleibt.

Überlege dir, in welchen dieser Fälle ein Kräftegleichgewicht herrscht.

Tipp Nr. c1-2: Überlege dir, wie viel Wasser jeweils verdrängt wird, wenn du zB ein schwimmendes Papierschiffchen mit immer mehr Masse belädst. Wie ändert sich dabei die Auftriebskraft?

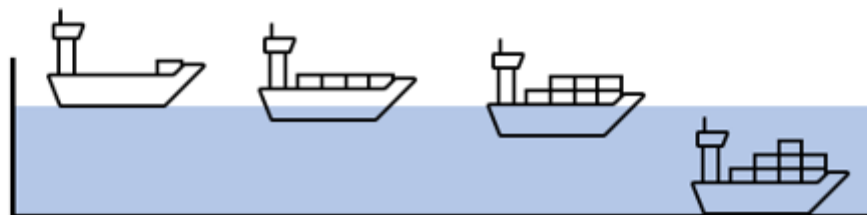


Abb. c.9: Verdrängtes Volumen und Auftriebskraft bei unterschiedlich stark beladenen Schiffen.

Tipp Nr. c2a1: $\text{Zugkraft} = \text{Hangabtriebskraft} + \text{Reibungskraft}$ $\vec{F}_Z = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_R$

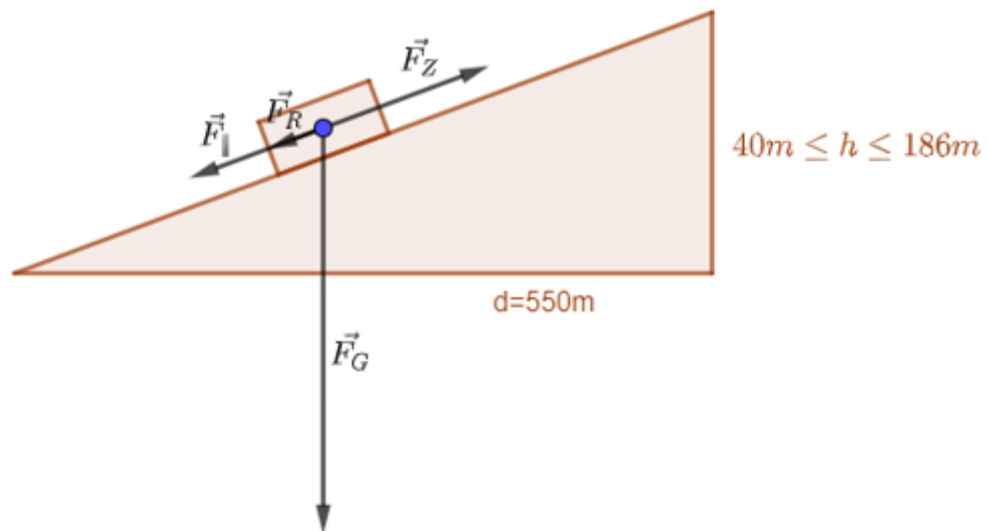


Abb. c.10: Kräfte bei der schiefen Ebene.

Tipp Nr. c2a2: Versuche im skizzierten Kräfteparallelogramm ähnliche Dreiecke zu finden.

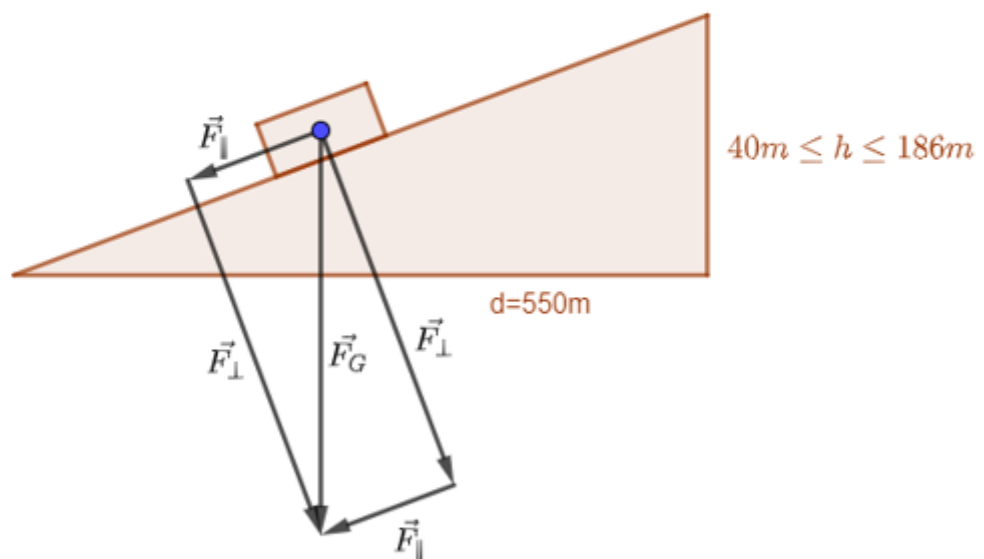


Abb. c.11: Kräfteparallelogramm bei der schiefen Ebene.

Tipp Nr. c2b1: Setze für die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ und für die Masse des Steinblocks $m_B = 2,5 \text{ t}$ ein.

Tipp Nr. c2b2: Zeichne in GeoGebra die Funktionsgraphen für die Reibungskraft $F_R(h)$ und die Hangabtriebskraft $F_{\parallel}(h)$ jeweils in Abhängigkeit von der Rampenhöhe. Mit dem Befehl „Max(<Funktion>, <Startwert>, <Endwert>)“ lässt sich in GeoGebra ein lokales Maximum ermitteln.

Tipp Nr. c2c: Wenn du dir nicht mehr sicher bist, schlage nochmals die Begriffe Masse, Kraft, Gewicht, Kraftaufwand, Arbeit, Energie und Leistung nach. Welche Einheiten haben sie? Was bedeuten sie und inwiefern unterscheiden sie sich voneinander?

Tipp Nr. c3a: Im Gegensatz zu früheren Annahmen geht man heute davon aus, dass die Pyramidenarbeiter keine Sklaven mit schlechten Arbeitsbedingungen waren, sondern ganz im Gegenteil ihrer Tätigkeit freiwillig nachgingen und dafür auch gut entlohnt wurden (vgl. Morell, 2001).

Überprüfe die von dir vorgenommenen Schätzungen und überlege, ob du die Arbeit unter den von dir getroffenen Annahmen selbst einen Tag lang schaffen würdest. Bedenke auch, welche Arbeitsschritte bei einem solchen Steintransport inklusive Be- und Entladung am zeitaufwändigsten gewesen sein könnten.

Tipp Nr. c4b:

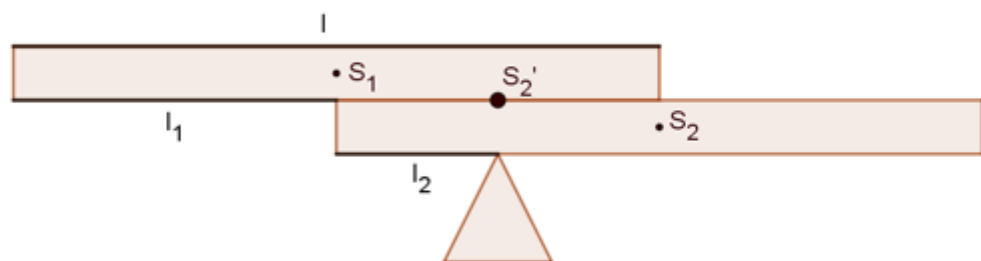


Abb. c.5: 2 Steine der Länge l ruhen auf der linken Kante des dritten Steins. Dabei darf der erste Stein mit Schwerpunkt S_1 maximal um die Länge l_1 über die Kante des zweiten Steins ragen. Der Schwerpunkt des zweiten Steins ist S_2 . S_2' stellt den gemeinsamen Schwerpunkt der beiden Steine dar. Somit darf der zweite Stein genau um l_2 über den dritten Stein hinaus ragen.

Berechne nun l_2 . Drücke es durch die Länge eines Steins l aus, oder setze für l einen Wert ein.

Tipp Nr. c4c: Berechne jeweils für n Steine, die auf dem $(n + 1)$ -ten neu untergelegten Stein liegen:

- die Position des Schwerpunktes des n -ten Steins S_n .
- die Position des gemeinsamen Schwerpunktes S_n' aller n Steine, die auf dem $(n + 1)$ -ten Stein liegen.
- die Länge l_n , um welche der n -te Stein maximal über den $(n + 1)$ -ten Stein ragen darf.

Tipp Nr. c4d: Nun wäre eine explizite Darstellung der Folge der Überhanglängen l_n hilfreich. Überprüfe, ob du eine solche aus deinen bisherigen Berechnungen erkennen kannst. Mathematisch korrekt beweisen brauchst du eine begründete Vermutung dazu hier nicht.

10.4 Lösungsvorschläge zu den Aufgabenstellungen

10.4.1 Lösungsvorschlag A – Omas Lieblingshäferl

Lösungsvorschlag:

1. Das Häferl befindet sich zunächst im freien Fall. Es wird hier also potentielle in kinetische Energie umgewandelt. Da das Häferl über die Schnur mit der Mutter verbunden ist, überträgt sich die auf das Häferl wirkende Gravitationskraft auf die Mutter -> Die Mutter gewinnt an kinetischer Energie. Die Mutter führt eine Schwingung (Fadenpendel) aus. Die Fadenlänge des Pendels nimmt dabei mit der Zeit ab, wodurch die Mutter im Zuge ihrer Schwingung nun jedoch eine deutlich höhere Position erreichen kann, als sie ursprünglich hatte. Dies ist auf die verringerte Höhe des Häferls und die Energieerhaltung im System Häferl-Mutter zurückzuführen. Wickelt sich die Schnur um die Stange, so wächst die Reibungskraft an. Aus dem freien Fall des Häferls wird ein gedämpfter freier Fall, bis die Reibung die Bewegung stoppt.
2. Videoanalyse
 - a) Wichtig ist es, dass ein Maßstab in selber Entfernung von der Kamera, wie der Abstand Schnur-Kamera, senkrecht platziert wird, um bei der Analyse Höhendifferenzen sinnvoll auslesen zu können. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass die optische Achse der Kamera parallel zur Rotationsachse der Mutter steht und in etwa durch die Stativstange verläuft, um den von der Mutter überstrichenen Winkel auslesen zu können.
 - b) Nachdem die Mutter einen Winkel von rund 270° überstrichen hat, kommt das Häferl bei der verwendeten Schnur und Stativstange relativ abrupt zum Stillstand (vgl. Abb. a.4). Die bis dahin vom Häferl überwundene Höhendifferenz beträgt in etwa

$$\Delta h_2' = l_2' - l_0' \approx 63\text{cm}$$

$$\varphi_2 \approx 270^\circ$$

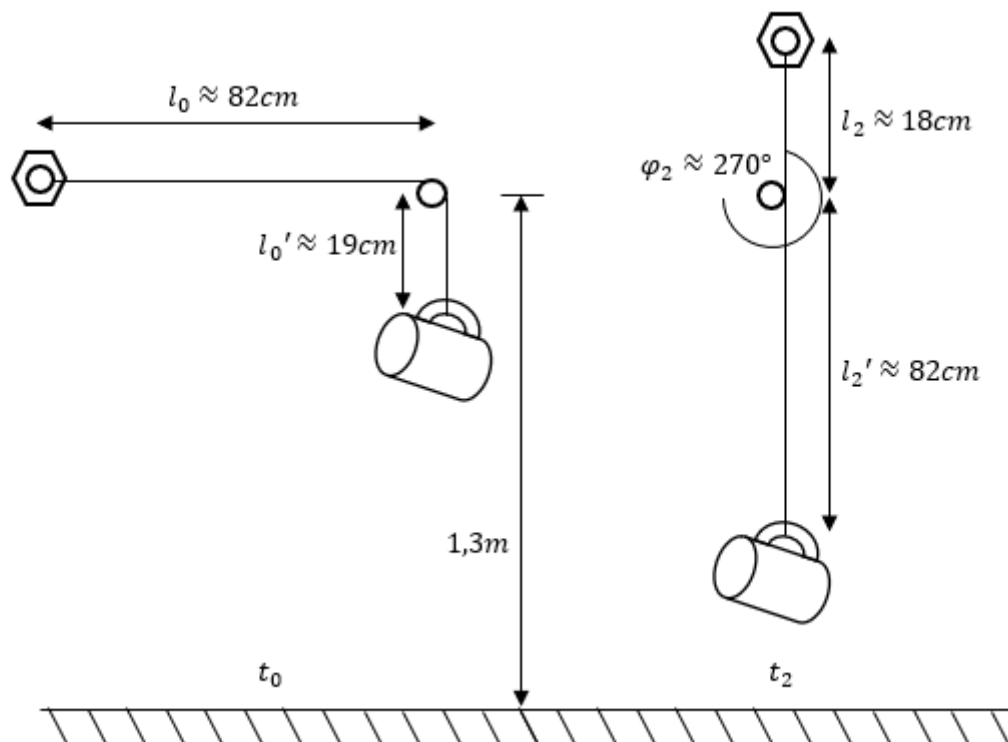


Abb. a.4: Skizzen zu den Zeitpunkten t_0 und t_2 .

3. Energie

- a) Die Summe der aus Häferl und Mutter freiwerdenden potentiellen Energie entspricht der Summe aus kinetischer Energie des Häferls, Rotationsenergie der Mutter und der Wärme aufgrund von Reibungsverlusten.

$$-(\Delta E_{\text{pot,Häfer}} + \Delta E_{\text{pot,Mutter}}) = E_{\text{kin,Häfer}} + E_{\text{rot,Mutter}} + Q$$

[Die Translationsbewegung der Mutter aufgrund der Pendellängenverkürzung ($\Rightarrow E_{\text{kin,Mutter}}$), sowie die Spannenergie der Schnur wurden hier vernachlässigt, wären bei Einbezug durch die Schülerinnen und Schüler jedoch auch korrekt.]

- b) $m_{\text{Häfer}} \approx 212,4 \text{ g}$ $m_{\text{Mutter}} \approx 11,0 \text{ g}$ $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$

$$-\Delta E_{\text{pot,ges,2}} = -[\Delta E_{\text{pot,Häfer,2}} + \Delta E_{\text{pot,Mutter,2}}] = g[m_{\text{Häfer}}(l'_2 - l'_0) + m_{\text{Mutter}}(l_2 - l_0)] \approx 1,24 \text{ J}$$

- c) Aus der Videoanalyse mit 8-facher Verzögerung lässt sich grob ablesen:

$$\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}(t_2) \approx \frac{360^\circ}{\frac{1}{8} \text{ s}} = 8 \cdot 360^\circ/\text{s}$$

Für die Rotationsenergie gilt mit der Winkelgeschwindigkeit ω_2 :

$$E_{\text{rot,Mutter,2}} = \frac{I \cdot \omega_2^2}{2}$$

wobei das Trägheitsmoment I näherungsweise angenommen werden kann als:

$$I \approx m_{\text{Mutter}} \cdot l_2^2$$

Damit ergibt sich mit der Kreisfrequenz f_2 :

$$E_{\text{rot,Mutter,2}} = \frac{m_{\text{Mutter}} \cdot l_2^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_2)^2}{2} \approx \frac{0,011 \cdot 0,18^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 8)^2}{2} \approx 0,45 \text{ J}$$

- d) Da $E_{\text{kin,Häfer}}(t_2) = 0$ und $E_{\text{kin,Mutter}}(t_2) = 0$, ergeben sich die Reibungsverluste zu:

$$Q_2 = -\Delta E_{\text{pot,ges,2}} - E_{\text{rot,Mutter,2}} \approx 1,24 - 0,45 \approx 0,79 \text{ J}$$

4. Zur Berechnung der Rotationsenergie zum Zeitpunkt t_1 kann die Winkelgeschwindigkeit ω wiederum aus dem Video abgeschätzt werden:

$$\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}(t_1) \approx \frac{135^\circ}{\frac{1}{8} \text{ s}} = 1080^\circ/\text{s}$$

Ebenso lässt sich der aktuelle Radius l_1 der Rotationsbewegung der Mutter aus dem Video auslesen:

$$l_1 \approx 30 \text{ cm}$$

$$E_{\text{rot,Mutter,1}} = \frac{m_{\text{Mutter}} \cdot l_1^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_1)^2}{2} \approx \frac{0,011 \cdot 0,3^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 3)^2}{2} \approx 0,18 \text{ J}$$

Für einen „runden“ Salto müsste die Mutter einerseits das Doppelte der momentanen Fadenlänge des Fadenpendels l_1 an Höhe überwinden können ($\Delta E_{\text{pot,Salto}}$), andererseits am obersten Punkt des Saltos noch eine ausreichend hohe Winkelgeschwindigkeit ω_1 besitzen, sodass die Zentrifugalkraft $F_{\text{Z,Salto}}$ die Gravitationskraft $F_{\text{G,Salto}}$ zumindest kompensiert ($E_{\text{rot,Salto}}$). Ein Vergleich der dafür benötigten Energie E_{Salto} mit der aktuellen Rotationsenergie der Mutter zeigt, dass dies möglich ist.

$$F_{\text{Z,Salto}} = m_{\text{Mutter}} \cdot \omega_1^2 \cdot l_1 \geq m_{\text{Mutter}} \cdot g = F_{\text{G,Salto}}$$

$$E_{\text{rot,Salto}} = I_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{2} = m_{\text{Mutter}} \cdot l_1^2 \cdot \frac{g}{2 \cdot l_1} = \frac{m_{\text{Mutter}} \cdot g \cdot l_1}{2}$$

$$E_{\text{Salto}} = \Delta E_{\text{pot,Salto}} + E_{\text{rot,Salto}} = 2 \cdot m_{\text{Mutter}} \cdot g \cdot l_1 + \frac{m_{\text{Mutter}} \cdot g \cdot l_1}{2} \approx 0,065 + 0,016 = 0,081 \text{ J} < E_{\text{rot,Mutter,1}}$$

5. Durch die Entkopplung der Mutter von der Schnur entspricht $E_{rot,Mut,1}$ nun ihrer kinetischen Energie und es ergibt sich für das Anfangstempo $v_{x,0}$ der Mutter in horizontaler Richtung:

$$v_{x,0} = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{rot,Mut,1}}{m_{Mut}}} \approx 5,65 \text{ m/s}$$

Mit der horizontalen Anfangsgeschwindigkeit $v_{x,0}$ der Mutter, kann die Distanz mittels aktueller Höhe der Mutter über dem Boden und der Formeln für den waagrechten Wurf berechnet werden.

Die Mutter befindet sich derzeit ca. $y_0 \approx 1,00 \text{ m}$ über dem Boden. Für die zurückgelegte Fallhöhe $\Delta y(t)$:

$$\Delta y(t) = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}} \approx \sqrt{\frac{2}{9,81}} \approx 0,45 \text{ s}$$

Waagrechter Wurf:

$$x(t) = v_{x,0} \cdot t \approx 5,65 \cdot 0,45 \approx 2,55 \text{ m}$$

Die vertikale Position der Mutter y in Abhängigkeit von ihrer horizontalen Position x ergibt sich zu:

$$y(x) = y_0 - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x}{v_{x,0}} \right)^2$$

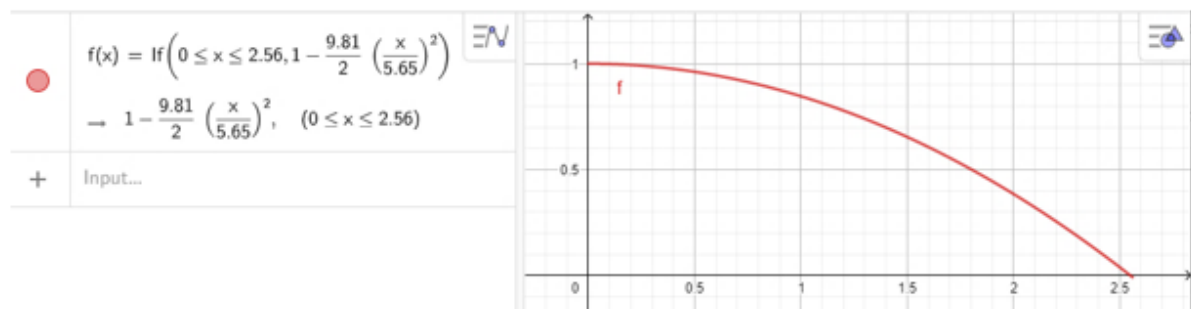


Abb. a.5: xy-Diagramm – waagrechter Wurf der Mutter.

6. $l_1, y_0: \pm 5 \text{ cm}$ (durch Videoanalyse)
 $m_{Mut}: \pm 1 \text{ g}$ ($\pm 0,1 \text{ g}$ durch Waage, $\pm 1 \text{ g}$ durch Masse der Schnur)
 $\omega: \pm 120^\circ/\text{s}$ (durch Videoanalyse)
7. Auch bei einer Pendeluhr wird eine große Masse immer dann mit dem Pendel gekoppelt und für einen kurzen Moment dem freien Fall ausgesetzt, wenn die Amplitude des Pendels zu gering wird. Diese Rückkopplung hält das Pendel trotz kleiner Verluste für eine längere Dauer bei ausreichender (für den/die BeobachterIn) Amplitude am Schwingen.

10.4.2 Lösungsvorschlag B – Einer Ärztin täglich Brot

- Reaktion von Flüssigkeiten und Gasen auf Druckänderungen
 - Das Innenvolumen lässt sich auf rund $(5 \pm 2) \text{ ml}$ reduzieren. Das entspricht einer Volumsänderung von ca. -75% .
 - Mit freiem Auge lässt sich **keine Volumsänderung** feststellen. Dies liegt an der **Inkompressibilität** von Flüssigkeiten (b) bzw. der **Kompressibilität** von Gasen (a).
 - Das Innere des Spritzenkolbens wird undurchsichtig $\leftrightarrow$ **Nebelbildung**. Aufgrund des flüssigen Wassers im Zylinder herrscht in der Luft darüber eine gewisse relative Luftfeuchtigkeit, höher als in (a), sofern die Laborluft eher trocken ist. Durch die Volumsreduktion und den damit verbundenen Druckanstieg wird die Luft im Inneren mit **Wassergas übersättigt** und dieses kondensiert (Tröpfchenbildung).
- Das Wasser aus der Wasserleitung kann in einem der beiden Bechergläser bereitgestellt werden, um zu überprüfen, ob sich die Wassertemperatur T_W der Raumtemperatur T_{atm} bereits angeglichen hat, können Wasser- und Raumtemperatur mit dem Alkoholthermometer nacheinander gemessen werden. Die Messung des aktuellen Luftdrucks p_{atm} kann mit dem Smartphone in der App phyphox im Bereich 'Sensoren' > 'Luftdruck' gemessen werden.
Für die Berechnungen im Zuge des Lösungsvorschlags werden die folgenden Werte angenommen, welche natürlich im Allgemeinen von den Messungen der Schülerinnen und Schüler abweichen werden:

$$T_W \approx T_{atm} \approx (22 \pm 1) ^\circ\text{C}, \quad p_{atm} \approx (950 \pm 0,2) \text{ hPa}$$

- Nach der erzwungenen Volumenvergrößerung bilden sich im flüssigen Wasser **gut erkennbare Gasbläschen**. In diesen, sowie über dem flüssigen Wasser befindet sich nun Wasser in gasförmiger Phase mit dem Siededruck entsprechend der Wassertemperatur (bei diesem Druck können flüssige und gasförmige Phase parallel koexistieren). Der Gasdruck im Inneren des Spritzenzylinders ist somit unabhängig vom Volumen, da bei Volumsvergrößerung quasi instantan mehr Teilchen aus der flüssigen in die gasförmige Phase übergehen und den Gasdruck wieder angleichen.
Aufgrund der Inkompressibilität von Flüssigkeiten und der deutlich geringeren Dichte im Wassergas verglichen zur flüssigen Phase nimmt das Volumen des flüssigen Wassers zwar minimal ab, dies ist jedoch in der Praxis und mit freiem Auge nicht beobachtbar.
- Das Phasendiagramm (Abb. b.12) zeigt (unter anderem) die Siedekurve von Wasser. Wie die in Abb. b.13 eingezeichneten gelben Linienmarkierungen zeigen, siedet Wasser mit einer Temperatur von $T_W \approx 22 ^\circ\text{C}$ bei einem Druck $p_{Gas} \approx 23 \text{ hPa}$.

Aufgrund der nahezu Inkompressibilität des flüssigen Wassers ergibt sich mit einem Gasvolumen von $V_{Gas} \approx 15 \text{ ml}$, der Boltzmann-Konstanten $k_B \approx 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ und der allgemeinen Gasgleichung:

$$N = \frac{p_{Gas} \cdot V_{Gas}}{k_B \cdot T_W} \approx \frac{2300 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}}{1,381 \cdot 10^{-23} \cdot 295} \approx 8,468 \cdot 10^{18} \text{ Teilchen}$$

Mit der Avogadro-Konstanten $N_A \approx 6,022 \cdot 10^{23} / \text{mol}$ ergibt sich für die Stoffmenge n an gasförmigem Wasser:

$$n = \frac{N}{N_A} \approx 14,1 \mu\text{mol}$$

und somit über die molare Masse $M = 18 \text{ g}$ für ${}^1_1\text{H}_2 {}^{16}_8\text{O}$ eine Masse m von

$$m = n \cdot M \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$$

Bei einer Dichte $\rho \approx 998 \text{ kg/m}^3$ für flüssiges Wasser bei 22°C (Druckauswirkung vernachlässigbar) entspricht dies einer Reduktion des Volumens des flüssigen Wassers im Spritzenzylinder $\Delta V_{fl.}$ von

$$\Delta V_{fl.} = \frac{m}{\rho} \approx 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$$

und unter Berücksichtigung des Spritzenzylinder-Innenradius $R \approx 1,05 \text{ cm}$ (z.B. mittels Schiebelehre gemessen) eine Änderung der Höhe des Wasserzylinders in flüssiger Phase Δh von

$$\Delta h = \frac{\Delta V_{fl.}}{R^2 \cdot \pi} \approx 0,73 \text{ }\mu\text{m}$$

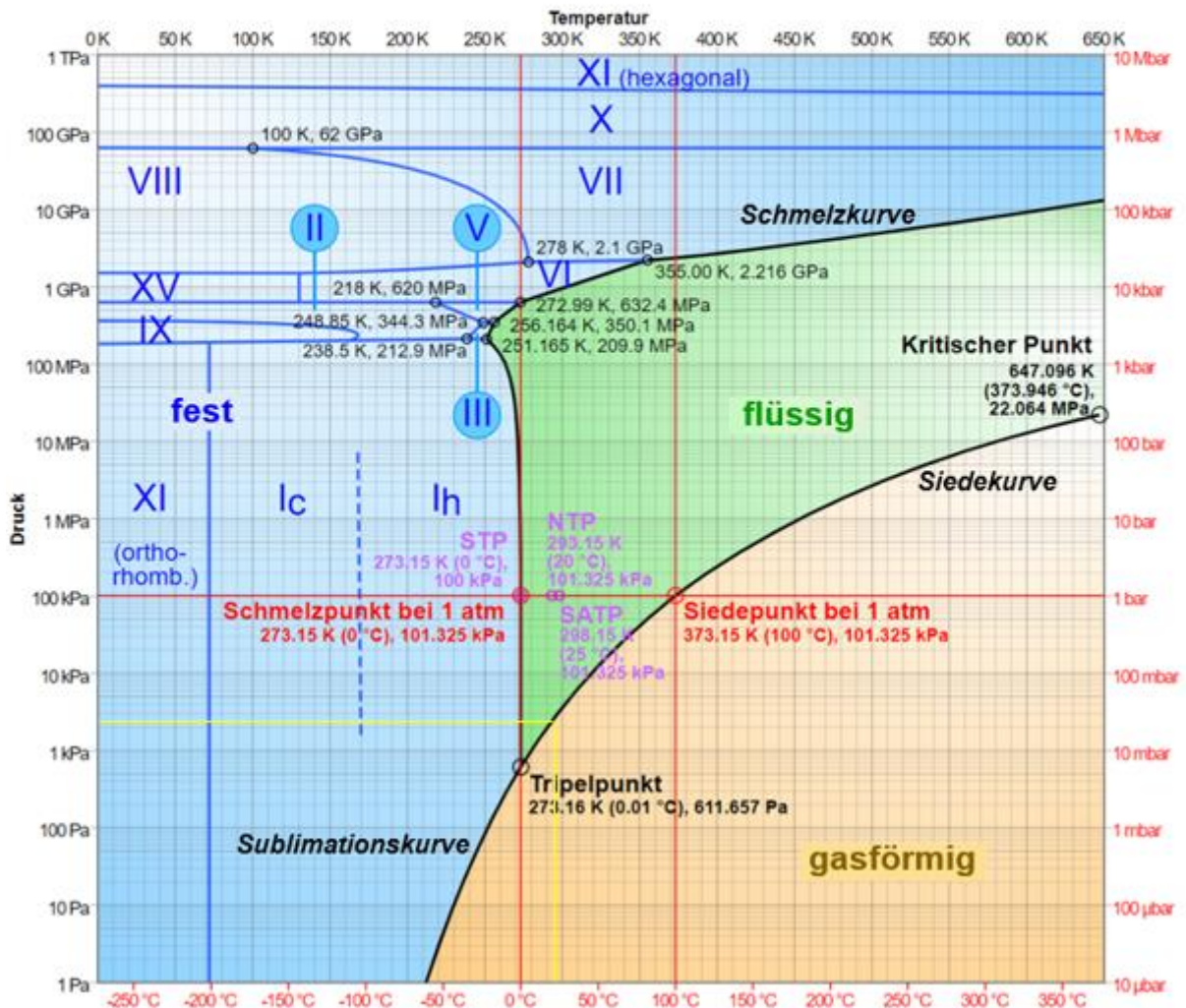


Abb. b.13: Phasendiagramm von Wasser. Die gelben Linienmarkierungen erlauben ein Auslesen des Siededruckes p_1 von Wasser bei einer Temperatur von $T_{W1} \approx 22^\circ\text{C}$. (Verändert nach Chaplin, 2000-2020).

5. Sowohl der Druck p_{Gas} innerhalb, als auch jener p_{atm} außerhalb der Spritze üben eine Kraft $\vec{F}_{p_{Gas}}$ bzw. $\vec{F}_{p_{atm}}$ auf den Kolben aus. Um ein Kräftegleichgewicht herzustellen, damit der Kolben gehalten werden kann (die Reibung wird hier vernachlässigt), ist eine Kraft $\vec{F}_E$ durch die Experimentatorin bzw. den Experimentator erforderlich (vgl. Abb. b.4).

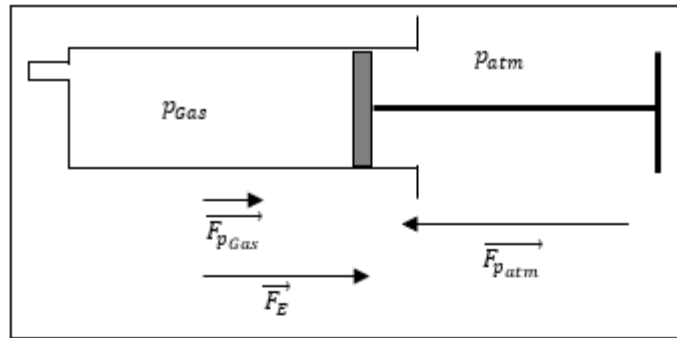


Abb. b.4: Kräftegleichgewicht am Spritzenkolben.

Mit der Querschnittsfläche des Spritzenkolbens A gilt:

$$\vec{F}_{p_{Gas}} = p_{Gas} \cdot A, \quad \vec{F}_{p_{atm}} = p_{atm} \cdot A \quad \text{und} \quad |\vec{F}_{p_{Gas}}| + |\vec{F}_E| = |\vec{F}_{p_{atm}}|$$

Es folgt:

$$|\vec{F}_E| = A \cdot (p_{atm} - p_{Gas}) \approx A \cdot 927 \text{ hPa}$$

Zur Bestimmung von A kann beispielsweise der Innendurchmesser ($d \approx 2,1 \text{ cm}$) der Spritze mittels Schiebelehre abgemessen werden, oder ein bekanntes Innenvolumen der Spritze (zB. 20 ml) durch die mittels Schiebelehre gemessene Höhe ($h \approx 5,7 \text{ cm}$) des entsprechenden Zylinders im Inneren der Spritze dividiert werden.

Es ergibt sich eine Fläche von rund $A \approx 3,5 \text{ cm}^2$ und damit:

$$|\vec{F}_E| \approx 32 \text{ N}$$

6. Die gesuchte Gesamtkraft ist hier die Summe aus $|\vec{F}_E|$ und der Gleitreibungskraft $|\vec{F}_R|$. Zur Bestimmung der Gleitreibungskraft können sich die SuS diverse Versuchsaufbauten einfallen lassen. Eine Möglichkeit wäre, die Spritze im expandierten Zustand an der Fingerauflage auf zwei Holzklötze oder andere stabile Körper zu stützen und anschließend mehr und mehr Masse m auf den Spritzenkolben zu legen (bzw. wieder zu entfernen), bis die Gewichtskraft $\vec{F}_G$ ausreicht, um den Kolben gerade noch bei konstantem Tempo am Sinken zu halten (vgl. Abb. b.5).

Mit der Erdbeschleunigung g ergibt sich

$$|\vec{F}_R| = |\vec{F}_G| = m \cdot g \approx (1,3 \pm 0,1) \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \\ = (13 \pm 1) \text{ N}$$

Und somit für die Gesamtkraft $|\vec{F}_{Ges}| \approx 45 \text{ N}$.



Abb. b.5: Aufbau zur Messung der Gleitreibungskraft zwischen Spritzenkolben und Zylinder.

7. Der hydrostatische Druck p_{hyd} nimmt mit der Höhe h der Flüssigkeitssäule über dem Messpunkt zu und lässt sich mittels der Dichte $\rho \approx 10^3 \text{ kg/m}^3$ für Wasser und der Erdbeschleunigung $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ bestimmen:

$$p_{hyd} = \rho \cdot g \cdot h$$

Die Höhe h ergibt sich über die bereits in Aufgabe 4. bestimmte Querschnittsfläche A des Kolbens (vgl. Abb. b.6).

$$p_{hyd} = \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot \frac{V_{fl.}}{A} \approx 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$p_{hyd} \approx 1,4 \text{ hPa} \ll 23 \text{ hPa} \approx p_{Gas}$$

Die Vernachlässigung ist angesichts anderer Rundungsfehler und Messungenauigkeiten also jedenfalls gerechtfertigt.

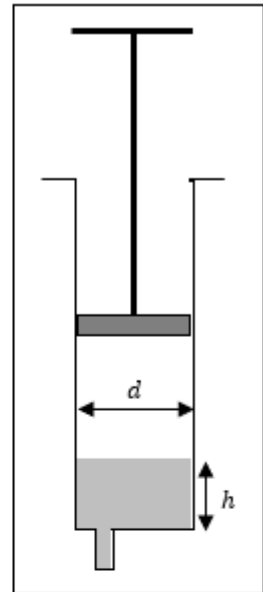


Abb. b.6: Skizze zum hydrostatischen Druck im Spritzenzylinder.

8. Ausgehend vom Meeresniveau als Referenzhöhe, ergibt sich der Wert des aerostatischen Luftdrucks p_L als:

$$p_L = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot h}{p_0}}$$

$p_0 \approx 10^3 \text{ hPa}$... aerostatischer Luftdruck auf Meeresniveau

$\rho_0 \approx 1,2041 \text{ kg/m}^3$... Dichte der Luft auf Meeresniveau

$g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$... Erdbeschleunigung

h ... Höhe über Meeresniveau; Großglockner: $h_{GG} \approx 3798 \text{ m}$; Mount Everest: $h_{ME} \approx 8848 \text{ m}$

Zur Bestimmung der jeweiligen Siedetemperatur von Wasser kann zunächst der aerostatische Luftdruck p_L auf dem Großglockner bzw. dem Mount Everest berechnet werden und anschließend neuerlich die entsprechende Siedetemperatur aus dem Diagramm in Abb. b.12 abgelesen werden.

Großglockner

$$p_{LGG} \approx 639 \text{ hPa}$$

$$T_{GG} \approx 90^\circ \text{C}$$

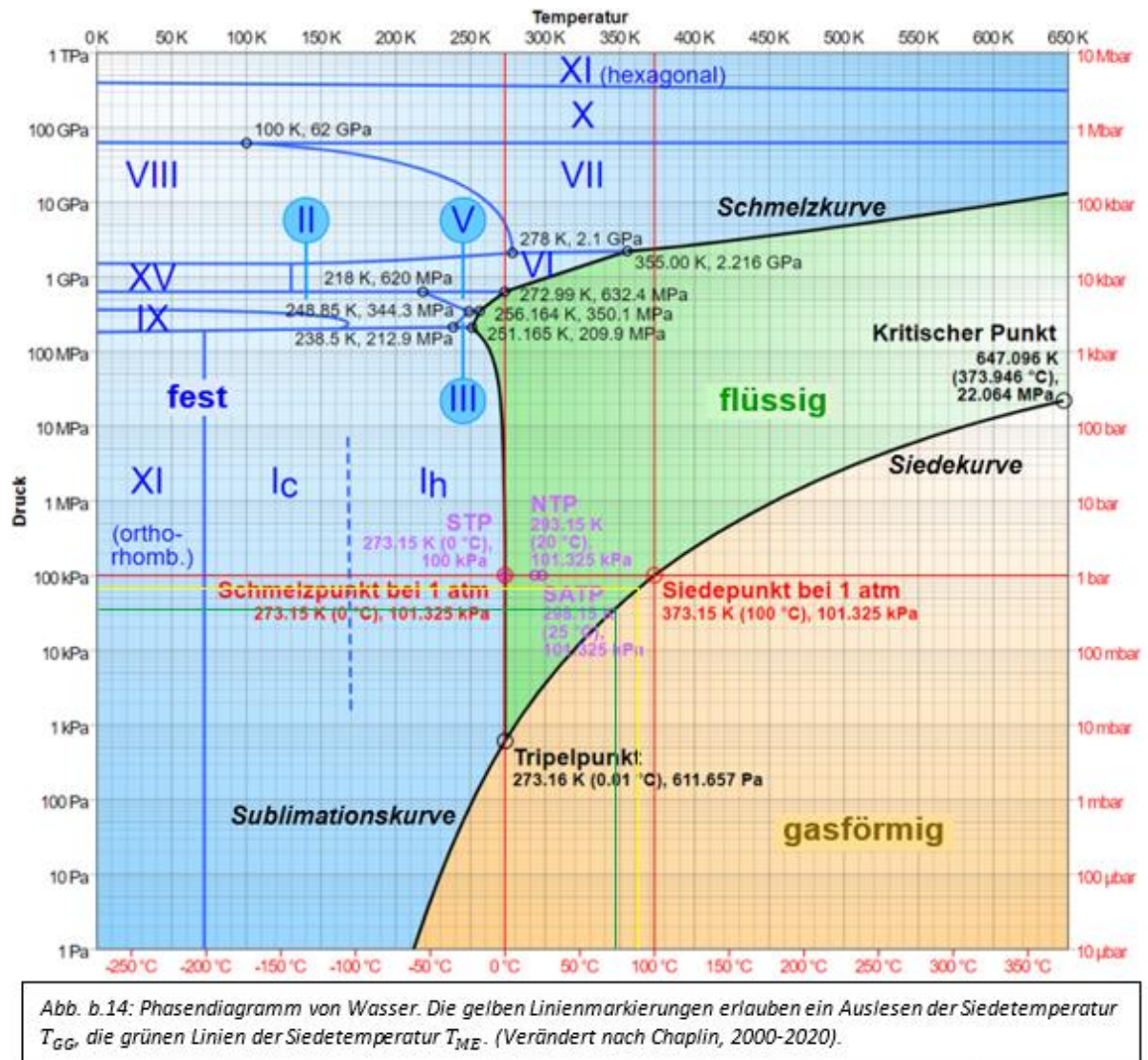
(vgl. Abb. b.14, gelbe Linienmarkierungen)

Mount Everest

$$p_{LME} \approx 352 \text{ hPa}$$

$$T_{ME} \approx 73^\circ \text{C}$$

(vgl. Abb. b.14, grüne Linienmarkierungen)



9. Mit dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz, Tabelle b.1 und den Ergebnissen der Aufgaben 2. und 4. ergibt sich:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \approx \frac{(950 - 23) \cdot 10^2 \text{ Pa} \cdot \pi \cdot (1,125 \cdot 10^{-4} \text{ m})^4}{8 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}} \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} = 0,25 \text{ ml/s}$$

10. Zur experimentellen Messung des Volumenstroms kann mittels Stoppuhr bestimmt werden, wie lange es dauert, bis ein bestimmtes Volumen an Wasser in die Spritze eingesogen wurde. Je größer das Zeitintervall der Messung gewählt wird, desto stärker verringert sich im Laufe der Messung bei senkrecht gehaltener Spritze der Druckunterschied zwischen den beiden Enden der Kanüle aufgrund des steigenden hydrostatischen Drucks im Spritzenzylinder, was zu einem geringeren Wert für den Volumenstrom gegenüber der Berechnung aus Aufgabenstellung 8 führt. Darüber hinaus können nach größeren Zeitintervallen, für welche man Wasser durch die Kanüle einströmen lässt, nach der Entspannung des Systems kleine Lufteinschlüsse im Inneren des Spritzenkolbens festgestellt werden, was darauf hindeutet, dass der Spritzeninnenraum, nicht vollkommen dicht abgeschlossen war (Dichtheitsmängel zw. Spritzenkolben und Spritzenzylinder, sowie zwischen Zylinder und Kanülenfassung). Auch dieser Effekt führt zu einer sinkenden Druckdifferenz und somit einem abnehmenden Volumenstrom. Wählt man das Zeitintervall hingegen möglichst kurz, wird es umso schwieriger das eingeströmte Volumen genau zu bestimmen. Beides spielt in die Messungsgenauigkeit mit ein und bedingt eine ausbalancierte Wahl des Zeitintervalls.

Im Zuge einer kleinen Messreihe (siehe Tabelle b.2 im Anhang) ergaben sich typische Werte von

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx (0,23 \pm 0,02) \text{ ml/s}$$

Die Abweichung entspricht somit rund 10 % des berechneten Wertes.

(Eine weitere potentielle Fehlerquelle stellt der angegebene Wert für den Innendurchmesser der Kanüle dar. Dieser wurde weder vom Hersteller noch vom Händler angegeben und auch bei diversen Kontaktversuchen konnte der Wert samt Genauigkeit leider nicht in Erfahrung gebracht werden. Daher wurde der Innendurchmesser selbst experimentell abgeschätzt mit einem Fehler von rund $d \approx (0,225 \pm 0,025) \text{ mm}$.)

11. Der Druckunterschied Δp zwischen den beiden Enden der Kanüle beträgt unter Berücksichtigung des hydrostatischen Drucks p_{hyd} der Wassersäule im Spritzenzylinder:

$$\Delta p = p_{atm} - (p_{Gas} + p_{hyd}) = p_{atm} - p_{Gas} - \rho \cdot g \cdot h$$

Durch Einsetzen ergibt sich:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}(h) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} - \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot h$$

$h(t)$ und $h'(t)$ wurden bereits mit Kuvert Nr. b11-5 hergeleitet.

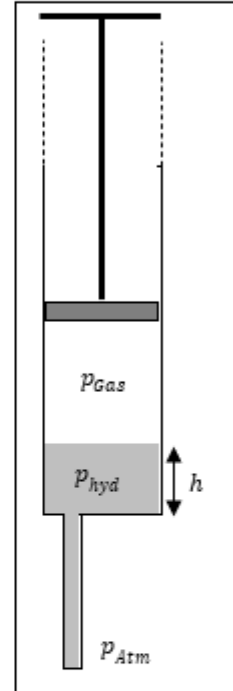


Abb. b.8: Skizze zu den Druckverhältnissen bei idealisierter Spritze mit Kanüle.

Durch Einsetzen aller Konstanten ergibt sich für die drei Funktionen:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{\Delta t}(h) &= \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} - \frac{\rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot h \\ \frac{\Delta V}{\Delta t}(h) &\approx \frac{(95000 - 2300) \cdot \pi \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2}} - \frac{10^3 \cdot 9,81 \cdot \pi \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2}} \cdot h \\ \frac{\Delta V}{\Delta t}(h) &\approx 2,535 \cdot 10^{-7} - 2,683 \cdot 10^{-8} \cdot h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h(t) &= \frac{(p_{atm} - p_{Gas})}{\rho \cdot g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}\right) \\ h(t) &\approx \frac{(95000 - 2300)}{10^3 \cdot 9,81} \cdot \left(1 - e^{-\frac{10^3 \cdot 9,81 \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot (1,05 \cdot 10^{-2})^2} t}\right) \\ h(t) &\approx 9,450 \cdot (1 - e^{-7,746 \cdot 10^{-5} \cdot t}) \end{aligned}$$

$$h'(t) = \frac{(p_{atm} - p_{Gas}) \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l \cdot R^2} t}$$

$$h'(t) \approx \frac{(95000 - 2300) \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot (1,05 \cdot 10^{-2})^2} \cdot e^{-\frac{10^3 \cdot 9,81 \cdot (1,125 \cdot 10^{-4})^4}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot (1,05 \cdot 10^{-2})^2} t}$$

$$h'(t) \approx 7,320 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-7,746 \cdot 10^{-5} \cdot t}$$

Die Abbildungen b.9, b.10 und b.11 zeigen die drei Funktionen dargestellt mit GeoGebra.

Abb. b.9 lässt erkennen, dass der Volumenstrom bezüglich momentaner Höhe der Wassersäule im Zylinder linear abfällt und bei einer Höhe von rund 9,45 m zum Erliegen kommt.

- **Steigungsverhalten** $\Leftarrow$ Der hydrostatische Druck steigt linear mit der Höhe der Wassersäule.
- **Nullstelle bei 9,45 m** $\Leftarrow$ Kräftegleichgewicht $p_{hyd} + p_{Gas} = p_{atm}$
- $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h=0) \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} = 0,25 \text{ ml/s} \leftrightarrow$ entspricht Lösung aus Aufg. 9.

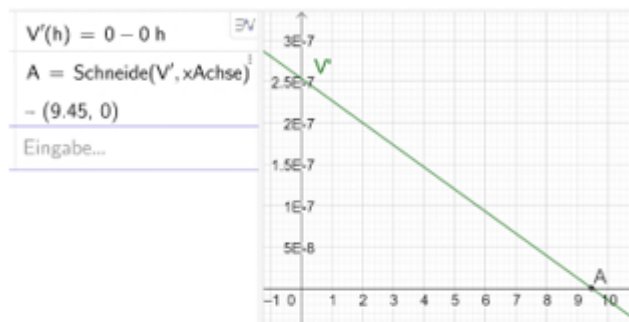


Abb. b.9: Funktion $\frac{\Delta V}{\Delta t}(h)$ ausgewertet mit GeoGebra.

Wie aus Abb. b.10 ablesbar ist, steigt die Höhe der Wassersäule im Spritzenzylinder von 0 m beginnend zeitlich gesehen streng monoton an. Der Anstieg wird jedoch exponentiell kleiner und die Höhenfunktion schmiegt sich letztlich asymptotisch ihrem Maximalwert von rund 9,45 m an.

- **Steigungsverhalten** $\Leftarrow h(t) \dots$ negativ beschleunigt $\Leftarrow$ Der Volumenstrom nimmt mit steigender Höhe ab.
- **Nullstelle bei $t = 0 \text{ s}$** $\Leftarrow$ Spritzenzylinder ist zu Beginn leer.
- **Grenzwert bei ca. 9,45 m** $\Leftarrow$ Kräftegleichgewicht $p_{hyd} + p_{Gas} = p_{atm}$

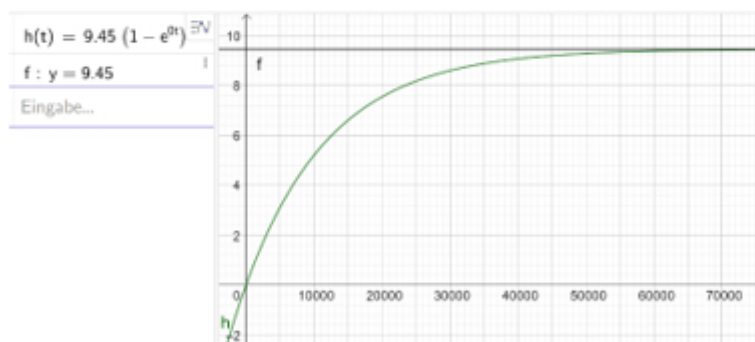


Abb. b.10: Funktion $h(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.

Auch Abb. b.11 zeigt den zeitlich gesehen exponentiellen Abfall des Tempos mit dem die Wassersäulenhöhe steigt.

- **Steigungsverhalten** $\Leftarrow h'(t) \dots$ exponentiell fallend $\Leftarrow \Delta p \dots$ exponentiell fallend.
- **Keine Nullstellen** $\Leftarrow$ Je höher h, desto kleiner Δp , desto kleiner $h'(t)$.
- $\frac{\Delta h}{\Delta t}(t=0) \approx 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \leftrightarrow$ Dies entspricht bei von hier an konstant angenommenem Tempo einer Überwindung von 5,1 cm Höhendifferenz ($\approx$ Höhe der Wassersäule im Spritzenzylinder bei 18 ml Füllvolumen) in rund 70 s, was gut zu den Messwerten aus Tabelle b.2 (siehe Anhang) passt.

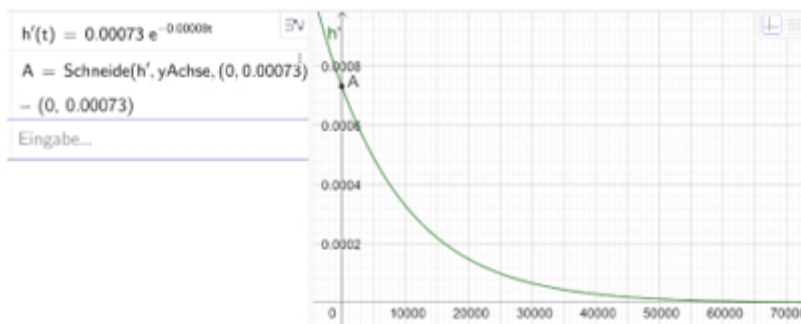


Abb. b.11: Funktion $h'(t)$ ausgewertet mit GeoGebra.

12. Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse

- U.a.: In einem herkömmlichen Reindl kann Wasser in flüssiger Form nur auf viel niedrigere Temperaturen gebracht werden. $\Rightarrow$ Speisen brauchen viel **länger**, bis sie **durchgegart** sind. Manche **Keime** und Bakterien können durch den Siedeprozess nicht abgetötet werden. Ein **Druckkochtopf** kann Abhilfe schaffen.
- Aufgrund der **Kompressibilität** von Gasen nimmt die Dichte der Atmosphäre mit der Höhe ab, wodurch auch die **Auftriebskraft** auf einen Heißluftballon entsprechend abnimmt.
- Aufgrund der **Inkompressibilität** von Flüssigkeiten bleibt die **Wasserdichte** und somit auch die Auftriebskraft auf ein U-Boot trotz steigendem Druck näherungsweise **konstant**.
- Die maximal zu erreichende Wassersäulenhöhe zeigt, dass der bis dahin dominant gewordene, hydrostatische Druck einer rund 10 m hohen Wassersäule (aufgerundet, da ja auch noch der Wassergasdruck wirkt) in etwa dem aerostatischen Luftdruck auf Höhe der Experimentdurchführung gleicht. Es lässt sich daher ableiten, dass der Druck etwa beim Tauchen um rund **1 atm pro 10 m** Tauchtiefe ansteigt.
 $p_{ges}(h = -30 \text{ m}) \approx 4 \text{ atm}$, da der atmosphärische Luftdruck nicht vergessen werden darf.
- U.a.: Bei **Injektionen** spielt der **Volumenstrom** aus der Spritze eine wichtige Rolle. Zu hohe Werte können dabei zu einer übermäßigen, spontanen Druckerhöhung im Inneren des Blutgefäßes führen. Insbesondere bei Vorliegen einer Blutgefäßschwachstelle, etwa durch arterielle Nekrose (abgestorbenes Gewebe) oder Aneurysma (lokale Auswölbung eines Blutgefäßes), kann dies zu einer Verletzung des Blutgefäßes und zu inneren Blutungen führen. Wie sich anhand des **Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes** zeigt, kann der Volumenstrom jedoch durch geeignete **Wahl des Kanüledurchmessers** praktisch begrenzt werden. (Dabei sollte auch beachtet werden, dass dünnere Blutgefäße, sowie Venen aufgrund des regulären Blutdrucks, welchem sie ausgesetzt sind, dünnere Gefäßwände haben als herznahe Blutgefäße, sowie Arterien.)
- U.a.: Durch Variation der **Aufhänghöhe des Infusionsbeutels** lässt sich der hydrostatische Druck an der Einstichstelle variieren. Dieser sollte stets etwas über dem lokalen Blutdruck liegen, um korrekt orientierte Fließgeschwindigkeit zu gewährleisten. Der Betrag des Volumenstroms entscheidet über die **Verdünnungsrate** der verabreichten Substanz im Blutkreislauf und kann ebenfalls durch Kanüledurchmesser und Aufhänghöhe des Infusionsbeutels variiert werden. (Eine höhere Verdünnungsrate kann im Allgemeinen bei Verabreichung in eine Vene gewährleistet werden, da diese in Richtung Herz an Querschnittsfläche zulegen. Daher werden Infusionen meist in Venen verabreicht, was höhere Volumenströme zulässt und vor allem zu hohe lokale Konzentrationen und ggf. damit verbundene Reaktionen hemmt.)
 Ebenso variiert der **hydrostatische Blutdruck** mit der **Höhe** der Einstichstelle **in Relation zum Herzen**. Daher ist es wichtig, ob die Patientin oder der Patient bei der Verabreichung etwa in das Armgelenk den Arm stehend nach oben hält, ihn in sitzender Position auf dem Schoß ablegt oder in liegender Position auf Herzhöhe neben sich liegen hat.

Typische Werte für besonders Interessierte:

- **Arterieller Blutdruck** in der Aorta: $P_A \approx 13,3 \text{ kPa}$ (siehe Klinka et.al., 2010).
- **Zentralvenöser Blutdruck**: $P_V \approx 0,4 \text{ kPa}$ (vgl. Klinka et.al., 2010).
- Vgl. **hydrostatischer Druck** pro m Höhendifferenz: $P_{Hyd} \approx 9,8 \text{ kPa}$
- „Die **Amplitude des Druckpulses** (= systolischer Blu[t]druck – diastolischer Blutdruck) beträgt beim gesunden Erwachsenen in körperlicher Ruhe etwa $40 \text{ mmHg} = 5,4 \text{ kPa}$ [...]“ (Klinka et.al., 2010).

10.4.3 Lösungsvorschlag C – Pharao für einen Tag

1. Schiffbeladung

Berechnung des Schiffvolumens V_S :

$$b := b_1 + b_2 = 3m$$

$$V_S = h_S \cdot b \cdot (l_1 + l_2) = 108 \text{ m}^3$$

Gesamtmasse m_{ges} (Schiff + Ladung):

$$m_{ges} = m_S + x \cdot m_B = (20.000 + 2.500x)kg$$

Dichte von Wasser: $\rho_W \approx 1.000 \text{ kg/m}^3$

Berechnung der max. aufladbaren Steinblöcke x_{max} :

$$\frac{m_{ges}}{V_S} \leq \rho_W$$

$$\frac{20.000 + 2.500x}{108} \leq 1.000$$

$$x \leq 35,2$$

$$x_{max} = 35 \text{ Blöcke}$$

2. Hafenrampe

Abbildung c.6 zeigt die vektorielle Verteilung der Gravitationskraft auf einen Steinblock in eine normal und eine parallel zur Rampe stehende Kraft.

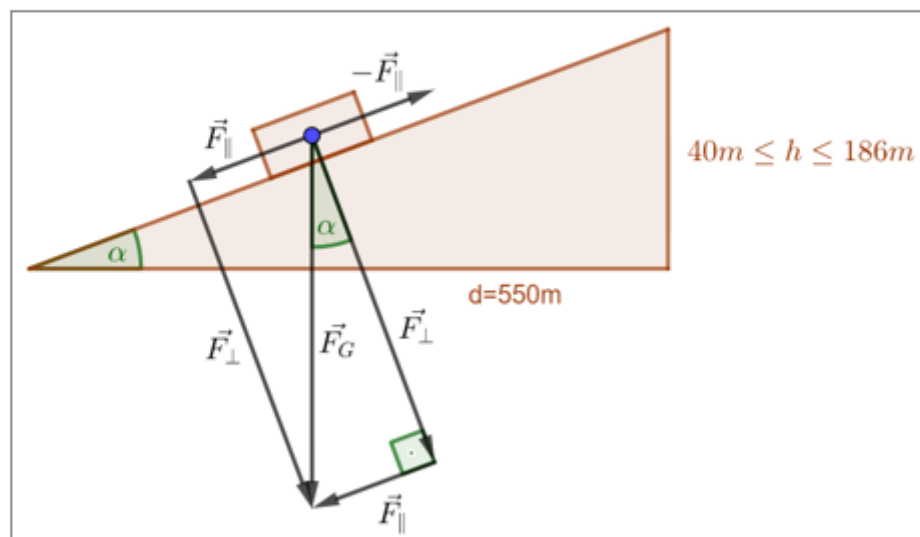


Abb. c.6: Kräfteparallelogramm beim Aufzug von Steinblöcken über die Hafenrampe

Gewichtskraft $\vec{F}_G$:

$$|\vec{F}_G| = m_B \cdot g$$

Steigungswinkel α :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)$$

Normalkraft $\vec{F}_\perp$ in Abhängigkeit der Rampenhöhe h :

$$|\vec{F}_\perp|(h) = \cos(\alpha) \cdot |\vec{F}_G|$$

$$|\vec{F}_\perp|(h) = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g \quad \left[= \frac{m_B \cdot g \cdot d}{\sqrt{d^2 + h^2}}\right]$$

Hangabtriebskraft $\vec{F}_\parallel$ in Abhängigkeit der Rampenhöhe h :

$$|\vec{F}_\parallel|(h) = \sin(\alpha) \cdot |\vec{F}_G|$$

$$|\vec{F}_\parallel|(h) = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g \quad \left[= \frac{m_B \cdot g \cdot h}{\sqrt{d^2 + h^2}}\right]$$

Reibungskraft $\vec{F}_R$:

$$|\vec{F}_R| = |\vec{F}_\perp| \cdot \mu$$

$$|\vec{F}_R|(h) = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g \cdot \mu \quad \left[= \frac{m_B \cdot g \cdot d \cdot \mu}{\sqrt{d^2 + h^2}}\right]$$

a) Relative Änderung der...

i. Reibungskraft:

$$\frac{|\vec{F}_R|(186)}{|\vec{F}_R|(40)} = \frac{\cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{186}{550}\right)\right)}{\cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{40}{550}\right)\right)} \approx 0,95$$

$$\frac{|\vec{F}_R|(186)}{|\vec{F}_R|(40)} - 1 \approx -0,05$$

Die Reibungskraft nimmt um ca. 5% ab.

ii. Hangabtriebskraft:

$$\frac{|\vec{F}_\parallel|(186)}{|\vec{F}_\parallel|(40)} = \frac{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{186}{550}\right)\right)}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{40}{550}\right)\right)} \approx 4,42$$

$$\frac{|\vec{F}_\parallel|(186)}{|\vec{F}_\parallel|(40)} - 1 \approx 3,42$$

Die Hangabtriebskraft nimmt um ca. 342% zu.

b) Zugkraft:

$$\vec{F}_z(h) = \vec{F}_\parallel(h) + \vec{F}_R(h)$$

Auswertung mit GeoGebra (siehe Abb. c.7):

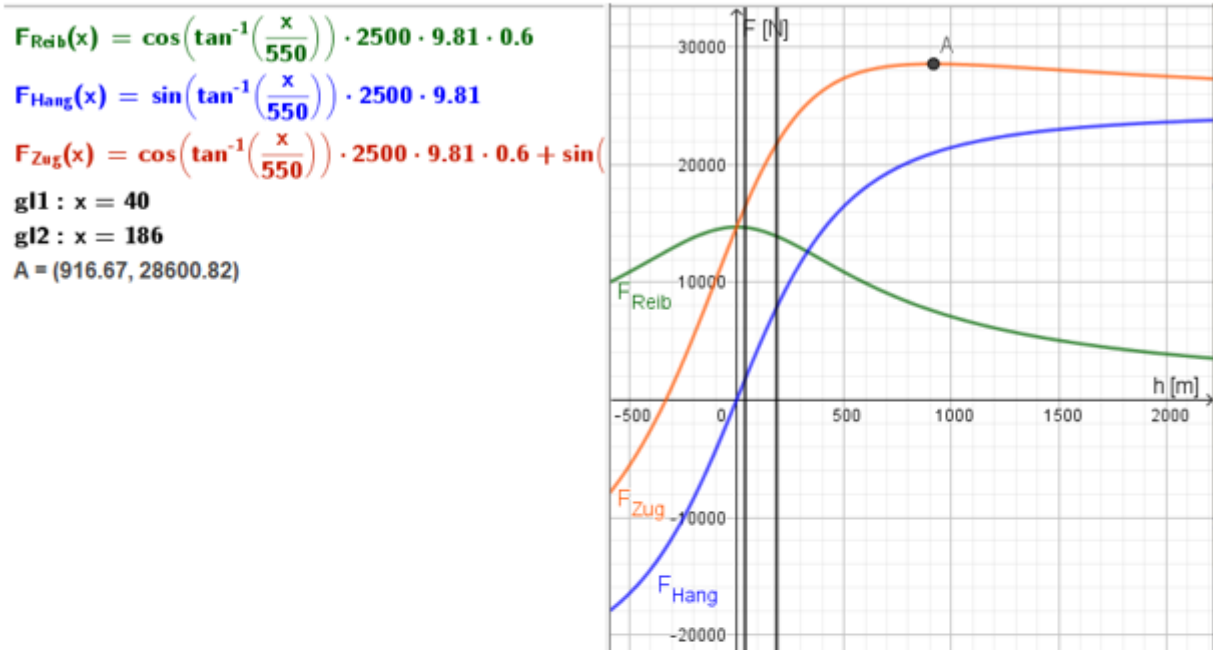


Abb. c.7: Screenshot aus GeoGebra zur Bestimmung der maximalen Zugkraft bei unbegrenzt wachsender Gerüsthöhe h . Der Punkt A markiert diesen Punkt.

Wie anhand von Abb. c.7 erkennbar ist, erreicht die erforderliche Zugkraft bei einer **Gerüsthöhe von ca. 917 m** ihr Maximum mit rund 28,6 kN. Die Stelle, an welcher die Funktion $\vec{F}_z(h)$ ihr Maximum erreicht, ist natürlich unabhängig von der Steinblockmasse m_B , sowie der Erdbeschleunigung g .

Es zeigt sich, dass die Beförderung von Materialien über eine Rampe aufgrund der Reibung nur bei geringen Steigungswinkeln gegenüber einer senkrechten Beförderung weniger Kraft benötigt. Ab welchem Steigungswinkel die bei einer Rampe benötigte Zugkraft die reine Gewichtskraft des zu transportierenden Körpers übersteigt, hängt vom Reibungskoeffizienten ab. Bei dem gegebenen Wert von $\mu = 0,6$ liegt dieser maximale Steigungswinkel bei rund 28° .

Für das Pyramidenbeispiel würde das bedeuten, dass die Rampe maximal bis zu einer Gerüsthöhe über Hafenniveau von rund 293 m und rein hinsichtlich der aufzuwendenden Kraft effizient wäre.

Der Grenzwert der Zugkraftfunktion entspricht der Gewichtskraft des Steinblocks.

c) Zitat:

- i. Einige der aus dem Zitat möglicherweise hervorgehende Aspekte, welche physikalisch gesehen sinnlos sind:
- o Zum einen sind 2,5 t kein Gewicht, sondern eine Masse. Bei einer Steinblockmasse von 2,5 t würde dies auf der Erdoberfläche einer Gewichtskraft von rund 25 kN entsprechen.
 - o Eine Verlängerung des Transportweges, also der Hypotenuse der Rampe bei gleicher zu erreichender Höhe, würde die Hangabtriebskraft verringern, die Reibungskraft erhöhen und die erforderliche Zugkraft in Abhängigkeit vom Maß der Verlängerung verändern.
 - o Was mit dem angesprochenen „Kraftaufwand“ hier genau gemeint ist, ist unklar. Abitz verwechselte hier wohl die Begriffe Kraft und Energie.
 - o Eine Masse horizontal zu tragen, erfordert stets den gleichen Kraftaufwand, unabhängig von der Distanz.
 - o Die verrichtete Arbeit beim horizontalen Tragen einer Masse (Reibungseffekte ausgeklammert) ist stets 0 J.
- ii. Die erforderliche Zugkraft ergibt sich durch Einsetzen in die bereits bekannte Funktion.

$$|\vec{F}_Z|(d) = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g + \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)\right) \cdot m_B \cdot g \cdot \mu$$

Der für die Berechnung der Arbeit benötigte Weg l ergibt sich aus:

$$l = \sqrt{d^2 + h^2}$$

Eine Verlängerung des horizontalen Transportweges um 1 m hätte die folgenden Auswirkungen auf die benötigte Zugkraft beziehungsweise die pro Steinblock zu verrichtende Arbeit:

- o Für einen Basisstein:
Zugkraft verringert sich von rund 16,624 kN auf rund 16,620 kN.
Arbeit steigt von rund 8,769 MJ auf rund 8,782 MJ.
- o Für den Schlussstein:
Zugkraft verringert sich von rund 22,499 kN auf rund 22,487 kN.
Arbeit steigt von rund 11,868 MJ auf rund 11,883 MJ.

3. Schrägaufzug

- a) Diese Fragestellung entspricht vom Prinzip her einer Fermi-Aufgabe. Im Vordergrund steht daher das Ausmachen von Einflussfaktoren und die Abschätzung derer.

Unter folgenden Annahmen:

- o Masse eines Arbeiters $m_A = 70 \text{ kg}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 66)
- o Maximale Masse eines pro Hand getragenen Massestücks der Arbeiter $m_H = 25 \text{ kg}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 66)
- o Durchschnittliche Dauer eines Arbeitsschrittes inklusive beladen des Aufzugs, Treppe hochgehen, Aufzug besteigen, Aufzugsfahrt, abladen und aussteigen, Aufzug zurücklassen (Arbeitstakt) $t_T = 15 \text{ min}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 69)
- o Arbeitstag ohne Pausen $t_D = 10 \text{ h}$ (vgl. Abitz, 1992, S. 69)

und den bekannten Größen:

- o Masse eines Steinblocks $m_B = 2,5 \text{ t}$
- o Höhe $h_A = 10 \text{ m}$
- o Erdbeschleunigung $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$
- o Masse von Aufzug (Seil, Käfig, Ladeplattform) wird so wie die Reibung vernachlässigt

ergibt sich eine erforderliche Arbeiterzahl Z von

$$m_B \leq Z \cdot (m_A + 2m_H)$$

$$Z = 21$$

und damit eine pro Arbeiter an einem Tag verrichtete Arbeit W von

$$W = \frac{t_D}{t_T} \cdot \frac{m_B}{Z} \cdot g \cdot h_A \approx 467 \text{ kJ}$$

Dies entspricht in etwa der Energie eines Müsliriegels (vgl. Tab. c.1).

Anmerkung: Natürlich sind die Reibungskräfte bei diesem Aufbau in der Realität nicht so einfach zu vernachlässigen. So spielen hier wohl die Oberflächenbeschaffenheit von Baumstamm und Ziegelmauer eine große Rolle. Ebenfalls nicht zu vernachlässigen ist vermutlich die Härte des für die Aufzugsrolle verwendeten Holzes, welches angesichts der verhältnismäßig kleinen Auflagebereiche und dem entsprechend hohen Druck wohl auch verformt und abgenutzt wird. Bei Interesse oder zur Vertiefung könnten die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung dieser Aufgabe zu einer Diskussion hinsichtlich Einschätzung zur tatsächlichen Auswirkung von Reibung bei diesem Vorgang angeregt werden.

- b) Der Wirkungsgrad des Menschen betreffend die Umwandlung chemischer Energie in die gewünschte mechanische Energie einer Tätigkeit, wie jener aus 3a., hängt von der durchgeführten Tätigkeit, sowie den biologischen Gegebenheiten der jeweiligen Person ab. Neben dem Energieaufwand für diverse innerkörperliche Aktivitäten, wie dem **An- und Entspannen von Muskeln**, wird auch ein großer Teil der Bruttoenergie in **Wärme** umgewandelt. Beim Treppensteigen kann beispielsweise von einem Wirkungsgrad von lediglich **16 bis 25 %** ausgegangen werden (vgl. Hollmann, 1925). Neben all dem ist auch der **Grundumsatz** des Menschen zur Aufrechterhaltung sämtlicher Organtätigkeiten, Zellerneuerung, etc. nicht zu vernachlässigen.

4. Verkehrte Pyramide

Um gerade noch auf dem untersten Stein ruhen zu können (labiles Gleichgewicht) muss der gemeinsame Massenschwerpunkt aller darüber befindlichen Steinblöcke gerade über der Kante des untersten Steins liegen (vgl. Abb. c.5).

Mit folgender Nomenklatur

- iii. S_i ... horizontale Komponente des Massenschwerpunkts des i-ten Steinblocks
- iv. S_i' ... horizontale Komponente des gemeinsamen Massenschwerpunkts von i übereinander liegenden Steinblöcken, die mit maximalem Überhang auf dem (i+1)-ten Steinblock ruhen
- v. l_i ... maximaler Überhang des i-ten Steinblocks über den (i+1)-ten
- vi. l ... Länge eines Steinblocks

ergibt sich in rekursiver Schreibweise:

$$S_1 = S_1' = l_1 = \frac{l}{2}$$

$$S_i = S_{i-1}' + \frac{l}{2} \quad \forall i: 2 \leq i \in \mathbb{N}$$

$$S_i' = \frac{(i-1) \cdot S_{i-1}' + S_i}{i} \quad \forall i: 2 \leq i \in \mathbb{N}$$

$$l_i = S_i' - S_{i-1}' \quad \forall i: 2 \leq i \in \mathbb{N}$$

- a. erster Stein

$$l_1 = \frac{l}{2} \quad S_2' = \frac{3l}{4}$$

- b. zweiter Stein

$$l_2 = \frac{l}{4} \quad S_3' = \frac{11l}{12}$$

- c. Gesamtüberhang $> l$

$$l_3 = \frac{l}{6} \quad S_4' = \frac{50l}{48} > l$$

Ab 5 Steinblöcken befindet sich der unterste Block zur Gänze neben (unterhalb) des ersten Blocks.

- d. 75-ster Stein

Es zeigt sich:

$$l_i = \frac{l}{2^i}$$

(harmonische Reihe).

Daher:

$$l_{75} = \frac{l}{150}$$

- e. Gesamtüberhang $> 2l$

Mittels rekursiver Eingabe in ein Tabellenkalkulationsprogramm zeigt sich:

Bei 32 Blöcken ergibt sich ein Gesamtüberhang der 31 über dem untersten Block liegenden Blöcke von ca. 2,014 l. Bei 31 Blöcken beträgt der Gesamtüberhang noch rund 1,997 l.

Ja, ein Gesamtüberhang von über 2l ist ab 32 Blöcken möglich.

- f. Auch an den Kanten gibt es kein Problem, solange der Massenschwerpunkt des oberen Steins gerade noch über der Kante des unteren Steins liegt. Von zwei direkt übereinander liegenden Steinblöcken kann man somit den oberen entlang einer der Diagonalen von dessen Grundfläche, um maximal die halbe Diagonalenlänge über die Ecke des unteren Steins verschieben.

Der somit sich noch direkt über dem vorletzten Steinblock befindliche Anteil der Grundfläche des obersten Steins beträgt 25 %. Da laut Angabe von quaderförmigen Blöcken mit homogener Dichte ausgegangen wird, bedeutet dies: **Es müssen sich mindestens 25 % der Masse des obersten Steinblocks über dem darunter liegenden Stein befinden.**

10.5 Interviewleitfäden

10.5.1 Interviewleitfaden – Omas Lieblingshäferl

Vorinterview

Vorstellung

- Masterarbeit an der Universität Wien
- Fokus auf Aufgabenentwicklung und -verbesserung
- Vielen Dank für die Unterstützung!
- Zeitlichen Ablauf schildern (Vorinterview, Aufgabenerprobung, Nachinterview)
- Hinweis auf Videoaufzeichnung

Persönlich Daten

- Name (wird nicht veröffentlicht)
- Alter
- Geschlecht
- Schulstufe
- Schulzweig (an der AHS)
- Hast du bereits einen Physikolympiadekurs besucht und falls ja, für wie viele Jahre (inklusive des laufenden Jahrs)?

Verhältnis zur Physik

- Wie stehst du zur Physik? Wie gefällt dir Physik?
- Was an der Physik findest du am spannendsten bzw. faszinierendsten? (nicht Teilbereiche)
- Welche Teilgebiete der Physik gefallen dir am besten? (zB.: Mechanik, Thermodynamik, E-Lehre, Quantenphysik, ...)
- Warum hast du dich für einen Physikolympiadekurs angemeldet?

Themenbezogene Fachfragen

Siehe unten.

Nachinterview

Einschätzung der Aufgabenstellung

- Als wie schwierig empfandest du das Beispiel?
- Wie interessant bzw. spannend fandest du das Beispiel?

- Wie hat dir das Beispiel gefallen?
- Was hat dir an dem Beispiel besonders gut gefallen?
- Was würdest du an dem Beispiel ändern?
- Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?

Themenbezogene Fachfragen

Siehe unten.

Verabschiedung

- Vielen Dank für die Teilnahme!
- Sollte dir noch etwas einfallen, das du deinem Interview hinzufügen möchtest, kannst du mir dies sehr gerne per E-Mail mitteilen.

Themenbezogene Fachfragen

Tempo und Geschwindigkeit

- Gibt es für dich einen Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit? Falls ja, beschreibe diesen!
- Was weißt du über das erste Newton'sche Axiom?
- Wo gilt dieses?
- Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt und plötzlich einen Stoß im 90° Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit erhält!

Bewegung und Kraft

- Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe diesen!
- Was weißt du über das 2. Newton'sche Axiom?
- Wofür kann man dieses nutzen? Nenne alle Möglichkeiten, die dir einfallen!
- Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt, bis plötzlich, aber von da an fortwährend, eine Kraft im 90° Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit auf diesen wirkt!

Kreisbewegung

- In welche Richtung würde sich der Mond von der Erde aus betrachtet bewegen, wenn die Gravitationskraft zwischen Erde und Mond plötzlich aussetzen würde?
- In einem kreisrunden Rohr rollt ein Ball. Wohin bewegt sich der Ball, wenn dieses Rohr plötzlich an einer Stelle geöffnet wird?

Energie

- Was weißt du über Energie?
- Beschreibe drei Möglichkeiten, Energie zu erzeugen!
- Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, worin liegt dieser?

Messfehler

- Was verstehst du unter Messfehlern?
- Beschreibe, wie es zu Messfehlern kommen kann!
- Was verstehst du unter Messungenauigkeit?
- Beschreibe, wie es zu Messungenauigkeiten kommen kann!
- Beschreibe, wie du bei einer Messung ein exaktes Messergebnis erhalten kannst!

10.5.2 Interviewleitfaden – Einer Ärztin täglich Brot

Vorinterview

Vorstellung

- Masterarbeit an der Universität Wien
- Fokus auf Aufgabenentwicklung und -verbesserung
- Vielen Dank für die Unterstützung!
- Zeitlichen Ablauf schildern (Vorinterview, Aufgabenerprobung, Nachinterview)
- Hinweis auf Videoaufzeichnung

Persönlich Daten

- Name (wird nicht veröffentlicht)
- Alter
- Geschlecht
- Schulstufe
- Schulzweig (an der AHS)
- Hast du bereits einen Physikolympiadekurs besucht und falls ja, für wie viele Jahre (inklusive des laufenden Jahres)?

Verhältnis zur Physik

- Wie stehst du zur Physik? Wie gefällt dir Physik?
- Was an der Physik findest du am spannendsten bzw. faszinierendsten? (nicht Teilbereiche)
- Welche Teilgebiete der Physik gefallen dir am besten? (z.B.: Mechanik, Thermodynamik, E-Lehre, Quantenphysik, ...)
- Warum hast du dich für einen Physikolympiadekurs angemeldet?

Themenbezogene Fachfragen

Siehe unten.

Nachinterview

Einschätzung der Aufgabenstellung

- Als wie schwierig empfandest du das Beispiel?
- Welche Tipps oder Hinweise fandest du besonders hilfreich?
- Wie verständlich war für dich die Information zum Hagen-Poiseuilleschen Gesetz?
- Wie interessant bzw. spannend fandest du das Beispiel?
- Wie hat dir das Beispiel gefallen?

- Was hat dir an dem Beispiel besonders gut gefallen?
- Was würdest du an dem Beispiel ändern?
- Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?

Themenbezogene Fachfragen

Siehe unten.

Verabschiedung

- Vielen Dank für die Teilnahme!
- Sollte dir noch etwas einfallen, das du deinem Interview hinzufügen möchtest, kannst du mir dies sehr gerne per E-Mail mitteilen.

Themenbezogene Fachfragen

Medizinische Anwendung

- Hast du schon einmal eine Injektion (mit Spritze) oder Infusion erhalten?
- Worauf muss das medizinische Personal beim Verabreichen einer Injektion achten?
- Worauf muss das medizinische Personal beim Verabreichen einer Infusion achten?

Kräfte

- Was verstehtst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
- Nenne ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können!
- Was stellst du dir unter einem Kräftegleichgewicht vor?

Bewegung und Kraft

- Beschreibe, wie sich Reibung auf einen Körper in Bewegung auswirken kann!
- Wie groß muss die Kraft auf einen Körper mindestens sein, damit sich dieser trotz Reibung weiterhin bewegen kann?

Zustandsformen

- Was passiert mit einer Flüssigkeit, wenn diese verdampft?
- Wie viel Wasser befindet sich in einem vollkommen geschlossenen Kochtopf, in welchem 1 kg Wasser vollständig verdampft wurde?
- Was weißt du über Phasendiagramme?
- Was kann man aus einem Phasendiagramm alles ablesen?

Teilchenmodell

- Was weißt du über das Teilchenmodell in der Thermodynamik?
- Was verstehst du unter dem Begriff Gas?
- Was befindet sich zwischen den Teilchen eines Gases oder einer Flüssigkeit?

Druck

- Was weißt du über Druck?
- Siehst du einen Zusammenhang zwischen Druck und Kraft? Falls ja, beschreibe diesen!
- In welche Richtung wirkt der Wasserdruck in einem 1 m hohen mit Wasser gefüllten Gefäß am Boden des Gefäßes?
- Was weißt du über Vakuum?
- Wie ändert sich der Druck am Boden eines Aquariums, wenn das Aquarium doppelt so breit gemacht wird und wieder bis oben hin mit Wasser befüllt wird?
- Was weißt du über den atmosphärischen Luftdruck?

Tauchen

- Was weißt du über den Druck beim Tauchen?
- Schätze ab, wie tief du mit einer Sauerstoffflasche und einer Lichtquelle als einzige Hilfsmittel maximal tauchen kannst und begründe deine Schätzung!

10.5.3 Interviewleitfaden – Pharao für einen Tag

Vorinterview

Vorstellung

- Masterarbeit an der Universität Wien
- Fokus auf Aufgabenentwicklung und -verbesserung
- Vielen Dank für die Unterstützung!
- Zeitlichen Ablauf schildern (Vorinterview, Aufgabenerprobung, Nachinterview)
- Hinweis auf Videoaufzeichnung

Persönlich Daten

- Name (wird nicht veröffentlicht)
- Alter
- Geschlecht
- Schulstufe
- Schulzweig (an der AHS)
- Hast du bereits einen Physikolympiadekurs besucht und falls ja, für wie viele Jahre (inklusive des laufenden Jahres)?

Verhältnis zur Physik

- Wie stehst du zur Physik? Wie gefällt dir Physik?
- Was an der Physik findest du am spannendsten bzw. faszinierendsten? (nicht Teilbereiche)
- Welche Teilgebiete der Physik gefallen dir am besten? (z.B.: Mechanik, Thermodynamik, E-Lehre, Quantenphysik, ...)
- Warum hast du dich für einen Physikolympiadekurs angemeldet?

Themenbezogene Fachfragen

Siehe unten.

Nachinterview

Einschätzung der Aufgabenstellung

- Als wie schwierig empfandest du das Beispiel?
- Welche Tipps oder Hinweise fandest du besonders hilfreich?
- Wie nützlich fandest du die Tipps in den Kuverts?
- Wie interessant bzw. spannend fandest du das Beispiel?

- Wie hat dir das Beispiel gefallen?
- Was hat dir an dem Beispiel besonders gut gefallen?
- Was würdest du an dem Beispiel ändern?
- Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?

Themenbezogene Fachfragen

Siehe unten.

Verabschiedung

- Vielen Dank für die Teilnahme!
- Sollte dir noch etwas einfallen, das du deinem Interview hinzufügen möchtest, kannst du mir dies sehr gerne per E-Mail mitteilen.

Themenspezifische Fachfragen

Pyramidenbau allgemein

- Was weißt du über die Pyramiden des Alten Ägypten?
- Wie konnten diese, deiner Meinung nach, gebaut werden?
- Welche der alten Techniken könnten noch heute in der Technik eine Rolle spielen und inwiefern?

Kräfte

- Beschreibe, was du unter dem Gewicht eines Körpers verstehst! Wie lässt sich dieses messen?
- Was verstehtst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
- Nenne ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können!

Bewegung und Kraft

- Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe diesen!
- Wie viele Kräfte dürfen maximal auf einen Körper wirken, ohne dass sich dieser bewegt?
- Was stellst du dir unter einem Kräfteparallelogramm vor?
- In welchen Situationen könnte ein Kräfteparallelogramm hilfreich sein?

Arbeit und Energie

- Was verstehst du unter Arbeit?
- Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, worin liegt dieser?
- Siehst du einen Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie? Falls ja, beschreibe diesen!

Auftrieb

- Was weißt du über den Auftrieb?
- Unter welchen Bedingungen kann ein Körper auf einer Flüssigkeit schwimmen?

Schwerpunkt

- An welcher Stelle eines Körpers kann man diesen auf nur einem Finger balancieren?
- Erkläre, wie du praktisch vorgehen würdest, um diesen Punkt bei einem Körper zu finden!

10.6 Transkripte der Vorinterviews

10.6.1 Testperson A1 – Omas Lieblingshäferl

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Hallo!
2	S	Hallo!
3	I	Danke fürs Warten und überhaupt danke für die Teilnahme. Du weißt, es geht hier um meine Masterarbeit an der Universität Wien. Der Fokus meiner Arbeit liegt auf Aufgabenentwicklung und -optimierung. Genau, den zeitlichen Ablauf haben wir auch bereits besprochen.
4	S	Mhm
5	I	Super. Ok, fangen wir mit etwas Leichtem an. Du bist wie alt?
6	S	15.
7	I	Du besuchst die AHS in der 6. Klasse Oberstufe in welchem Zweig?
8	S	Ah, wie geht das? RG.
9	I	RG, ok. Du hast auch bereits an Physikolympiadekursen teilgenommen. Heuer das wievielte Jahr?
10	S	Das erste.
11	I	Ok, dann ein Bisschen allgemein zur Physik. Wie stehst du zur Physik? Wie gefällt dir Physik?
12	S	Also Physik gefällt mir sehr gut. Es ist eines meiner Lieblingsfächer. Und ich finde es generell einfach interessant zu wissen, wie die Welt funktioniert und wie das alles funktioniert, wenn man irgendetwas anstoßt, oder wie sich die Teilchen verhalten, wenn sie heißer werden, oder sowas interessiert mich einfach.
13	I	Was findest du denn am spannendsten oder faszinierendsten an der Physik? Ich meine jetzt nicht die Teilbereiche.
14	S	Also meinen Sie so mit Experimente oder so?
15	I	Ja, also was dich eben - du hast schon ein Bisschen was gesagt, so mit Teilchen. Zum Beispiel was ist das Faszinierendste, was dich an die Physik als Ganzes bindet – heranzieht?
16	S	Was mich daran so interessiert ist, dass es eine gute Erklärung ist und man in der Physik immer versucht, die Wahrheit zu finden, auch wenn man dabei halt Alltäge vernachlässigen muss und neu denken muss, neue Denkweisen sich ergeben müssen. Und auch generell, dass man mit Physik sehr gut Probleme lösen kann und auch, dass man alles gut darstellen kann mit Gleichungen oder auch in Experimenten nachprobieren kann.
17	I	Und welche Teilgebiete innerhalb der Physik gefallen dir am besten?
18	S	Am besten gefallen mir Astrophysik und Mechanik.
19	I	Schön. Was hat dich dazu veranlasst, dass du in einen Physikolympiadekurs gegangen bist?
20	S	Physik interessiert mich sehr und ich will auch mal Physik studieren. Deshalb habe ich mir gedacht, dass der Physikolympiadekurs eine gute Übung ist für die Matura und auch später für's Studium und auch weil es Spaß macht.
21	I	Ok, gehen wir ein Bisschen ins Thematische. Gibt es für dich einen Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit? Und falls ja, beschreibe diesen.
22	S	Ja, das Tempo gibt an, wie schnell sich etwas bewegt und die Geschwindigkeit gibt auch noch eine Richtung an.

23	I	Was weißt du über das erste Newton'sche Axiom?
24	S	Oh Gott – das erste Newton'sche Axiom ist, dass ein Körper sich immer in – dass ein Körper ohne Beschleunigung sich gleichmäßig weiterbewegt ... also, wenn keine Kraft auf den Körper wirkt, bewegt er sich gleichförmig weiter.
25	I	Wo gilt denn das überall?
26	S	Das gilt immer, überall.
27	I	Ok. Beschreibe bitte die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt und plötzlich einen Stoß im 90°-Winkel dazu zu seiner Anfangsgeschwindigkeit erhält.
28	S	Dann wird's in einem, relativ zum Anfangspunkt, 45°-Winkel mit dem normalen Tempo weitergehen.
29	I	Mhm, aber mit dem Tempo, das er vorher schon hatte?
30	S	Ja.
31	I	Ok. Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Und falls ja, beschreibe den bitte.
32	S	Ja, es gibt die Gleichung, die besagt, dass Kraft Masse mal Beschleunigung ist. Das heißt, wenn man eine Kraft ausübt, kann man einen Gegenstand beschleunigen.
33	I	Was weißt du über das zweite Newton'sche Axiom?
34	S	Äh, das zweite Newton'sche Axiom besagt, dass Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung.
35	I	Und wofür kann man das nutzen? Also nenne alle Möglichkeiten, die dir einfallen, wofür man das nutzen kann, diese Gleichung.
36	S	Damit kann man sich die Gewichtskraft ausrechnen, indem man für die Beschleunigung die Erdbeschleunigung nimmt. Man kann sich die Kraft ausrechnen, die es benötigt, um einen Gegenstand zu beschleunigen. Man kann sich die Masse ausrechnen, wenn ein Gegenstand beschleunigt wird und auch die Beschleunigung, wenn man die Kraft und Masse kennt.
37	I	Beschreibe bitte die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt, bis plötzlich, aber von da an fortwährend, eine Kraft im 90°-Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit auf diesen wirkt.
38	S	Dann wird der Ball abgelenkt und sein horizontales Tempo wird beibehalten und dazu kriegt er noch ein vertikales Tempo.
39	I	Wie ... Was kannst du über das vertikale Tempo aussagen?
40	S	Äh, das ist unabhängig vom horizontalen Tempo. Das heißt, der Ball wird immer noch mit derselben, mit demselben Tempo sich nach rechts bewegen, aber dazu halt auch noch nach oben oder unten.
41	I	Wie würdest du die Bahn beschreiben, die der Ball dann nimmt, ab dem Moment, ab dem die Kraft wirkt?
42	S	Wenn, also zum Beispiel, wenn es ein Wurf ist, der horizontal ist, dann wirkt die Gravitation nach unten und das würde eine Parabel ergeben.
43	I	In welche Richtung würde sich der Mond von der Erde aus betrachtet bewegen, wenn die Gravitationskraft zwischen Erde und Mond plötzlich aussetzen würde?
44	S	Na, dann würde er sich in die Richtung bewegen, in die er sich gerade bewegt. Also in ... mit einer Tangente zur Kreisbahn.
45	I	In einem kreisrunden Rohr rollt ein Ball. Wohin bewegt sich der Ball, wenn dieses Rohr plötzlich an einer Stelle geöffnet wird?
46	S	Kommt darauf an, wo das Rohr geöffnet wird.

47	I	Ok, magst du es beschreiben?
48	S	Also wenn man ein Rohr hat und der Ball bewegt sich da durch – Wenn man das Rohr unten öffnen würde, dann würde er runterfallen durch das Loch. Aber wenn man es oben öffnen würde, dann würde nichts passieren.
49	I	Ok. Ahm, wo ist für dich unten?
50	S	Unten ist da, wo die Gravitation hinzeigt – zum Zentrum der Schwerkraft.
51	I	Wo ist das Zentrum der Schwerkraft?
52	S	In etwa der Erdmittelpunkt.
53	I	Ah, ok, ich habe aber nicht gesagt, dass das auf der Erde durchgeführt wird.
54	S	Ah!
55	I	Das Experiment. Also sagen wir, es, das Experiment findet irgendwo statt im Weltall. Und du – Naja, achso, ich weiß schon, was du meinst – von mir aus auf der Erde – gut machen wir es auf der Erde auf einem Tisch und das Rohr wird so geöffnet, dass es plötzlich einfach abgebrochen wird. Das heißt wir haben da dann so ein ... hier kommt dir jetzt der Gegenstand entgegen, der sich gerade noch so auf einer Kreisbahn bewegt hat. Wohin bewegt sich dieser Ball, wenn ich das Rohr eben plötzlich abbreche, sozusagen?
56	S	Dann wird er sich geradlinig weiterbewegen ... in die Richtung, in der er sich gerade bewegt.
57	I	Ok. Was weißt du über Energie?
58	S	Energie ist eine Erhaltungsgröße. Und das heißt sie kann nicht erzeugt und nicht zerstört werden. Und die Energie gibt auch an, also die Energie ist die Möglichkeit Arbeit zu verrichten.
59	I	Beschreibe drei Möglichkeiten, Energie zu erzeugen.
60	S	Man kann Energie nur umwandeln.
61	I	Ok, hast du eh schon gesagt, ja. Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie und falls ja, worin liegt der?
62	S	Ja. Wenn man eine Kraft anwendet, dann wird etwas beschleunigt. Aber Energie kann auch vorhanden sein, wenn nichts beschleunigt wird. Zum Beispiel, wenn ich einen Ball auf den Tisch lege, wird er relativ zum Boden nicht beschleunigt, aber er hat trotzdem eine potentielle Energie.
63	I	Was verstehst du unter Messfehlern?
64	S	Messfehler ist, wenn man in der echten Welt etwas misst, zum Beispiel mit einem Lineal eine Länge. Aber, sei es durch die Instrumente oder durch den Menschen, kann man es nicht ganz exakt messen und deshalb muss man angeben, wie groß der Fehler ist. Zum Beispiel bei einem Lineal, da wären es zum Beispiel $\pm 1\text{ mm}$, weil man nicht genau genug messen kann.
65	I	Beschreibe, wie es zu Messfehlern kommen kann. Welche Möglichkeiten gibt es da?
66	S	Eine Möglichkeit ist durch, wie gesagt, menschliche Fehler. Zum Beispiel, wenn man die Zeit misst mit einer Stoppuhr, braucht der Mensch eine gewisse Reaktionszeit. Und deswegen kann die Messung nie genau sein. Oder es kann auch sein, dass die Instrumente nicht genau genug sind und deswegen nicht genau messen können, weil der Messbereich nur so klein werden kann. Zum Beispiel, wenn ich mit irgendeinem Laser messe, hat der auch eine bestimmte Wellenlänge und kleiner als das könnte man dann nicht die Länge messen.
67	I	Was verstehst du unter Messgenauigkeit?
68	S	Messgenauigkeit, würde ich sagen, ist die Genauigkeit, mit der man etwas messen kann, also in welchem Bereich man genau messen kann.

69	I	Beschreibe bitte, wie es zu Messungenauigkeiten kommen kann.
70	S	Messungenauigkeiten können entstehen, wenn man etwas nicht, halt nicht richtig misst. Wenn man, oder wenn man einen Versuch durchführt, kann es zu Messungenauigkeiten kommen, weil der Versuch etwas falsch durchgeführt wurde - sei es auch nur minimal – kann das Konsequenzen haben, die groß sind. Oder man verwendet das Objekt halt, mit dem man messen will, nicht richtig und dadurch werden Fehler entstehen.
71	I	Letzte Frage: Beschreibe bitte, wie du bei einer Messung ein exaktes Messergebnis erhalten kannst.
72	S	Also ein genau exaktes Ergebnis kann man nicht haben, aber man kann versuchen, den Messfehler zu reduzieren, indem man genauere Messinstrumente verwendet oder indem man zum Beispiel beim Zeitmessen, wenn man als Mensch sich vorbereitet, wird die Reaktionszeit geringer und so kann man zumindest den Messfehler minimieren.
73	I	Super. Vielen Dank! Das war auch schon das Interview – das Vorinterview.
74	S	Mhm. Ok.
75	I	Gut, super, fein, dann danke nochmals.
76	S	Wiedersehen!
77	I	Baba.

10.6.2 Testperson A2 – Omas Lieblingshäferl

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Hallo!
2	S	Hallo!
3	I	Vielen Dank, dass du teilnimmst an dem Interview und an der Erprobung. Bist du schon bereit, soweit?
4	S	Ja.
5	I	Super. Passt. Ja, also worum geht es? Ich entwickle Aufgaben für meine Masterarbeit an der Universität Wien bei der Frau Prof. Marianne Korner. Und mein Fokus liegt dabei darauf, die Aufgaben, die ich entwickelt habe, zu verbessern. Das heißt, ich möchte schauen: Wo gibt es Verständnisschwierigkeiten? Wo gibt es Unklarheiten? Das heißt, du kannst auch überhaupt nichts falsch machen dabei. Ich würde dich dann auch bei der Erprobung bitten, dass du laut mitdenkst, was du dir gerade überlegst oder was du gerade probierst.
6	S	Ja.
7	I	Ok, wie alt bist du?
8	S	Ich bin 16.
9	I	Ok und in welcher Schulstufe bist du?
10	S	In der sechsten.
11	I	In welchem Schulzweig?
12	S	Wirtschaftlich.
13	I	Ok. Hast du bereits an einem Physikolympiadekurs teilgenommen oder tust du das heuer?
14	S	Heuer, ja.
15	I	Heuer zum ersten Mal?
16	S	Ahm, ich habe in der Unterstufe auch schon teilgenommen. Da habe ich aber an keinem Wettkampf teilgenommen.
17	I	Und wie viele Jahre in der Unterstufe?
18	S	Zwei.
19	I	Dritte, vierte Klasse.
20	S	Ja.
21	I	Ok, super. Wie stehst du zur Physik? Wie gefällt dir Physik?
22	S	Also mir gefällt's, also ich finde es interessant.
23	I	Mhm. Was an der Physik findest du am spannendsten beziehungsweise am faszinierendsten? Also ich meine jetzt nicht die Teilbereiche, sondern allgemein.
24	S	Dass es logisch ist, dass es – ahm, dass man alles zurückführen kann und dass es – ich meine, man hat, also man kann Sachen ausrechnen und es kommt, wenn man es richtig macht, dann das richtige Ergebnis heraus. Also man kann damit Vorhersagen treffen.
25	I	Hilft dir das in deinem persönlichen Leben oder siehst du da Potential, dass es dich in deinem persönlichen Leben unterstützt?
26	S	Also jetzt im Sozialen, oder?
27	I	Na, allgemein, beruflich, ähm, wie immer du das siehst.
28	S	Ja, ich mein, weil ich weiß, dass es mich interessiert, weiß ich auch, dass ich etwas in die Richtung machen werde, von dem her hilft es mir natürlich schon beruflich. Weil ich dadurch weiß, was ich machen will.
29	I	Welche Teilgebiete in der Physik gefallen dir am besten?
30	S	Das ist eigentlich schwer zu sagen. Ich weiß eigentlich gar nicht wirklich.

31	I	Gibt es welche, die du gar nicht so gerne magst?
32	S	Ahm.
33	I	Oder weniger?
34	S	Optik mag ich weniger.
35	I	Warum hast du dich erstmals, also in der 3., für einen Physikolympiadekurs angemeldet?
36	S	Es war eigentlich, weil meine Physiklehrerin gesagt hat, dass ich das machen soll, weil es halt in der Schule ist und da habe ich es einfach ausprobiert und es hat mir gefallen.
37	I	Ok, machen wir einen kleinen Sprung. Gibt es für dich einen Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit? Und falls ja, beschreibe ihn.
38	S	Ja, ahm, Tempo, würde ich sagen, ist eher ... also ich weiß es eigentlich gar nicht, weil ich habe, also jetzt so würde ich sagen, dass Tempo eher – ich weiß es nicht. Es gibt einen Unterschied, aber ich kann es nicht erklären. Ahm, ich kann es jetzt nicht sagen.
39	I	Spürst du es irgendwie? Kannst du es mit einem Beispiel vielleicht besser beschreiben oder mit einer Alltagssituation?
40	S	Nein, im Moment irgendwie nicht.
41	I	Was weißt du über das erste Newton'sche Axiom?
42	S	Das erste ist, ahm ... Welches ist das erste? Also Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung ist das dritte, oder?
43	I	Das ist das zweite.
44	S	Ist das zweite, ok. Ein Körper verharrt in gleichmäßig ... solange keine von außen wirkende Kraft auf ihn einwirkt ist das dritte?
45	I	Solange keine Kraft wirkt, das ist das erste.
46	S	Das erste.
47	I	Genau.
48	S	Ok, das heißt ... Ja, das beschreibt, dass ..., dass halt, wenn man jetzt keine Reibung hat, dass ein Körper in gleichmäßiger Translation verharrt, also immer, sich immer weiter bewegt. Und dass eine Kraft – oder erst die Kraft gibt an ... also man könnte sagen, dass die Kraft angibt, ab wann ein Körper sich bewegt beziehungsweise es ist eigentlich die Masse, also ist ja daran ... Die Masse gibt an, wieviel Kraft notwendig ist, um den Körper aus der Ruhe zu bringen und das lässt sich ja aus dem Newton'schen Axiom ableiten.
49	I	Wo gilt denn dieses erste Newton'sche Axiom überall? Oder wann?
50	S	Also, ahm, in der klassischen Mechanik. Das heißt ...
51	I	Mhm, also gilt das für alle Körper?
52	S	Ich denke schon.
53	I	Ok. Beschreibe bitte die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt und plötzlich einen Stoß im 90°-Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit erhält.
54	S	Also, darf ich das aufschreiben?
55	I	Ja.
56	S	Also ein Ball...
57	I	Rollt mit Anfangstempo nach rechts.
58	S	Mhm.
59	I	Bekommt plötzlich einen Stoß im 90°-Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit.
60	S	Mhm.
61	I	Und gesucht ist die Geschwindigkeit des Balles nach dem Stoß.
62	S	Ok, also es ist, ahm – also man kann das wie eine Vektorverschiebung sich vorstellen, dass man dann den resultierenden Vektor hat aus der Rechtsbewegung und dem 90°-

Winkel. Das heißt, es ist dann der Kraftvektor, der rauskommt. Und beschreiben – er wird dann halt sich in 45° , denke ich, weiterbewegen. Das kommt darauf an, wie stark die Kräfte sind.

- 63 I Auf einer geraden Bahn? Der Kraftstoß ist nur kurz – einmal kurz anstoßen.
- 64 S Ja.
- 65 I Ok. Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe ihn.
- 66 S Ja, also Kraft kann ja die Bewegungsrichtung ändern oder abbremesen. Das heißt, wenn ich Kraft auf einen Körper ausübe, beginnt sich der zu bewegen.
- 67 I Mhm. Gibt es noch andere Zusammenhänge?
- 68 S Ja, also vielleicht auch abbremesen, also genau umgekehrt.
- 69 I Ja. Fällt dir noch etwas ein?
- 70 S Also man sagt...
- 71 I Muss nicht.
- 72 S Ok.
- 73 I Passt. Was weißt du über das zweite Newton'sche Axiom?
- 74 S Das war das, was ich vorher hatte mit Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung.
- 75 I Mhm.
- 76 S Ja, es stellt einfach die Relation zwischen Masse, Beschleunigung und Kraft auf.
- 77 I Wofür kann man das nutzen? Nenne alle Möglichkeiten, die dir einfallen.
- 78 S Also zur Berechnung von der, also zur Gewichtskraft. Von generell Beschleunigung und Kräften. Das heißt in der ... bei Raketen oder Autos.
- 79 I Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt, bis plötzlich, aber von da an fortwährend, eine Kraft im 90° -Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit auf diesen wirkt.
- 80 S Ahm, also er wird sich über die Zeit immer weiter ausrichten, bis er nahezu bei den 90° ist - also halt normal vom Vektor her. Er beschreibt dann eine Art Bahn, also eine Kurve.
- 81 I Mhm, welche Form hat denn die Kurve?
- 82 S Ahm, eine, also nähert sich asymptotisch an, also es wird – es ist wie, ahm ... er nähert sich asymptotisch der, also den 90° an.
- 83 I Mhm. In welche Richtung würde sich der Mond von der Erde aus betrachtet bewegen, wenn die Gravitationskraft zwischen Erde und Mond plötzlich aussetzen würde?
- 84 S Also man hat ja eine Beschleunigung, also Kreisbahn. Das heißt, er würde langsam eine gerade Linie haben, nein? Wenn die Gravitation aufhört?
- 85 I Also wenn die Gravitation plötzlich aufhören würde zu existieren zwischen Erde und Mond, wie würde sich der Mond von der Erde aus betrachtet weiterbewegen? Du kannst es auch skizzieren, wenn du eine Vermutung hast.
- 86 S Also die ... er würde sich tangential zu der Anfangsbahn wegbewegen.
- 87 I Ok. In einem kreisrunden Rohr rollt ein Ball. Wohin bewegt sich der Ball, wenn dieses Rohr plötzlich an einer Stelle geöffnet wird, also abgeschnitten wird?
- 88 S Also ein Rohr und da ist ein Ball drin und das Rohr ist gerade, oder?
- 89 I Das Rohr ist in einem Kreis und da drin rollt ein Ball und plötzlich wird das Rohr an einer Stelle geöffnet. Also der Ball rollt aus dem Rohr raus dort.
- 90 S Also wenn generell die Bahn auf einer Ebene ist, würde er runterrollen und dann, wenn man die Corioliskraft hat, halt in eine gewisse Richtung weiterrollen.
- 91 I Und wenn das ganze irgendwo im Weltall stattfindet?

92	S	Dann müsste er in dieselbe Richtung weiterrollen. Also halt, weil ja keine Kraft ist, die ihn irgendwie aus der Bahn bringt,...
93	I	Was weißt du über Energie?
94	S	Energie ist das, was man braucht, um Arbeit zu verrichten.
95	I	Beschreibe drei Möglichkeiten Energie, zu erzeugen.
96	S	Energie kann man nicht erzeugen. Ist ein Erhaltungssatz.
97	I	Mhm. Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, worin liegt der?
98	S	Energie ... Ich weiß nicht, irgendwie ... nein.
99	I	Also du könntest ja mal versuchen zu beschreiben, was Kraft ist und zu beschreiben, was Energie ist und dann schauen, ob das von deinen Beschreibungen her gleich ist oder ob du Unterschiede feststellst.
100	S	Ja ...
101	I	Denkst du eher, sie sind gleich?
102	S	Nein.
103	I	Aber es fällt nicht so dieser genaue Punkt ein, wo sie sich unterscheiden.
104	S	Ja.
105	I	Ok, passt so. Was verstehst du unter Messfehlern?
106	S	Naja, wenn man eine Messreihe immer wieder wiederholt, gibt es halt immer wieder Unterschiede ... und das ist dann ein Messfehler.
107	I	Beschreibe, wie es zu Messfehlern kommen kann.
108	S	Also generell Einflüsse – es kommt halt darauf an, wie genau jetzt eine Messung sein muss – aber es kann halt sein, dass man, ahm, wenn man Gravitationswellen misst und dann irgendjemand beim Messgerät vorbeigeht und dann entstehen auch Störsignale oder wenn auch dann eben ein Gerät jetzt nicht richtig geeicht ist.
109	I	Was verstehst du unter Messungenauigkeit?
110	S	Wenn man jetzt ein Lineal hat, eine Schiebelehre oder eine Mikrometerschraube, dann kann man mit einem Lineal Sachen nicht so genau messen, wie mit einer Schublehre und so weiter. Das wäre halt die Ungenauigkeit.
111	I	Beschreibe, wie es zu Messungenauigkeiten kommen kann.
112	S	Also das verwendete, also dass man eben Sachen misst oder durch, wenn sich ein Material verschiebt, also wenn es sich ausdehnt. Und ganz andere, weil Menschen auch Sachen ungenau ablesen, oder ja.
113	I	Beschreibe, wie du bei einer Messung ein exaktes Messergebnis erhalten kannst.
114	S	Also mehrere Messreihen durchführen und dann die Standardabweichung ausrechnen. Also es geht eigentlich nur, je mehr Versuche man macht, umso genauer sollte es werden.
115	I	Mhm und wie schafft man es, dass es exakt ist, dass man ein exaktes Messergebnis kriegt? Also nicht genauer, sondern genau.
116	S	Also ganz genau, wird es nicht wirklich gehen. Also ich meine, es kommt darauf an, in welchem Bereich man ist, also welchem Genauigkeitsbereich, aber ... Wenn man jetzt mit Exasekunden rechnet, also in großen Bereichen arbeitet, ist es halt einfacher, als wenn man jetzt in Pikosekunden arbeitet. Und da kann man es eigentlich gar nicht zu 100 Prozent genau haben.
117	I	Gut, fein, vielen Dank, das war's schon mit dem Vorinterview.

10.6.3 Testperson B1 – Einer Ärztin täglich Brot

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Hallo!
2	S	Ah, jetzt.
3	I	Guten Morgen!
4	S	Morgen!
5	I	Vielen Dank dir, dass du grundsätzlich mitmachst und auch dass du heute schon so zeitig bereit warst.
6	S	Ja.
7	I	Zeitlichen Ablauf weißt du auch schon.
8	S	Ja.
9	I	Wie alt bist du jetzt?
10	S	17 Jahre bin ich alt.
11	I	Und du besuchst die 7. Klasse AHS Oberstufe in welchem Schulzweig?
12	S	In dem Nawi – naturwissenschaftlicher Schulzweig in einem Realgymnasium.
13	I	Hast du schon an einem Physikolympiadekurs teilgenommen und wenn ja, wie viele Jahre schon?
14	S	Ja, ich habe bereits letztes Jahr daran teilgenommen und dieses Jahr habe ich ihn erneut besucht, weil er mir sehr viel Spaß gemacht hat und das ist jetzt quasi mein zweites Jahr.
15	I	Ok, dann kommen mal ein paar allgemeine Fragen zur Physik. Wie stehst du denn zur Physik und wie gefällt sie dir?
16	S	Physik finde ich, ich sage mal praktisch, weil so gut wie alles basiert auf – also die meisten praktischen Dinge basieren auf Physik oder haben irgendetwas mit Physik zu tun und daher finde ich es sehr interessant, sich damit zu beschäftigen. Weil ohne Physik würd's nicht funktionieren, schätze ich mal, oder, also dass es die Naturwissenschaft der Physik gibt, ist meiner Meinung nach keine – nicht irgendwie besonders, also ist nicht – das hätte man schon prophezeien können, wo die Welt erschaffen worden ist, weil einfach so viel von der Physik abhängt. Man kann viele Vorteile sich schaffen, wenn man eben die Physik beherrscht oder sich zumindest einmal damit auskennt, oder glaubt sich damit auskennen und dann eben Sachen so verändern kann, oder zumindest neue – ich weiß nicht - Energie speichern kann, Energie quasi in andere umlenken, das heißt quasi Strom erzeugen mit Solarenergie oder Windenergie, also Wasserkraft, oder wie auch immer und sich dann diesen Strom wieder mit quasi physikalischen Anwendungen wieder zu nutzen, also vielleicht wieder in Wärme umzuwandeln oder bei einem Toaster oder so quasi, ja. Also das finde ich sehr interessant, dass man quasi eigentlich den gesamten Alltag lang Physik braucht, oder zumindest unsere Gesellschaft jetzt. Und auch sonst – ich meine die Erde ist ja durch physikalische Gesetze entstanden. Und ich finde es zum Beispiel auch interessant bei der Physik im Vergleich zur zum Beispiel Biologie: In Physik gibt's halt zum Beispiel so Sachen wie vier Natur- äh Grundgesetze, dass man halt sagen kann, so etwas gibt es in der Biologie meines Wissens nach nicht wirklich, aber in der Physik schon. Das finde ich also interessant, dass es hier viel mehr Dinge in dieser Art gibt, wenn Sie verstehen, was ich meine.
17	I	Jetzt innerhalb der Physik: Welche Teilgebiete gefallen dir denn da am besten?
18	S	Praktischen Nutzen finde ich meistens auch sehr interessant, also Elektrizität, also und wahrscheinlich auch Thermodynamik und Mechanik, weil das hat einfach sehr viele Anwendungsmöglichkeiten. Ich finde eigentlich alles extrem interessant, aber ich könnte

jetzt nicht sagen, dass eine Themengebiet interessiert mich am meisten. Ich denke nur, dass zum Beispiel die Mechanik einfach am einfachsten zu verstehen ist, zumindest von einer logischen Betrachtungsweise im Vergleich zum Beispiel zur Quantenmechanik. Und deswegen denke ich auch, dass ich zum Beispiel bei der Mechanik - kann man sich viel logisch erklären, auch wenn man die Gesetze dahinter noch nicht - also, wenn man die Kausalitäten dahinter noch nicht ganz verstanden hat, kann man sich zumindest logisch erklären, warum etwas wie funktioniert. Bei der Thermodynamik geht's wahrscheinlich auch noch recht gut. Aber dann wird es immer schwieriger, sage ich einmal. Bei der Elektr.... beim Elektromagnetismus und so weiter und dann bei der Quantenmechanik ist es, glaube ich, schon ziemlich schwierig. Bei der Radioaktivität wahrscheinlich auch teilweise recht schwierig. Also ich würde sagen, Quantenmechanik finde ich zwar sehr interessant, aber ich finde sie hat nicht so viele praktische Anwendungsmöglichkeiten. Aber ich würde nicht sagen, dass ein Themengebiet am interessantesten ist.

- | | | |
|----|---|---|
| 19 | I | Darf ich da nachfragen, was du genau mit logisch, verständlich meinst? |
| 20 | S | Das ist, wenn man – man kann nicht sagen, es ist logisch, dass wenn ich etwas fallen lasse, also dass zwei Massen sich anziehen. Das ist vielleicht jetzt nicht direkt logisch, aber es ist logisch, dass wenn man einmal gesehen hat, dass eine Masse etwas anzieht, äh, dass Massen sich gegenseitig anziehen, dass das bei anderen Objekten weiterhin so ist und man quasi von ... Schlüsse ziehen kann, schnell einmal, ja, und das in der Quantenmechanik nicht so einfach ist so. Also wenn man jetzt, vielleicht auch Drehimpuls oder solche Dinge sich überlegt, oder Kräfte, die aufeinander wirken, das kann man sich ... da kann man schnell einmal Schlüsse ziehen und man kann die Muster, sage ich mal, schnell wieder anwenden bei anderen Dingen. |
| 21 | I | Ok. Warum hast du dich dazu entschieden, einen Physikolympiadekurs zu besuchen? |
| 22 | S | Weil ich rätseln extrem gerne mag und das kombiniert mit meinem Interesse für Physik ist einfach eine Kombination, zu der ich nicht wirklich nein sagen kann. Sie macht mir jede Stunde – also, wenn ich physikalische Rätsel löse, macht mir das sehr viel Spaß und gleichzeitig interessieren sich auch viele meiner Freunde für diesen Zweig und deswegen muss ich das Ganze, sage ich mal, nicht alleine machen, weil alleine wird's vielleicht auch irgendwann langweilig. Und somit ist es nochmal eine Aktivität, die ich mit Freunden machen kann und das ist einfach viel ... ich weiß nicht, das macht mir einfach sehr viel Spaß. Das ist quasi die einzige Erklärung, die ich jetzt liefern kann. Es interessiert mich auch und ja. |
| 23 | I | Etwas ganz anderes: Hast du schon einmal eine Injektion, also mit einer Spritze, oder eine Infusion erhalten? |
| 24 | S | Ja, also ich schätze mal, dass Impfungen im Normalfall Injektionen sind. Mir wurde bei der Stellung für die Bundeswehr beziehungsweise Zivildienst, wurde mir auch ein Bisschen Blut abgenommen. Ja, das warn glaube ich die einzigen – also ich hatte jetzt noch nie eine große Operation, wo ich irgendwie viel Blutverlust hatte oder Ähnliches, aber so kleine Sachen hatte ich schon, also ganz kleine Sachen. |
| 25 | I | Worauf muss denn das medizinische Personal beim Verabreichen einer Injektion achten? |
| 26 | S | Dass die Haut rein ist und eben auch, wo man es macht. Also erstens einmal vielleicht gibt es auch Allergien oder so auf die Substanz. Also das ist einmal ganz grundsätzlich. Und dann eben, dass es keine Hautverunreinigung gibt. Also wenn man da eine Wunde hat, glaube ich, sollte man keine Injektion an dieser Stelle machen. Und dann, dass vielleicht, dass es jetzt, ja, ich glaube dann weiterhin gibt es auch für den Patienten im Nachhinein Sachen zu beachten. Zum Beispiel soll man, glaube ich, keine Bewegungen |

machen, wo man die Arme so lange in die Luft, also nach oben streckt. Also, man muss ein Bisschen aufpassen bei dem Sport, den man macht, wurde mir einmal gesagt. ... und ja, danach müssen sie die Spritze auf jeden Fall wegwerfen oder die Nadel zumindest. Ja, das ist auch aus gesundheitlichen, medizinischen, damit halt nichts verunreinigt ist.

27 I Und worauf muss das medizinische Personal beim Verabreichen einer Infusion achten?

28 S Ich denke einmal, weil bei der Infusion nicht dauerhaft jemand die Spritze hält, muss sie irgendwie festgeklebt werden. Also zumindest kenne ich das so aus Filmen oder ähnlichen Sachen. Und es muss wahrscheinlich auch eine Maschine kontrollieren, wie es dem – weil nicht ja dauerhaft eine Person daneben sitzt – wie es dem Patienten geht. Also nicht, dass er jetzt irgendwie einen Schock aus irgendwelchen Gründen erleidet. Da muss jemand quasi zur Sicherheit aufpassen, dass da jetzt eh nicht irgendetwas schief geht, weil es wird jetzt nicht dauerhaft eine Krankenschwester oder so daneben sitzen. Ja, ich glaube, das ist so der einzige Unterschied und sonst später muss man wahrscheinlich auch wieder die Nadel mit der hineingestochen wurde direkt entsorgen und so weiter, aber das, ja.

29 I Was verstehst du unter dem physikalischen Begriff Kraft?

30 S Kraft ist ein ... das habe ich mir jetzt nie so ... Hmm, es gibt die Gravitationskraft – nehme ich jetzt einmal als Beispiel und alle physikalischen Teilchen, die gesamte physikalische Materie auf die wirken permanent vier Kräfte, eben die innere Kernkraft, also die starke Kernkraft, die schwache Kernkraft, die elektrische - elektrodynami ... elektromagnetische Kraft - ich bin mir gerade nicht sicher beim Namen - und die Gravitationskraft. Und soweit ich das richtig verstanden habe, leiten sich von der dann auch teilweise andere Kräfte ab, wie der Druck, oder halt, ja. Und dann eben halt, was ist eine Kraft? Eine Kraft möchte gleich, äh .. möchte gleich – wie heißt das? ... äh, die gleichen Dinge schaffen, also möchte sie ausgleichen – mir fällt gerade das Wort nicht ganz ein, also dass die Kräfte gleichverteilt sind. Und dass sie versucht das geschehen zu lassen, macht halt ... hat halt Auswirkungen auf die Objekte. Also zum Beispiel, also es versucht die potentielle Energie gleich Null zu kommen und bei der Gravitation zum Beispiel und also, dass alle dann zum Beispiel dann denselben Drehimpuls haben und alles dieselbe. Ja, das denke ich mal, das würde ich so sagen.

31 I Kannst du ein paar Körper nennen, die eine Kraft auf etwas ausüben können?

32 S Ich schätze mal jedes Masseteilchen wirkt Kraft auf alle anderen massereichen Teilchen aus. Also da müsste jetzt ein Buch, ein Planet, ein Proton müsste alles zumindest mal in der Hinsicht der Gravitation Kräfte auswirken. Ja und dann kann man noch bei der elektrodynamischen Kraft sagen, das Proton da auch, weil's positiv geladen ist, auch Kräfte auswirkt.

33 I Was stellst du dir unter einem Kräftegleichgewicht vor?

34 S Dass die Kraft so verteilt ist, dass sie nicht besser verteilt werden kann. Das heißt, dass sie dann ... also nicht besser verteilt, damit meine ich jetzt, dass keine Energie mehr umgespeist werden kann, oder nur zu gewissen Teilen um physikalische Gesetze wie Heisenberg'sche Unschärferelation beizubehalten. Also zum Beispiel Quantenfluktuationen können weiterhin stattfinden, allerdings ist es zum Beispiel – wird es keine – naja, ähm, ach, das ist schwierig. Naja, wenn man sich das so vorstellt, wie eine Waage, also quasi alle Teilchen befinden sich auf ihrer Waage, oder nicht alle, also alles im Universum befindet sich im Prinzip auf einer Waage, dann hat sich die Waage genau so verteilt im Universum, dass die Waage in einem Gleichstand ist und noch dazu hat sich alles so verteilt, dass quasi. Also um Energie umzuwandeln, geht ja auch immer eine gewisse

Energie verloren, also nicht verloren, aber sie – es entsteht Energie, die man nicht mehr quasi wirklich gut nutzen kann und diese Energie häuft sich eben mit der Zeit immer weiter an bis quasi nur noch diese Energie vorhanden ist. Und dann aus der ... da werden wahrscheinlich noch Quantenfluktuationen stattfinden, aber mehr wird dann meines Wissens, also glaube ich nicht, dass da dann noch viel passieren wird. Einfach dann ist das Universum mehr oder weniger quasi tot und es können keine Reaktionen mehr stattfinden, weil eben zu wenig Ausgangsenergie mit der etwas passieren kann, vorhanden ist.

35 I Erkennst du, oder siehst du zwischen den Begriffen Kraft und Energie einen Unterschied und falls ja, worin liegt der deiner Meinung nach?

36 S Naja, Energie kann ja, zum Beispiel bei der $E = mc^2$ -Formel von Einstein, ahm, kann man auch – ist Masse gleichgesetzt und Kraft ist das eigentlich nicht. Allerdings kann ich jetzt nicht genau sagen, woran das liegt. Energie hat, also ... ja, also ich würde gar nicht, also ich kann gerade keine Unterschiede Erklären. Ich kann nur sagen, dass es diese Formel gibt und ich deswegen schon vermute, dass es Unterschiede gibt, aber ich kann jetzt keine erklären.

37 I Beschreibe, wie sich Reibung auf einen Körper in Bewegung auswirken kann.

38 S Reibung müsste den Körper bremsen, also die Beschleunigung ist kleiner Null, beziehungsweise die kinetische Energie wird halt kleiner und dabei entsteht normalerweise Wärme oder es kann auch passieren, dass es elektromagnetisch gebremst, also aufgrund von Ladungen quasi abgestoßen wird und so gebremst wird. Ich weiß gar nicht genau, was dann – ich glaube, dann entsteht glaub ich auch nur elektri... also ähm, entstehen halt elektrische Pole, die sich halt abstoßen. Ja, also ich glaube, das ist – aber ich weiß nicht, ist das überhaupt Reibung? Ich bin mir jetzt nicht sicher, ob das überhaupt zur Reibung zählt, weil es ist ja nichts mechanisches eigentlich ist. Also was war nochmal genau die Frage? Was bei Reibung passiert? Nein.

39 I Wie kann sich Reibung auf einen sich bewegenden Körper auswirken?

40 S Ok, ja, also er kann auch die Bahn ändern, also es kommt eben ein Bisschen auf den Körper an. Es gibt den sogenannten Magnus-Effekt. Das ist, wenn man einen Ball wirft, der sich zum Beispiel in eine bestimmte Richtung dreht, dann entsteht auf der einen Hälfte des Balles eine größere Reibung als auf der anderen Hälfte und somit wird die Flugbahn verändert und somit kann der Ball eine bananenförmige Flugbahn fliegen, sage ich mal. Mehr fällt mir jetzt dazu auch nicht gerade ein.

41 I Mhm. Wie groß muss die Kraft auf einen Körper mindestens sein, damit sich dieser trotz Reibung weiterhin bewegen kann?

42 S Größer als die Kraft, die die Reibung gegen die Flugbahn auswirkt, also die Kräfte – wie heißt das? Also die Subtraktion, also wenn man die Kräfte voneinander subtrahiert, dann muss etwas Positives dabei herauskommen, sonst würde es sich nicht weiter fortbewegen. Aber die Reibung ist ja wirkt ja dauerhaft. Das heißt ab einem gewissen Punkt bleibt das Objekt einfach stehen.

43 I Ok, kommen wir zu Zustandsformen. Was passiert mit einer Flüssigkeit, wenn die verdampft.

44 S Sie wird gasförmig und dehnt sich aus, weil Gase mehr Platz brauchen als Flüssigkeiten – zumindest habe ich von keinen Ausnahmen gehört. Ja, das war's. Ja, gasförmig heißt halt, dass sie sich quasi frei im Raum bewegen können, während Flüssigkeiten, sage ich mal, keine so ... da bewegen sich die Teilchen noch nicht so stark, aber bei Gasen da bewegen sie sich eben quasi, da können sie sich auch durch – da sind sie eben gasförmig und sind nicht mehr... Zum Beispiel bei Wasser wird die Oberflächenspannung

aufgehoben, einfach weil die Teilchen sich hier stärker ausdehnen und auch aufgrund der Brown'schen Molekularbewegung voneinander entfernen wollen oder verteilen wollen.

45 I Wenn du an einen Kochtopf denkst und in dem befindet sich ein Kilogramm Wasser. Der Kochtopf ist vollkommen geschlossen und das 1 kg Wasser wird vollständig verdampft. Wieviel Wasser befindet sich dann in dem Kochtopf?

46 S Ein Kilogramm. Also das Wasser kann ja nirgends entweichen und ja, also der Druck im Kochtopf wird halt recht groß, schätze ich, aber das ist ja jetzt nicht die Frage, sondern und da dürfte sich Masse ... Masse muss, sollte gleich bleiben und deswegen denke ich, dass die Masse gleich bleibt.

47 I Was weißt du über Phasendiagramme?

48 S Also mir ist das Wort gerade ziemlich neu. Ich kann da nur versuchen, irgendwelche Wörter damit zu assoziieren. Das wäre einmal die Phasenverschiebung und sonst, naja unter einem Diagramm stelle ich mir halt ein Diagramm mit zwei Achsen vor. Aber da kann ich jetzt schwer etwas dazu sagen. Also vielleicht ist das ein Diagramm, wo die eine Achse eine bestimmte Phasenverschiebung ist und die andere Zeit oder Ähnliches. Aber ich weiß dazu leider nichts.

49 I Hast du irgendeine Idee, was man aus einem Phasendiagramm zum Beispiel ablesen könnte?

50 S Ich denke, man könnte vielleicht die Energie, also wenn man die Phasen – nein. Hmm, ja ist schwierig, eben wenn die Elektronen, also wenn die Photonen in der Phase verschoben sind, dann heißt das ja nicht gleich, dass sie mehr Energie haben, deswegen kann man da vielleicht nicht unbedingt über die Energie etwas ablesen. Hmm, mir fällt jetzt gerade nichts ein...

51 I Was weißt du denn über das Teilchenmodell in der Thermodynamik?

52 S Das Teilchenmodell in der Thermodynamik ist einfach, dass die ... ahm, ein Objekt, das aus vielen Teilchen besteht, im festen Zustand, sage ich jetzt einmal, können sich die Teilchen nur ganz wenig bewegen. Sie wackeln quasi nur hin und her. Je wärmer sie werden, desto stärker wackeln sie, sage ich jetzt einmal. Und bei null Kelvin ist ... ähm, bewegen sie sich gar nicht, also und eben bei – und sie bewegen sich immer stärker bis zum flüssigen Zustand. Im flüssigen Zustand sind sie eben nicht mehr ganz so stark aneinander gebunden. Sie können sich schon stärker bewegen. Und eben, wenn sie gasförmig werden, können sie sich dann komplett bewegen, also voneinander trennen. Ja, und es gibt noch den Tripelpunkt. Also der Druck hat auch eine Auswirkung auf den Aggregatzustand. Jede Substanz, sage ich jetzt mal, hat einen Tripelpunkt und da kann die Substanz sich eben in allen drei Aggregatzuständen gleichzeitig befinden, also fest, flüssig oder gasförmig.

53 I Was verstehst du unter dem Begriff Gas?

54 S Aas, oder?

55 I Gas.

56 S Achso, Gas, ok. Ein Gas ist ein ... einfach eine Substanz im gasförmigen Zustand. Oder vielleicht auch eine Mischung aus verschiedenen Gasen kann wiederum ein Gas sein.

57 I Was befindet sich zwischen den Teilchen eines Gases oder einer Flüssigkeit?

58 S Naja, das kann man, glaube ich, sogar bei Festkörpern sagen, da befindet sich auch immer, ich sage mal ein ganz leichter Hohlraum und der entsteht einfach dadurch, glaube ich, dass die Teilchen sich leicht voneinander abstoßen, und den gibt es auch bei Gasen und Flüssigkeiten. Und wenn möglich, dann versuchen da vielleicht andere Stoffe dazwischen, also noch andere Gase dazwischen zu kommen, um eben eine möglichst

ausgeglichene – also, dass die Teilchen nicht alle auf einem Fleck sitzen. Bei Gasen versuchen sie vielleicht eben sich zu vermischen. Aber dann ist ja noch immer etwas dazwischen und dazwischen, würde ich einfach sagen, ist quasi nichts. Aber da es so viele Teilchen sind und der Abstand dazwischen jetzt nicht so groß ist, kann man jetzt schwer diesen Abstand messen, denke ich mal. Also es ist eine Art Vakuum dazwischen, aber ich weiß nicht, ob man das Vakuum nennen kann.

59 I Wie groß, schätzt du, ist denn ein Teilchen nach dem Teilchenmodell der Thermodynamik?

60 S Ich weiß gar nicht. Dazu habe ich mir noch nie Gedanken gemacht. Ich würde das jetzt eher versuchen auf die anderen Atommodelle umzumünzen, weil, ich wusste nicht, dass es in der Thermodynamik eine besondere Teilchengröße gibt, dass man sich da etwas überlegt hat.

61 I Was weißt du über Druck?

62 S Es gibt Unterdruck und Überdruck. Druck entsteht dadurch, dass eine Teilchenmenge, also die Teilchen pro Quadrat- ... äh, Kubikmeter sind halt in – also in einer Flasche zum Beispiel können mehrere Teilchen pro Kubikmeter sein, als außerhalb und dann ist der Druck in der Flasche größer als außerhalb und dann ist in der Flasche ein Überdruck und außerhalb ein Unterdruck, aber der ist halt so gering, dass man ihn quasi .. also den Unterdruck spürt man nicht, sondern nur die Flasche spürt diesen Druck, sage ich mal. Und man kann eben auch für einen Druckausgleich sorgen. Man kann aber auch den Druckausgleich langsam vonstatten gehen lassen, indem man eben nur eine gewisse Anzahl an Teilchen pro Zeiteinheit quasi passieren lässt, indem man eine Flasche nur ganz leicht öffnet.

63 I Was meinst du mit: Die Flasche spürt den Druck?

64 S Also ich habe zumindest immer diese Bilder im Kopf, wo so eine Flasche ist und rundherum zeigen so Pfeile auf die Flasche, dass da eben die Kraft die auf die Flasche, also der Unterdruck, der quasi auf die Flasche wirkt und aus der Flasche heraus sind eben auch so Pfeile, die quasi jetzt symbolisieren sollen, dass die Flasche gerne Teilchen abgeben würde an die Umgebung. Aber eben da ist eine mechanische Barriere dazwischen. Und es gibt auch Barometer. Also man kann Druck messen.

65 I Siehst du einen Zusammenhang zwischen Druck und Kraft und falls ja, beschreibe diesen.

66 S Ja, ich würde schon sagen. Ja, also es wirkt ja, ich hätte das jetzt zumindest so gesagt. Kann sein, dass das falsch ist, dass eben eine Kraft auf die Flasche wirkt und die Flasche auch ... oder zumindest auf die Hülle der Flasche wirkt recht viel Kraft, weil eben versucht wird, dass der Druck ausgeglichen wird. Ja, mir fällt jetzt gerade kein anderes Beispiel ein. Aber ich denke, dass der Druck ja quasi auch einfach so im Raum besteht. Also zum Beispiel, wenn ich klatsche, dann wollen die Teilchen schnell entweichen und es entsteht quasi eine Schallwelle, die auch daraus besteht, dass Teilchen teilweise dicht aneinandergedrängt sind und dann wiederum weniger Teilchen aneinandergedrängt sind. Und das ist quasi ja auch eine Druckwelle. Und die ist ja auch ... also die kann etwas verändern und damit würde ich sagen, dass es auch eine Art Kraft ist, weil irgendwie muss es ja was mit einer Kraft zu tun haben, sonst könnte es ja nichts verändern. So könnte man sich das erklären, dass das schon entweder zu einer Kraft dazuzählt oder so. Das ist jetzt mal so meine Erklärung für mich. Ich weiß jetzt nicht, wie gut die ist, aber ja.

67	I	Passt. In welche Richtung wirkt der Wasserdruck in einem 1 m hohen mit Wasser gefüllten Gefäß am Boden des Gefäßes?
68	S	Ahm, in welche Richtung? Also, ich glaube einerseits Richtung ... naja, der Druck möchte entweichen, also das Wasser möchte ... Einerseits am Rand natürlich drückt es gegen die Wände, deswegen denke ich, dass – am Boden drückt es in alle Richtungen... ja, oja, in alle Richtungen, oder nein – es muss ja in eine Richtung stärker sein, sonst. Also am stärksten wahrscheinlich nach unten und dann am zweitstärksten quasi auf der normalen Achse dazu, also in alle Richtungen verteilt und am wenigsten nach oben ... hmm. Aber ich weiß gar nicht ... oder vielleicht ist es auch genauso stark nach oben, nur ist die Gravitation, spielt die da, wirkt die da wiederum dagegen. Ich weiß nicht, ob man die da schon mitrechnet, oder nicht. Jedenfalls nach oben hat das Wasser ja schon im Normalfall Probleme, weil, wenn es von Luft umgeben ist, dann ist Wasser schwerer als Luft und somit kann es gar nicht gut nach oben entweichen. Also hätte ich einmal gesagt ... vielleicht wirkt der Druck auch nach oben, aber die Gravitation wirkt halt deutlich stärker entgegen, deswegen ist im Endeffekt, also kann das Wasser nur nach unten oder so auf der Horizontalen entweichen.
69	I	Was weißt du über Vakuum?
70	S	Zum einen gibt es Quantenfluktuationen. Die finden in jedem Vakuum statt. Und zum anderen gibt es die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum, also Geschwindigkeiten hängen eben immer davon ab, in welchem Medium man sich befindet. Und Vakuum ist quasi das dünnste, leichteste Medium, weil sich darin eigentlich nichts befindet, bis auf die Quantenfluktuationen. Und Vakuum hat, glaube ich, auch immer eine Art Unterdruck, so in der Hinsicht. Also man kann auch ein Vakuum erzeugen. Und eben, da sich in einem Vakuum keine Teilchen befinden für einen längeren Zeitraum, kann man sagen, dass eben andere Teilchen versuchen, diesen Raum einzunehmen. Aber das kann man eben auch zeitweise verhindern. ... Vielleicht gibt es gar kein hundertprozentig sicheres Vakuum und man kann nur sagen, man ist sich ziemlich sicher, dass das ein Vakuum ist. Aber ich würde sagen ein kleines Vakuum, so bis zu ein paar Kubikmeter, lässt sich ein Vakuum schon erzeugen.
71	I	Wenn du an ein Aquarium denkst, wie ändert sich der Druck am Boden eines Aquariums, wenn das Aquarium plötzlich doppelt so breit gemacht wird und wieder bis oben hin mit Wasser befüllt wird.
72	S	Dann schätze ich, dass der Druck sich schon erhöht, oder – also der Druck in der Mitte des Aquariums?
73	I	Der Druck in der Mitte am Boden des Aquariums. Also das Aquarium ist gefüllt. Es wird jetzt die Breite verdoppelt und wieder nachgefüllt, dass es wieder bis oben mit Wasser befüllt ist.
74	S	Ah, das ist jetzt, also entweder, also meine zwei Antwortmöglichkeiten, zwischen denen ich mir jetzt gerade nicht sicher bin, ist dass es sich nicht verändert, oder eben, also weil es keine Auswirkungen haben müsste, oder eben schon, dass es Auswirkungen hat und der Druck sich erhöht. Ich denke aber, dass der Druck nicht sich verändert, aber kann sein, dass – also bei der Antwort, da bin ich mir jetzt nicht sicher. Das müsste ich einmal experimentell überprüfen. Oder, ich weiß nicht, ich habe gerade an ein Schwimmbad gedacht. Vielleicht, wenn man da hinuntertaucht, man merkt ja auch einen Druck, wenn man taucht und da habe ich ... also ich habe keinen direkten Vergleich jetzt gehabt bisher, aber vielleicht wäre mir da auch irgendwann einmal etwas aufgefallen, aber dann hätte

ich sehr aufmerksam tauchen müssen, also. Also ich vermute mal eher nicht, aber das ist jetzt keine sichere Antwort von mir.

75 I Wenn du denkst, dass du zwei Schwimmbecken zur Verfügung hast, und das eine ist doppelt so breit, wie das andere und du tauchst jeweils auf einen Meter.

76 S Ja eben, da glaube ich, dass ich dann keine Unterschiede merke, aber da bin ich mir jetzt zu unsicher, aber das würde ich gerne einmal testen.

77 I Was weißt du über den atmosphärischen Druck?

78 S Also Druck kann auch in Atmosphären gemessen werden. Und ich glaube in unserer Atmosphäre auf der Erdoberfläche haben wir einen Druck von ungefähr einer Atmosphäre. Das würde zumindest Sinn ergeben. Und eben die Atmosphäre befindet sich um die Erde herum. Es sind auch einige Gase, die sich eben in der Atmosphäre ansammeln. Und unterhalb dieser Gase befindet sich eben ein bestimmter Druck. Der ist zwar auch nicht ganz konstant.

79 I Wodurch entsteht dieser Druck?

80 S Aufgrund der Gravitation. Also die Erde zieht diese Gase zum Teil an und zum Teil entweichen sie auch und somit werden sie einfach übereinandergeschichtet und dann entsteht natürlich ein Druck, den die Gase gegenseitig auf sich ausüben.

81 I Was weißt du über Druck beim Tauchen?

82 S Je tiefer man taucht, desto größer ist der Druck. Daher kann man, also zumindest da kann man – würde ich jetzt einmal sagen, dass der Druck im Wasser auch größer ist. Und dieser Druck wirkt auch auf den gesamten Körper. Man kann zum Beispiel nicht einfach den Marianengraben bis ganz hinuntertauchen, weil der Druck sonst die Haut zusammenquetschen würde. Aber es gibt Techniken, wie man den Druck beim Tauchen abschwächt. Zum Beispiel die Ohren sind eine sehr empfindliche Stelle. Das weiß ich, dass man da eben als erstes den Druck spürt, beim Trommelfell. Aber es gibt jedenfalls Leute, das weiß ich, dass jemand mal 140 m tief getaucht hat, aber ich weiß jetzt nicht, mit welcher Technik der das gemacht hat. Und ich weiß nicht, aber die Tiere, die, die in der Tiefsee leben, also, wo Menschen auf keinen Fall ohne große Hilfsmittel überleben könnten, die leben halt Großteils nur in der Tiefsee und somit ist das für die quasi der normale Druck und an der Oberfläche würden sie wahrscheinlich explodieren oder so, weil sie den Druck auch nicht aushalten würden.

83 I Schätze mal ab, wenn du als Hilfsmittel nur eine Sauerstoffflasche und eine Lichtquelle hättest, sonst keinerlei Hilfsmittel, wie tief könnte man da maximal tauchen und wie kannst diese Schätzung physikalisch begründen?

84 S Also ich weiß jetzt nicht, zählt dazu, wenn ich sage, ich halte den Druck nicht mehr aus. Also mein ... also aufgrund von Schmerzen, oder aufgrund von einfach physikalischen Möglichkeiten?

85 I Also so, dass du noch gut existierst. Also, dass du lebts ...

86 S Ok, ja.

87 I ... du keine Schäden davon trägst.

88 S Ja, da schätze ich – ich habe eben vorhin schon gesagt, 140 m hat irgendjemand gemacht und das habe ich irgendwo mal in der Zeitung gelesen, aber das war schon fünf Jahre her. Also ich glaube, dass das möglich ist. Und der hatte, glaube ich, nicht einmal Hilfsmittel. Das war einfach irgendein komischer Wettbewerb. Vielleicht waren es auch nur 40 m, aber ich glaube, es waren sogar 140 m tief. ... Ja, also vielleicht, schätzungsweise 100 m ohne, dass ich danach direkt auf die Intensivstation von einem Krankenhaus muss,

müssten glaube ich, schon möglich sein. Aber ich kann jetzt nicht genau sagen, bei 100 m ist der Druck so und so groß. Also das weiß ich jetzt nicht.

89 I Ok, also das war das Interview. Wir sehen uns dann zur Erprobung wieder. Vielen Dank nochmals für deine Bereitschaft!

90 S Ja, tschüss.

10.6.4 Testperson B2 – Einer Ärztin täglich Brot

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Hallo!
2	S	Hallo!
3	I	Vielen Dank für deine Teilnahme.
4	S	Ja, ich freue mich, hallo.
5	I	Du weißt Bescheid. Das Ganze ist für die Masterarbeit an der Universität Wien. Der Fokus meiner Arbeit liegt auf Aufgabenentwicklung und Verbesserung. Und den zeitlichen Ablauf haben wir auch besprochen.
6	S	Mhm.
7	I	Ok, dann fangen wir mit etwas Leichtem an... Du bist wie alt?
8	S	17.
9	I	Besuchst die AHS, 7. Klasse, in welchem Schulzweig?
10	S	Nawi.
11	I	Mhm. Und besuchst das wievielte Jahr einen Physikolympiadekurs?
12	S	Ich glaube, das sind zwei Jahre, oder? Oder sind es schon drei? Zwei, oder – ja. Zwei Jahre.
13	I	Ok, dann kommen wir einmal ein Bisschen zur Physik allgemein. Wie stehst du zur Physik? Wie gefällt dir Physik?
14	S	Ich finde, es ist sehr interessant. Jetzt, da ich ja ein Bisschen physikalischen Hintergrund habe auch irgendwie so Alltagsdinge physikalisch anzuschauen. Also ich weiß jetzt nicht... Ich hatte vor kurzem eine Unterredung mit einem Freund von mir. Und er hat gemeint, er könnte mir in einer Zeitspanne irgendwie unendlich viel ‚Hallo‘ sagen, weil es unendlich viele Zeitpunkte gibt, wo er ‚Hallo‘ sagen anfangen könnte. So, ja, ich weiß nicht. Das habe ich irgendwie interessant gefunden, weil das ist halt mathematisch gesehen und auch physikalisch gesehen irgendwie – ich weiß nicht – hat mir sehr gut gefallen. War so ein Alltagsphysik ... was da passiert ist. Also und in der Schule finde ich es auch sehr interessant. Ich mag halt nur nicht rechnen. Ich weiß nicht, das finde ich nicht sehr – da kann ich mich nicht irgendwie damit identifizieren. Aber ansonsten gefällt mir Physik sehr gut.
15	I	Was an der Physik findest du insgesamt denn am spannendsten oder am faszinierendsten? Ich meine jetzt aber noch nicht die Teilbereiche der Physik
16	S	Mhm, also das spannendste, was wir jetzt im Unterricht gemacht haben, das war die Widerlegung vom Schicksal. Das habe ich unglaublich faszinierend gefunden. Also dass wir eben durch eine rein physikalische Annahme von einem Zustand das Schicksal ausgeschlossen haben. Das habe ich sehr faszinierend gefunden.
17	I	Und welche Teilgebiete in der Physik gefallen dir am besten?
18	S	Ich glaube schon Quantenphysik. Und dann – ja darf man Astro- ... zählt Astrophysik auch? Weil das ist ja eigentlich ein ganz anderes Gebiet. Aber ich glaube, das würde mir auch, wenn dann gefallen, mhm.
19	I	Also Astronomie, oder was verstehst du genau unter Astrophysik?
20	S	Naja, ähm, wie zum Beispiel jetzt schwarze Löcher entstehen. Weil das ist ja, wo auf einen Punkt so viel Gravitation ist, dass alles hineinfliegt. Das finde ich interessant. Aber jetzt vom klassischen Physikalischen, abgesehen von der Quantenphysik, ja, Thermodynamik würde ich auch sagen. Bin ich ganz froh, dass ich da jetzt Experimente dazu machen darf.

21	I	Warum hast du dich entschieden, einen Physikolympiadekurs zu besuchen?
22	S	Ein Lehrer von mir hat mich dazu eigentlich inspiriert und da ich sehr gerne Experimente mache und mir dann die Möglichkeit offenbart wurde, dass es da einen Ort abseits vom Unterricht gibt, wo man dauernd eigentlich Experimente macht, habe ich mir gedacht, warum nicht?
23	I	Ok, dann kommen wir zu was ganz anderem, und zwar: Hast du schon einmal eine Injektion – also Spritze – oder auch eine Infusion bekommen.
24	S	Ja, beides.
25	I	Worauf muss das medizinische Personal deiner Meinung nach beim Verabreichen einer Injektion achten?
26	S	Reinlichkeit und ... ja, dass man keinen Nerv trifft, wenn man jetzt in den Oberarm sticht, oder so. Und, naja, dass es dem Patienten auch gut geht, weil wenn der umkippt, dann hat man ja auch nix davon. Also, naja, das denke ich sind die wichtigsten Schritte.
27	I	Worauf muss das medizinische Personal deiner Meinung nach beim Verabreichen einer Infusion achten?
28	S	Also wieder Reinlichkeit, dass der Schlauch nicht abgeknickt ist, oder so. Dann, dass der Beutel g'scheit hängt und nicht irgendwie flach ist, weil dann kommt da nix durch und auch, dass es dem Patienten gut geht. Also falls der irgendwie unglaubliche Schmerzen hat, dass man halt das dann anders versucht.
29	I	Wie muss der Beutel hängen, meinst du da, bei einer Infusion? Worauf ist da zu achten?
30	S	Ähm, also er muss ein höheres Niveau wie der Arm haben. Und so, dass der Schlauch jetzt nicht gespannt ist, sondern so eine nette Kurve macht.
31	I	Was verstehst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
32	S	Kraft ... hmm, also allgemein jede Kraft, oder?
33	I	Mhm.
34	S	Ja, ok. Hmm, eine Kraft ist etwas, das ähm, hmm, einen Einfluss auf ein Objekt hat.
35	I	Ok. Nenne ein paar Körper, die eine Kraft ausüben können.
36	S	Körper?
37	I	Mhm.
38	S	Ähm, Planeten – Gravitationskraft, dann Magneten, ähm und irgendwas noch mit Anziehungskraft ... ja, und nochmal Planeten – Zentripetal- und -fugalkraft.
39	I	Was stellst du dir unter einem Kräftegleichgewicht vor?
40	S	Ähm, also wenn man ein Objekt hat, das jetzt eine Auswirkung hat auf ein – ja, auf ein anderes Objekt... Ich glaube es ist ganz interessant, wenn man sich das anschaut mit zwei Magneten und in der Mitte ist eine Metallkugel. Und beide Magneten wollen ja die Metallkugel anziehen. Aber in einem gewissen Abstand bewegt sich die Magnetkugel nicht mehr, weil beide Magnete die äußerste Anziehungsding – ähm, die äußerste Magnetkraft haben, die jetzt wirklich die Kugel bewegen könnte.
41	I	Und was hat das mit Kräftegleichgewicht zu tun?
42	S	Also weil dann beide Magneten sozusagen, ähm, einfach ihre Kraft jetzt so – man kann es ja anschauen, wie wenn ein Magnet sozusagen positiv wäre und der andere negativ – nur zur Veranschaulichung. Und jetzt ist es so, dass beide gleich viel Kraft auf diese Kugel auswirken, aber es passiert nichts, weil sie sich ja sozusagen auslöschen, weil plus und minus ist null.
43	I	Beschreibe, wie sich Reibung auf einen Körper, der sich in Bewegung befindet, auswirken kann.

- 44 S Reibung... Also sowas wie beim – wenn ein Autoreifen jetzt auf einem Asphalt herumfährt, oder?
- 45 I Mhm.
- 46 S Auch Reibung... Ähm, also nehmen wir gleich das Autobeispiel. Der Körper wird langsamer, ja. Ja, er wird langsamer und das Profil nutzt sich halt ab mit der Zeit. Ja, er wird langsamer, würde ich sagen, eine Auswirkung.
- 47 I Wie groß muss denn eine Kraft auf einen Körper mindestens sein, damit sich dieser Körper trotz Reibung weiterhin bewegen kann?
- 48 S Hmm, also wie groß die Kraft sein muss ...
- 49 I Also eine Kraft ist gegeben, wie groß muss diese Kraft auf einen Körper sein, damit sich der Körper, obwohl Reibung existiert, weiterhin bewegen kann.
- 50 S Naja, größer wie die Kraft, die die Reibung auf den Körper ausübt - auf jeden Fall. Also und wenn man jetzt – aber die Kraft geht auf den Körper, gel?
- 51 I Ja, wirkt auf den Körper.
- 52 S Mhm, hm... naja und es kommt darauf an, wie stark die Reibung von dem Objekt zum, zur Reibung ist. Also auf jeden Fall größer, wie die Beziehung vom Körper zur Reibung und so, dass dann der Körper noch schneller wird.
- 53 I Also der Körper muss nicht schneller werden.
- 54 S Ja.
- 55 I Er muss sich nur weiterhin bewegen können.
- 56 S Ah, ok. Aso, ja dann doppelt so viel. Dann muss die Kraft doppelt so stark sein, wie die Reibung auf das Objekt.
- 57 I Wie kannst du das begründen?
- 58 S Weil wenn wir uns jetzt anschauen, das Objekt wird von der Reibung gestoppt. Und dann braucht es ja einmal so viel Energie, dass es jetzt von dieser Reibung weggeht, aber noch einmal so viel Energie, dass es weiterhin gleich schnell ist.
- 59 I Kennst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, beschreibe diesen.
- 60 S Ja, also Energie ist eine Form von Arbeit, die verrichtet wird. Und diese Arbeit, die kann nicht – also Energie ist immer erhaltlich – ja Energie ist immer, ich weiß nicht, wie man das sagen kann, Energie ist unendlich immer da, ja, sie geht halt nicht weg. Und sie wird, wenn dann nur umgewandelt. Aber eine Kraft, die ist nicht, die ist endlich. Also die wird ja nicht ... die wird nicht umgewandelt, sondern ist nur für ein Objekt da. Also ich weiß nicht, ob man das jetzt – ob das jetzt verständlich war. Eine Kraft übermitteln sozusagen Energie. Aber Energie verschwindet nicht so wie die Kraft, weil wenn die Kraft ihr – ja, wenn sie keinen Bezugsort mehr hat, wo sie jetzt existieren kann und wo sie nützlich wäre, ist ja nichts mehr da. Aber wenn Energie existiert, dann wird sie nur umgewandelt, und ist aber unendlich im Universum vorhanden, und zwar immer mit dem gleichen Prozentsatz. Also es gibt immer gleich viel Energie.
- 61 I Ok. Was passiert mit einer Flüssigkeit, wenn diese verdampft?
- 62 S Mit einer Flüssigkeit, wenn sie verdampft... also... Wenn eine Flüssigkeit erhitzt wird, dann kriegen ja die Teilchen in der Flüssigkeit mehr Energie und schaffen es dann so schnell zu sein, dass sie alle halt als Dampf werden. Hmm, vielleicht kann ich es besser ausdrücken. Also wir nehmen jetzt als Beispiel einen Kochtopf, da ist Wasser drinnen und wir haben den Deckel weg. Und dann erhitzen wir das Wasser in dem Kochtopf und fügen den Teilchen immer mehr und mehr Energie zu und dann irgendwann haben sie so viel Energie, dass sie in den Gaszustand übergehen und dann aus dem Kochtopf hinausgehen können.

63	I	Nehmen wir vielleicht gleich diesen Kochtopf und sagen wir, wir geben jetzt einen Deckel drauf und der Deckel ist vollkommen dicht und geschlossen. Und wir haben 1 kg Wasser in dem Kochtopf. Wieviel Wasser ist in dem Kochtopf, wenn das 1 kg flüssige Wasser komplett verdampft ist?
64	S	Noch immer ein Kilogramm Wasser. Also es wiegt halt jetzt nicht mehr ein Kilogramm der Dampf, aber wenn man den Dampf wieder kondensieren würde, dann wäre ja noch immer ein Kilogramm da.
65	I	Und im Gaszustand, wie groß wäre da – du hast jetzt Gewicht gesagt – wie groß wäre denn das Gewicht des Kochtopfs und auch die Masse des Kochtopfs in dem Zustand, wo ein Kilogramm Wasser verdampft drinnen ist?
66	S	Also zu welcher Relation?
67	I	Also würde das Gewicht sich ändern? Würde die Masse sich ändern – und wie?
68	S	Also das Gewicht, hmm, also das Gewicht, wo das Wasser drinnen war, hmm, das ist jetzt komisch. Weil eigentlich müsste vom Energiesatz es ja so sein, dass beides gleich wäre.
69	I	Was meinst du grad mit beides?
70	S	Also der Zustand, wo das Wasser noch flüssig im Kochtopf war, müsste gleich schwer sein, wie der Zustand, wo der Dampf im Kochtopf war.
71	I	Mhm.
72	S	Weil wenn man jedes Teilchen vom flüssigen Wasser wiegen würde, dann müsste das ja ein Kilogramm zusammen sein. Und wir nehmen ja genau die gleichen Teilchen, aber die haben einen anderen Zustand und sind halt nicht mehr kompakt beieinander, aber haben einen größeren Abstand. Und trotzdem ist Dampf nicht so schwer wie Wasser. Also muss das Gewicht vom Wasser vom ersten Zustand – das ist schwerer, wie das Gewicht vom Kochtopf voll mit Dampf. Aber die Masse ist gleich, weil es ist ja bei beiden 1 kg dabei.
73	I	Ok... Was weißt du über Phasendiagramme?
74	S	Phasendiagramme... Also wenn ich an ein Phasendiagramm denke, dann denke ich an so eine Aufzeichnung, wo man verschiedene Behälter hat – drei. Und da ist halt eines aufgezeichnet als fest, eines als flüssig und eines als gasförmig. Und dann sind so Bogen drumherum, wo darauf steht, wie die einzelnen Phasenübergänge heißen. Also jetzt zum Beispiel von Eis auf flüssig heißt schmelzen und von flüssig auf Eis heißt einfrieren und von flüssig auf gasförmig heißt kochen und von gasförmig auf flüssig heißt kondensieren und so weiter. Und ich nehme an, dass so ein Phasendiagramm für jeden Stoff machbar ist, der verschiedene Zustände hat. Jetzt zum Beispiel supraflüssig oder, was fällt mir noch ein ... plasmaförmig, also es gibt ja verschiedene Zustände, wie ein Stoff sein kann. Und ich nehme an, dass ein Phasendiagramm genau sowas ist, nur für jeden einzelnen Stoff.
75	I	Was kann man denn aus einem Phasendiagramm alles ablesen, oder wofür konnte man das brauchen sowas? Nutzen?
76	S	Hmm, zum Beispiel ab welchem Grad jetzt eine Flüssigkeit vom festen Zustand zum flüssigen geht, oder vom flüssigen zum festen, oder vom kochenden Zustand zum gasförmigen. Oder ob es überhaupt so einen Zustand gibt, weil manche Stoffe haben das ja nicht – also die haben keinen festen Zustand, sondern flüssig, gasförmig, oder ja. Und welche Zustände möglich sind für einen Stoff.
77	I	Was weißt du über das Teilchenmodell der Thermodynamik?
78	S	Teilchenmodell?
79	I	Mhm.

- 80 S Also ich habe jetzt das Teilchenmodell von Quanten noch nie in der Thermodynamik benutzt, einfach weil Thermodynamik haben wir, glaube ich, in der 5. Klasse gemacht und da das Quantenmodell noch nicht behandelt haben. Aber ich denke auch, dass das Quantenmodell für die Thermodynamik nicht geeignet ist, weil es einfach zu komplex wäre, um damit zu arbeiten. Und wenn man, weil man muss ja sich von Millionen Molekülen sich anschauen, wie die sich bewegen und wenn man das aber mit dem Quantenmodell macht, dann müsste man sich für jedes einzelne jetzt die Orbitale anschauen und so weiter und sofort. Deswegen denke ich, dass das Teilchenmodell für die Thermodynamik das Bohr'sche ist, wo man noch annimmt, dass es einen Atomkern gibt und die Elektronen in Bahnen um diesen Atomkern herumschwirren.
- 81 I Wie groß ist denn ein Teilchen beim Teilchenmodell in der Thermodynamik?
- 82 S Also wenn man sich das vereinfacht anschauen will, dann können die ja praktisch groß sein, würde ich jetzt sagen. Also so, dass man sie auf einem Blatt Papier noch sieht, aber so klein, dass man halt zeigen kann, wie viele Teilchen da drauf sind. Aber um jetzt damit zu rechnen, nehme ich an, dass sie genau so groß sind, wie jetzt Wasseratome sein sollen. Moleküle - Entschuldigung – Wassermoleküle sein sollen.
- 83 I Was verstehst du unter dem Begriff Gas?
- 84 S Ein Gas... Das ist der Zustand von einem Stoff, wo die Teilchen frei, ohne Bindung zueinander in einem Raum herumfliegen können und sich ausbreiten. Also wo Teilchen unendlich viel Raum zwischen einander bringen können.
- 85 I Was befindet sich dann zwischen diesen Teilchen?
- 86 S Alles andere. Also zwischen diesen Teilchen sind dann andere Teilchen, können auch andere Teilchen sein. Weil wenn du, wenn man ein Gas in einen Raum aus- ... einsprüht, oder keine Ahnung, ja, dann wirkt ja durch Diffusion, dass sich das Gas ausbreitet und dann zu einem bestimmten Verhältnis jetzt in diesem Raum ist. Und zwischen diesen Gasteilchen müssen ja dann Sauerstoff- oder je nach dem, was in diesem Raum drinnen ist, sein.
- 87 I Wie ist das bei Flüssigkeiten? Gibt es das Teilchenmodell auch bei Flüssigkeiten und falls ja, was befindet sich bei Flüssigkeiten zwischen den Teilchen?
- 88 S Flüssigkeiten ... Hmm, also bei Flüssigkeiten ist es ja so, dass die – also, wenn wir jetzt Wasser uns anschauen, dann haben wir ja Verbindungen zwischen Molekülen. Und diese Verbindungen sind halt strapazierbar und können – und sind nicht so fest, wie jetzt zum Beispiel in einem Kristall, sondern eben elastisch. Und dazwischen, zwischen diesen Verbindungen ist nichts, weil da die Verbindung ist. Und für die Teilchen, hmm. Also ich würde sagen, dass man nur den Atomkern sich anschaut. Weil wenn man jetzt bei Wasser lauter Elektronen um die Atomkerne herumzeichnet, ich denke, da wird man ja ... ja, ich denke, dass das für Wasser nur Atomkerne sich angeschaut werden, oder halt nur so Kügelchen, weil das einfacher ist zu berechnen.
- 89 I Nur bei Wasser, oder auch bei anderen Stoffen?
- 90 S Also bei anderen flüssigen Stoffen würde ich das auch so sagen. Aber bei Gasen, ähm, ist das schon wieder interessant. Oder auch bei Feststoffen jetzt, wenn man sich eine Metallbindung anschaut, dann hat man ja ein Elektronengas und dieses Elektronengas ist der Grund, weshalb Metall so gut leitet, weil einfach diese Elektronen sich frei bewegen können. Im Wasser oder in flüssigen Formen sehe ich jetzt keinen Grund dazu. Aber ich bin ja, ich kann noch lernen.
- 91 I Ok, was weißt du über Druck?

- 92 S Er wird in Bohr gemessen. – Äh, bar – Entschuldigung – bar, nicht Bohr. Und ein Druck sagt einem, wie stark Teilchen aneinandergespreßt worden sind. Also wenn man jetzt eine Kammer mit Luft gefüllt, also mit O₂ und blablabla und noch so weiter hat und dort den Druck erhöht, dann pressen sich die Moleküle immer weiter, immer weiter zusammen und wie weit oder wie stark diese Teilchen zusammengepreßt werden, kann man eben durch bar sagen. Und wenn man einen ganz starken Druck schafft zu machen, dann verändert sich der Zustand von dem – ja, Gas oder Objekt eben, was in diesem, in dieser Kammer eben jetzt drinnen ist.
- 93 I Siehst du einen Zusammenhang zwischen Druck und Kraft und falls ja, kannst du den beschreiben?
- 94 S Druck und Kraft ... Ja, ich denke, dass Druck eine Kraft ist, aber nicht jede Kraft ist ein Druck. Und der Zusammenhang wäre, dass Druck in eine Richtung – hmm, muss Druck in eine Richtung gehen? Ja, weil.
- 95 I Oder vielleicht stellen wir uns einmal vor, sagen wir du hast irgendein Gefäß, das mit Wasser gefüllt ist und in welche Richtung, würdest du sagen, wirkt dann der Wasserdruck am Boden in der Mitte dieses Gefäßes?
- 96 S Nochmal, ich habe ein Gefäß mit Wasser gefüllt und...
- 97 I Mhm und in welche Richtung wirkt dann der Druck in der Mitte am Boden des Gefäßes?
- 98 S Also in der Mitte am Boden des Gefäßes... also vom Wasser aus, gel?
- 99 I Genau.
- 100 S Ja, nach unten. ... Nein, Druck hat ja verschiedene Punkte. Also man kann ja nicht – Wasserdruck hat ja nicht nur einen Punkt, wo es sich auswirkt, sondern wenn man Wasser auf einen Boden legt, dann ist es überall gleichmäßig viel Druck. Aber, hmm ... hmm. Ja, nach unten nehme ich jetzt an.
- 101 I Was weißt du über Vakuum?
- 102 S Ein Vakuum ist ein Zustand von einem begrenzten System, wo absolut nichts vorhanden ist. Also kein Teilchen, kein Molekül und keine Kraft und keine Energie. Und ich weiß, dass ein Vakuum bis jetzt noch nicht künstlich hergestellt worden ist.
- 103 I Wenn du an ein Aquarium denkst und das Aquarium ist bis oben mit Wasser gefüllt. Und nun wird nur die Breite des Aquariums verdoppelt. Das Aquarium wird wieder bis oben hin mit Wasser aufgefüllt – nachgefüllt. Wie ändert sich der Druck am Boden des Aquariums hinsichtlich des schmäleren?
- 104 S Hmm, der Druck ... Ich würde sagen gar nicht, weil der Druck sich bei beiden Aquarien gleichmäßig auf den Boden ausgebreitet hat und die – aber es ist mehr Wasser... Ja, ich denke es ist, es hat sich nicht verändert.
- 105 I Was weißt du über den atmosphärischen Luftdruck.
- 106 S Ich weiß jetzt nicht, wieviel bar das ist, aber es ist ganz logisch, weil wenn wir diesen Druck nicht hätten, dann hätten wir auch keine Luft zum Atmen, oder halt, dann halt keine Atmosphäre, weil dann einfach alle Teilchen, die in der Atmosphäre sind, ins Weltall verpuffen würden. Ja, und der Druck, der wird, je weiter man zur Erde kommt, immer mehr nehme ich an... ja ... nein, muss ja andersherum ... Also die Relation von oberer Atmosphäre und unterer Atmosphäre, ahm, da muss ich jetzt kurz darüber nachdenken, aber können Sie die nächste Frage sagen?
- 107 I Ok, kommen wir dann nochmals darauf zurück. Was weißt du über Druck beim Tauchen?
- 108 S Druck beim Tauchen ... Also ich weiß, je weiter man versucht zum Meeresgrund hinunterzutauchen, desto mehr Druck hat man auf sich. Und ich weiß auch, dass wenn man

taucht und dann wieder an Land geht, muss man einen Druckausgleich machen – halt wenn man extremem Druck ausgesetzt worden ist.

109 I Kommen wir jetzt nochmals zur vorigen Frage zurück. Wie ist das zwischen oberer Atmosphäre und unterer Atmosphäre? Gibt es da einen Druckunterschied?

110 S Also wenn man mit dem Flugzeug fliegt, dann hat man ja oft so einen zuen Hörkanal und muss dann einen Kaugummi kauen, oder so – oft nennt man das auch Druckausgleich. Also ist ein Unterschied da, den wir Menschen sogar spüren. Und damit die Erde ihre Atmosphäre behält, muss ja enorm viel Druck an den Rändern der Atmosphäre sein, damit diese nicht entweicht. Aber es muss auch viel Druck auf der Erde sein, aber in Relation zur Atmosphäre weniger. Also meiner Ansicht nach ist es so, dass wenn man jetzt im Flugzeug fliegt und davor aber auf dem Land war, dann hat man jetzt im Flugzeug mehr Druck auf sich, wie vorher.

111 I Ok, eine letzte Frage habe ich noch. Schätze bitte – also wir sind wieder beim Tauchen – schätze bitte ab, wie tief du mit einer Sauerstoffflasche und einer Lichtquelle als einzige Hilfsmittel maximal tauchen kannst. Und wie lässt sich diese Schätzung begründen?

112 S Mhm – mit einer Taschenlampe und einer Sauerstoffflasche ... Naja, so lange, bis der Sauerstoff in der Sauerstoffflasche seinen Zustand nicht verändert, denn wenn er flüssig ist, dann kann man ihn nicht atmen. Und solange, dass auch das Blut – hmm, solange, dass es uns halt nicht zerfetzt, bis wir halt unten sind. Und ich würde sagen, Meeresgrund ist absolut nicht möglich. Und dann, also vom Meeresgrund auf, würde ich sagen, 250 Kilometer.

113 I Von unten weg?

114 S Genau.

115 I Das heißt darüber geht es, oder darunter geht es?

116 S Darüber geht es.

117 I Und warum geht es ab einer gewissen Tiefe nicht mehr? Oder, du hast gesagt, dass es einen zerfetzt. Wodurch könnte das passieren?

118 S Also irgendwann kann die Flüssigkeit, die in unserem Körper drinnen ist, nicht mehr sein in unserem Körper, weil diese so stark zusammengepresst wird und keinen anderen Ausweg mehr findet, wie sich jetzt Platz zu machen, sozusagen. Also wenn – ich weiß nicht, mir fällt jetzt gerade ein Marshmallow ein. Wenn wir einen Marshmallow in eine Bar-Kammer legen – der ist ja voller Luft – und diese Luft vom Marshmallow will dann wieder raus, da ... hmm, ok, also die Luft vom Marshmallow will sich ausdehnen, weil sie irgendwann, also die Luft will ihren Zustand behalten und muss dann irgendwie aus diesem Marshmallow entfliehen, weil man dieses Verhältnis von Luft, was jetzt in diesem Raum war, wieder ausgleichen muss. Verstehen Sie, was ich meine? Also – ich bin mir jetzt aber nicht sicher, ob das richtig war. Ok, kann ich auf die Frage nochmal zurückkommen später? Aber was war die andere?

119 I Ahm, ich glaube, das... – habe ich grad eine zweite noch gestellt? Nein, oder?

120 S Ich glaube, Sie haben noch eine zweite gesagt.

121 I Hmm.

122 S Ich glaube, das war irgendwas mit Druck.

123 I Ja, also warum man nicht so tief tauchen kann. Und da hast du erzählt, weil man dann...

124 S Zerfetzt

125 I Zerfetzt, genau.

126 S Ok, also ist das eigentlich die...

127 I Mhm.

- 128 S Ja, die Frage kann ich jetzt nicht beantworten, weil eigentlich müsste das Wasser ja so arg zusammengequetscht werden und dann aber irgendwann sich mit dem – ja, ich kann das jetzt nicht beantworten.
- 129 I Ok... Jetzt ist mir leider doch noch eine Frage eingefallen. Und zwar: Gibt es deiner Meinung nach, einen Unterschied in der Auswirkung von Druck auf Flüssigkeiten beziehungsweise auf Gase?
- 130 S Also, nochmals, ein Unterschied?
- 131 I Der Auswirkung eines Drucks auf eine Flüssigkeit oder auf ein Gas.
- 132 S Mhm, ähm, also bei einem Gas, wenn man genug Druck ausübt, kann eben eine Flüssigkeit entstehen. Bei einer Flüssigkeit, wenn man genug Druck ausübt, na da wird sie heißer, weil dann die Flüssigkeitsteilchen, die in dieser Flüssigkeit drinnen sind, weniger Platz haben, um sich sozusagen zu bewegen. Dann wird sie heißer, heißer, heißer und dann ... also ich sage, ein Gas, wenn es genug Druck ausgeübt hat, dann wird es flüssig und bei einer Flüssigkeit, wenn genug Druck da ist, dann kocht sie langsam, aber sicher und kann aber nicht zum Gas werden, weil das dann sofort wieder zur Flüssigkeit wird. Ist es dann deswegen, weil wir zerkocht werden, sozusagen, wenn wir unten sind? Ist das so, oder wie? Ich schaue mir das dann später an, weil das interessiert mich jetzt.
- 133 I Na, schaue dir nicht so viel an ... Vielen Dank, das war's schon, das Interview für heute.
- 134 S Baba!
- 135 I Baba!

10.6.5 Testperson C1 – Pharao für einen Tag

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Guten Morgen!
2	S	Morgen!
3	I	Es geht, wie gesagt, hier um meine Masterarbeit. Das heißt, das weißt du eh schon alles. Und mein Fokus bei dieser Arbeit liegt darauf, dass ich Aufgaben entwickle und die dann eben verbessere. Das heißt, auch bei der Erprobung dann und auch jetzt beim Interview und nach dem Interview kannst du überhaupt nichts falsch machen. Danke für deine Unterstützung! Und den zeitlichen Ablauf weißt du auch schon – also jetzt das Vorinterview und dann das Nachinterview nach der Erprobung.
4	S	Ja, ja.
5	I	Passt. Gut, dann fangen wir mal an mit persönlichen Daten. Deinen Namen kenne ich ja schon. Wie alt bist du jetzt?
6	S	17.
7	I	Ok.
8	S	17 Jahre.
9	I	Und du besuchst die 7. Klasse Oberstufe. Dein Schulzweig an der AHS ist welcher?
10	S	Naturwissenschaftlich.
11	I	Mhm.
12	S	Bei der modularen Oberstufe.
13	I	Mhm. Und du hast bereits Physikolympiadekurse besucht oder besuchst grad einen. Das wievielte Jahr heuer?
14	S	Das ist das zweite Jahr.
15	I	Ok, gut. Dann hätte ich da ein paar Fragen bezüglich Physik allgemein an dich und zwar: erstens: Wie stehst du zur Physik? Wie gefällt dir Physik?
16	S	Ahm, ich finde Physik relativ spannend, weil's die generellen Erklärungen für viele Prozesse liefert - vor allem auch im Alltag – und man kann eben mit Physik oder generell mit Forschung in der Physik viel, auf viele neue Sachen draufkommen, wie zum Beispiel Elektrizität, was dann ziemlich viel verändern kann und deshalb glaub ich, ist das, Physik ziemlich wichtig, weil man damit viel verbessern kann, oder sozusagen.
17	I	Mhm, und innerhalb der Physik, welche Teilgebiete gefallen dir da am besten?
18	S	Ich find Mechanik relativ spannend, weil das, weil man das viel im Alltag mitkriegt und auch es viele Anwendungsbeispiele im Alltag gibt. Ich find Quantenphysik oder Quantenmechanik ziemlich spannend, weil das einfach noch so viel theoretisch - man dazu – oder weil das so viel noch verändern kann. Ich mein, Mechanik wird man jetzt nicht viel auf irgendein neues Phänomen draufkommen, was dann so bahnbrechend ist, aber in der Quantenmechanik schon eher. Und, ja das sind glaub ich die zwei spannendsten Themengebiete.
19	I	Warum hast du dich für einen Physikolympiadekurs überhaupt angemeldet?
20	S	Ich find generell, dass so eine Art Denksportaufgaben ziemlich spannend und Physikolympiade verbindet das quasi zum Teil mit eben Physik und ja, ich bin, also ich forsche quasi gern weiter und dann hab' ich quasi nochmal den Antrieb von der Schule dazu und dann ergänzt sich das ziemlich gut.
21	I	Darf ich fragen, inwiefern du in der Freizeit dich damit beschäftigst oder forschst?

- 22 S Also ich informiere mich über viele Netzwerke und diskutiere auch ab und zu mit meinem Bruder über irgendwelche Sachen, warum das jetzt so ist, oder, ja. Und ich habe früher, ich glaub, da hats viel mit meinem physikalischen Interesse angefangen, viel Lego gebaut und da ist auch das ganze mechanische Interesse von mir aufgekommen. Und da hat mich halt immer schon interessiert, zum Beispiel warum dreht sich ein Kreisel, oder wie funktionieren Elektromotoren, oder irgendsowas in der Richtung, sowas interessiert mich schon ziemlich lange.
- 23 I Mhm, cool. Lego habe ich auch immer gerne gespielt. Ok, was ganz anderes: Sag mal, was weißt du denn eigentlich so über die Pyramiden aus dem Alten Ägypten?
- 24 S Ich weiß nicht sehr viel, aber ich weiß, dass die, dass es im Alten Ägypten, dass sie von der Technik her relativ fortgeschritten waren. Sonst hätten sie diese gar nicht errichten können. Das heißt sie mussten da schon sämtliche Techniken von Flaschenzügen und sonst was gehabt haben. Ich glaube, ja, viel mehr weiß ich gar nicht über diese Pyramiden. Ja.
- 25 I Du hast Technik angesprochen. Was glaubst du denn, wie hat, wie hätte das sein können, dass man diese Pyramiden zu der damaligen Zeit in dieser Weise bauen konnte?
- 26 S Ich denke, man musste halt viel mit Flaschenzügen arbeiten und Züge hochheben, weil die Pyramiden dann doch recht hoch sind. Und, ähm, auch das Transportieren ist wahrscheinlich auf so eine Art Rädern, oder so, oder Kutschen oder irgendsowas, äh, gegangen und ja, äh, es war halt glaub ich dennoch, trotz den physikalischen Hilfsmitteln ziemlich viel Arbeit. Also, ja.
- 27 I Ähm und welche dieser alten Techniken könnten deiner Meinung nach auch heute noch in der Technik eine Rolle spielen und inwiefern?
- 28 S Ähm, also Flaschenzug ist ja ganz, also wird ja heute noch auf der Baustelle sozusagen verwendet. Das ist, äh, weil, äh, weil's einfach, braucht weniger, also man braucht gleich, ja – also es erleichtert das Ziehen, aber dann, sonst gibt es eigentlich, na ich weiß nicht, das Rollen von, also ich glaube, ich weiß es nicht, aber ich glaub die Steine wurden auf so Art, äh, liegenden Baumstämmen gerollt. Äh, ich glaube das findet auch noch Anwendung heute, aber ich weiß jetzt nicht direkt wo. Also generell Rollen, natürlich verwenden wir irgendwelche Rollenbretter oder irgendwas in die Richtung, ähm, aber ich weiß auch gar nicht so viel über die Techniken die dort eben verwendet wurden. Deshalb kann ich jetzt schwer sagen, was alles heute noch verwendet wird, aber ich denke vieles davon.
- 29 I Wie würdest du denn den Vorzug von einem Flaschenzug physikalisch gesehen beschreiben?
- 30 S Den Vorzug ... ähm, das ist der hängende Teil, oder?
- 31 I Also du hast vorhin gesagt, du hast vom Flaschenzug gesprochen und hast gemeint, mit dem macht man sich die Arbeit leichter – inwiefern?
- 32 S Also man, ähm ... man, ähm muss zwar immer noch mit gleich viel Energie die, irgendeinen Stein hochheben, oder so, aber äh, man verlängert die ähm, man verlängert den Zeitraum oder, sozusagen in dem man den Stein hochziehen kann, weil die halbe Kraft nur auf die, äh auf das Seil wirkt, an dem man zieht und deshalb ist es leichter, den Stein hochzuheben. Also die Kraft wird sozusagen aufgespalten, ich weiß jetzt nicht, ahm ja.
- 33 I Mhm, ok, dann bleiben wir gleich bei Kräften. Beschreibe bitte, was du unter einem Gewicht eines Körpers verstehst und wie lässt sich dieses messen?
- 34 S Ein Gewicht ist sozusagen die Kraft die auf die Erde, mit der der Körper auf die Erde wirkt. Also der hängt, dies, das Gewicht also ist abhängig von der Masse und der Gravitation der Erde. Und ähm, was haben Sie gemeint – wie lässt sich das Gewicht messen?

35	I	Mhm.
36	S	Das lässt sich mit einer Waage messen, die quasi die Kraft misst, mit der das Objekt auf die Erde drückt.
37	I	Mhm. Was verstehst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
38	S	Also die Formel ist, ist jetzt, ich kann, also Kraft ist äh, beeinflusst die Beschleunigung, würd ich sagen, weil wenn ich, also wenn die Kraft auf etwas wirkt, wird es beschleunigt, oder ja. Äh, hmm, ja, ja, passt so.
39	I	Mhm, gut, danke. Nenne bitte ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können.
40	S	Also, ähm, ein, ein Ball kann Kraft auf einen anderen Ball auswirken, indem er – eben mit der Gravitation mit der sie sich anziehen. Ahm, ein Elektron kann auf ein anderes Elektron auch Kraft ausüben, indem sie sich abstoßen. Ein, hmm, ja generell, alles was irgendwie Masse hat wirkt auf alles was irgendwie Masse hat, also, äh und auch alles was irgendwie geladen ist, wirkt auf alles was irgendwie geladen ist. Ja, da könnt‘ ich jetzt alles aufzählen.
41	I	Du hast auch über Bewegung und Kraft gesprochen. Welchen Zusammenhang siehst du denn zwischen diesen beiden Begriffen Kraft und Bewegung, oder siehst du einen und wenn ja, kannst du den beschreiben?
42	S	Ja, also die ... eine Kraft sorgt dafür, dass zum Beispiel ein Objekt beschleunigt wird. Also wenn ich jetzt zum Beispiel einen Ball fallen lasse, dann wirkt auf den erstmal eine Kraft. Das ist zum Beispiel die Gravitation auf der Erde. Dann wird durch diese Kraft der Ball beschleunigt, ähm da hängt dann auch die Masse vom Objekt zusammen, weil wenn die Masse größer ist, dann wird es weniger stark beschleunigt, aber dann ist auch normalerweise die Gravitationskraft stärker. Ähm und dann wird dieses Objekt eben beschleunigt und durch die Beschleunigung wird die Geschwindigkeit größer und durch die Geschwindigkeit wird dann nochmal der Ort, also die Ortsdifferenz größer.
43	I	Wie viele Kräfte dürfen maximal auf einen Körper wirken, ohne dass sich dieser bewegt?
44	S	Es dürfen unendlich Kräfte auf diesen Körper, auf einen Körper wirken.
45	I	Mhm, ah, möchtest du erklären, wie du zu dieser Annahme kommst?
46	S	Also wenn man theoretisch einfach eine, eine Kraft nach links hat und eine gleich große nach rechts und dann zum Beispiel noch eine nach links, noch eine nach rechts, noch eine nach links, noch eine nach rechts, solange das von links und rechts gleich viele sind, wird sich an der Beschleunigung, ahm, wird äh, ist die gesamte Kraft, die auf den Körper wirkt, immer gleich Null und dadurch ändert sich die Geschwindigkeit auch nicht, oder was.
47	I	Mhm.
48	S	Oder die Beschleunigung.
49	I	Was stellst du dir unter einem Kräfteparallelogramm vor?
50	S	Ein Kräfteparallelogramm, mit dem kann man eben eine Kraft aufspalten. Zum Beispiel, wenn man auf einem Dach einen Ball hinlegt, dann ist das meistens schräg und dann wird – zeichnet man die Kraft von der Gravitation ein und dann zeichnet man eben ein Parallelogramm, das parallel zur Oberfläche ist, damit man die Kraft hat, die quasi den Ball runter vom Dach parallel zieht und die Kraft, die auf das Dach wirkt, oder gegen das Dach drückt. Und ja, damit kann man eben dann Kräfte aufspalten und kann sich eben dann zum Beispiel die Kraft ausrechnen, die in eine gewisse Richtung wirkt, dann.
51	I	Ja, fallen dir noch andere Situationen ein, wo man ein Kräfteparallelogramm hilfreich verwenden könnte?
52	S	Es muss jetzt kein Dach sein. Also man kann generell immer, wenn man eine Kraft in eine Richtung hat und man will aber eigentlich die Kraft in die – in irgendeine andere

Richtung davon wissen, kann man immer ein Kräfteparallelogramm zeichnen und sich das einfach ausrechnen, wie groß jetzt die Kraft in die andere Richtung ist.

53 I Ok, super. Was verstehst du unter Arbeit?

54 S Arbeit ist, ähm, Arbeit ist Energie, die verrichtet wird, also ähm, zum Beispiel Körper A kann an Körper B Arbeit verrichten, aber nicht zum Beispiel Energie. Weil Energie ist die, ist der, ich weiß nicht ... Prozess und die andere Größe, Prozess und Zustandsgröße oder sowas gibt's glaub ich. Arbeit ist die Prozessgröße und Energie ist die Zustandsgröße.

55 I Siehst du zwischen Kraft und Energie einen Unterschied und falls ja, welchen?

56 S Kraft ist schonmal etwas, das ein Vektor ist. Das wirkt in eine Richtung und Energie ist quasi einfach nur ein Skalar. Und dann ... äh Energie hat dann nochmal verschiedene Formen in der sie auftritt. Kraft zwar auch, aber Energie tritt zum Beispiel als kinetische Energie oder als irgendeine andere Energie vor – auf, aber Kraft bewirkt glaub ich immer eine Beschleunigung des Objekts.

57 I Ok, danke. Wie schaut das aus mit Arbeit und Energie? Siehst du zwischen diesen beiden einen Zusammenhang und falls ja, welchen? Du hast es eh schon im Prinzip grob angesprochen quasi vorhin.

58 S Ja, eben Arbeit ist die – Arbeit ist quasi Energie die verrichtet wird. Und Energie ist quasi die gespeicherte Form davon. Ein Körper kann sozusagen nicht einfach so Energie übertragen. Er muss vorher, der Körper A muss vorher an Körper B Arbeit verrichten, damit sich Körper B dann die Energie hat zum Beispiel.

59 I Geht das nur über Arbeit?

60 S Ähm, ich glaube schon. Man kann vielleicht den Körper abspalten oder irgendwas anderes machen, aber das ist dann quasi nicht mehr das klassische Verrichten von, das klassische Verrichten oder Übertragen von Energie. Ich glaube, es geht nur über Arbeit.

61 I Was weißt du über Auftrieb?

62 S Auftrieb ist jetzt ... hängt von der Dichte schon mal ab und von den ... von der Flüssigkeit in der sich das Objekt befindet und von der Gravitation, die natürlich nach unten wirkt – glaub ich zumindest. Es kann auch sein, dass es sich verkürzt in der Formel. Aber ja, es hängt davon ab, wie groß der Dichteunterschied von dem Wasser, also von der Flüssigkeit und dem Objekt selber ist. Und eben, wie groß dann die Kraft ist, die das Objekt nach oben ziehen will und wie groß eben die Gravitation ist, die das Objekt nach unten zieht.

63 I Unter welchen Mindestvoraussetzungen kann das Phänomen Auftrieb überhaupt auftreten?

64 S Also die Dichte muss von dem Objekt das im Wasser ist, oder in der Flüssigkeit ist, muss größer sein, glaub ich, nein, muss kleiner sein als die von der Flüssigkeit, damit das Objekt überhaupt nach oben will quasi, weil sonst ist das Objekt eh schwerer und will nach unten, also verdrängt, kann das Wasser verdrängen.

65 I Und unter welchen Bedingungen schwimmt ein Körper in einer Flüssigkeit?

66 S Wenn eben der Auftrieb größer ist als die Gravitation, die den Körper nach unten zieht.

67 I Mhm. Gibt es auch das Auftriebsphänomen, wenn gar keine Flüssigkeit vorhanden ist?

68 S Ja, würd' ich jetzt schon sagen, weil zum Beispiel ein Luftballon, der jetzt zum Beispiel mit unterschiedlichen Gasen gefüllt ist, wird jetzt auch manchmal, kann man sich jetzt auch manchmal die Auftriebskraft ausrechnen. Also ja, es muss nicht unbedingt eine Flüssigkeit sein.

69 I Ok, hmm. An welcher Stelle eines Körpers kann man diesen, also den Körper, auf nur einem Finger balancieren?

70	S	Ahm, auf dessen Scherpunkt.
71	I	Und erkläre bitte, wie du praktisch vorgehen würdest, um diesen Punkt bei einem Körper zu finden.
72	S	Also wenn das ein Körper ist, der allgemein überall die gleiche Dich, aha ok, also wenn's ein relativ großer Körper ist, dann würd' ich mir erst mal optisch anschauen, wo ist ungefähr die Mitte und dann äh versuchen, den Körper auf irgendeine Kante zu verlegen und schauen, wo ist eine Schwerlinie. Und wenn ich dann die Schwerlinie gefunden hab, dann könnt ich sie zum Beispiel einzeichnen und dann den Körper drehen und noch eine Schwerlinie suchen. Dann hab' ich schon mal eine, zum Beispiel eine senkrechte Schwerlinie und dann such ich noch eine dritte Schwerlinie und dann versuch ich den Schnittpunkt auszurechnen und dann hab' ich den Punkt, Schwerpunkt des Objekts.
73	I	Gut, ok. Damit sind wir schon am Ende. Vielen Dank!
74	S	Gerne.
75	I	Morgen, glaub ich, haben wir dann das zweite Interview. Also na, doch.
76	S	Um 8:00 ist die Erprobung.
77	I	Aja, genau, das heißt, ich bringe dir dann heute Abend noch die Sachen vorbei.
78	S	Ja.
79	I	Bitte bei der Erprobung dann morgen laut mitdenken, was du machst und was du dir denkst und was du jetzt grade grübelst und versuchst und so weiter.
80	S	Mhm, passt.
81	I	Super. Vielen Dank!

10.6.6 Testperson C2 – Pharao für einen Tag

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Hallo!
2	S	Hallo!
3	I	Danke fürs Aufstehen. Ok, also kurz zur Einleitung: Du weißt, es geht um meine Masterarbeit an der Universität Wien. Die Aufnahmen sehe nur ich. Die Antworten werden transkribiert und veröffentlicht, allerdings komplett anonymisiert. Das heißt man kann keine Rückschlüsse auf dich ziehen. Den zeitlichen Ablauf haben wir auch besprochen.
4	S	Ja.
5	I	Passt. Danke für deine Teilnahme. Wie alt bist du?
6	S	Ich bin 16.
7	I	Mhm und du besuchst die 7. Klasse Oberstufe AHS in welchem Schulzweig?
8	S	Ah, Realgymnasium.
9	I	Und welcher Zweig im RG?
10	S	Nawi, also naturwissenschaftliches Realgymnasium.
11	I	Mhm. Du hast bereits an einem Physikolympiadekurs teilgenommen und besuchst gerade einen. Wie viele Jahre schon inklusive laufendem Jahr?
12	S	Ähm, ich besuche einen jetzt das zweite Jahr.
13	I	Ok, dann kommen wir ein Bisl' zur Physik allgemein. Wie stehst du zur Physik und wie gefällt dir Physik?
14	S	Ahm, mir gefällt Physik sehr gut. Ich interessiere mich sehr dafür. Ähm, ist auch Teil meiner Freizeit, sag ich jetzt mal. Ahm, jo.
15	I	Was an der Physik findest du am spannendsten beziehungsweise am faszinierendsten? Ich meine jetzt nicht die Teilgebiete.
16	S	Ahm, dass man eine Erklärung findet, oder zumindest sucht für alles irgendwie. Also, dass, dass man sozusagen alles klären will und vieles auch kann.
17	I	Mhm, was bedeutet das für dich oder was bringt dir das?
18	S	Ahm, dass man nicht gläubig sein muss und man sich das alles anders erklären kann oder, ja, sich anders vorstellen kann. Andere Antworten auch auf solche Fragen hab und keinen Gott brauch dafür.
19	I	Welche Teilgebiete der Physik gefallen dir am besten?
20	S	Hmm, ich würd' sagen klassische Mechanik kann ich irgendwie am besten – also interessiert mich auch, ähm und natürlich Quantenmechanik und so ist natürlich sehr interessant, ja.
21	I	Warum hast du dich dazu entschieden, an einem Physikolympiadekurs teilzunehmen?
22	S	Weil ich mich gerne mehr mit Physik beschäftigen wollte, auch über den normalen Schulunterricht hinausgehen und das halt nach einer sehr guten Möglichkeit geklungen hat und ich das mal ausprobieren wollte.
23	I	Schön, dann kommen wir mal zu was ganz anderem. Was weißt du über den, ah, über die Pyramiden des Alten Ägyptens?
24	S	Ahm, dass sie als Grabmäler für Pharao, Pharaonen – Pharaos – gebaut wurden, dass man sich nicht sicher ist, wie sie das geschafft haben, das Bauen, weil sie ja doch sehr beeindruckend groß sind und damals jetzt noch nicht die technischen Mittel waren wie heute. Was weiß ich noch drüber? Dass es, ähm, dass sie sehr, also dass es, dass es ja Fallen

oder, oder Labyrinth sozusagen drin gibt, um Grabräuber davon abzuhalten zur Grabkammer zu kommen. Ja.

- 25 I Wie konnten die denn deiner Meinung nach errichtet werden oder was scheint dir am naheliegendsten?
- 26 S Hmm, dass sie erstens einfach sehr viel Sklaven hatten und hart gearbeitet haben, vielleicht auch härter, als wir uns das vorstellen können, also halt mit genügend Peitschenhieben, ähm und dass sie vielleicht auch irgendwelche Tricks hatten, irgendwelche – was weiß ich – irgendwelche Hebel oder irgendwelche Flaschenzüge, Flaschenzugsysteme, was auch immer, irgendwas, was wir nicht kennen, was irgendwie nicht überliefert ist und wie es so geklappt hat vielleicht.
- 27 I Ahm, jetzt hast du schon ein, zwei Techniken genannt. Glaubst du können Techniken von damals auch in der heutigen Zeit und für die heutige Technik noch relevant sein und falls ja, wo siehst du da Zusammenhänge?
- 28 S Also ich glaub, dass es auf jeden Fall noch relevant ist, weil ja, also ich weiß nicht jetzt, zum Beispiel ein Kran, der irgendwas hochhebt, das kann schon sein, dass der elektrisch angetrieben wird oder so, aber für den gelten ja genauso die, wie ich schon gesagt hab, Hebelgesetze zum Beispiel. Das heißt, sowas muss ja da genauso noch beachtet werden und ja und hat daher immer noch Anwendung.
- 29 I Beschreibe bitte, was du unter dem Gewicht eines Körpers verstehst und wie lässt sich dieses messen?
- 30 S Unter Gewicht verstehe ich die Kraft, die auf einen Körper wirkt, der von einem anderen Körper durch Gravitation angezogen wird – zum Beispiel ein Mensch auf der Erde. Und messen kann man das wie jede andere Kraft auch, also zum Beispiel durch Federn.
- 31 I Was verstehst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
- 32 S Kraft ist eine Impulsänderung mit der Zeit, also wie viel ein Körper an Impuls hinzugewinnt, oder halt verliert, ähm, über einen gewissen Zeitraum.
- 33 I Nenne bitte ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können.
- 34 S Jeder Körper mit Masse übt schon mal eine Gravitationskraft auf jeden anderen Körper aus, ja. Und ja, was gibt's noch für Kräfte? Elektronen zum Beispiel wirken eine elektrische Kraft auf andere Teilchen, die geladen sind, das ist auch, ja, also, also, ja, in Atomen, in Molekülen gibt es Bindungskräfte, beziehungsweise Kräfte, die sich abstoßen, wenn zwei Körper sich berühren. Das sind elektromagnetische Kräfte.
- 35 I Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe den bitte.
- 36 S Ich sehe einen Zusammenhang, weil der, also die Kraft gibt ja eine Impulsänderung an und der Impuls beschreibt ja, also ist ja das Produkt von Masse und Geschwindigkeit, also wie schwer du bist, also ... wie viel Masse du hast und wie schnell du dich bewegst. Das heißt, wenn eine Kraft auf dich wirkt, bist du beschleunigt. Das heißt, deine Bewegung ändert sich.
- 37 I Wie viele Kräfte dürfen maximal auf einen Körper wirken, ohne dass sich dieser bewegt?
- 38 S Beliebig viele. Sie müssen nur sich gegenseitig aufheben, also entgegengesetzt wirken, oder so dass sich halt, ja, wenn man alle auf einmal betrachtet, dass dann halt Null rauskommt als resultierende Kraft.
- 39 I Was stellst du dir unter einem Kräfteparallelogramm vor?
- 40 S Ein Kräfteparallelogramm ist, wenn ich mich jetzt richtig erinnere, dass du eine Kraft nimmst – einen Kraftvektor und den in zwei zueinander im rechten Winkel stehende Komponenten aufteilst. Also zum Beispiel, wenn du eine schiefe Ebene hast und einen

Körper und die Gravitationskraft wirkt nach unten, dann spaltest du diesen Vektor in einen Teil der so ist und in einen Teil, der so ist, auf.

41 I Fallen dir da noch andere Situationen ein, wo so ein Kräfteparallelogramm hilfreich sein könnte?

42 S Hmm, wenn man einen Körper – wenn man zum Beispiel eine Tür öffnet und da dagegen drückt, dann ähm, ist ja die, also für das Drehmoment ist ja nur die Kraft relevant, die im rechten Winkel zur Drehachse steht. Das heißt, wenn jetzt hier die Tür ist und man so dagegen drückt und man – kann man sich so auch wieder die Komponente ausrechnen, die so drückt und die, die so drückt. Die ist für die Drehung wurscht und die ist dann relevant für die Drehung.

43 I Was verstehst du unter Arbeit?

44 S Arbeit ist, ähm, Kraft, die über einen gewissen Weg verrichtet wird. Also wenn ich einen Körper – also und dieser Weg ist parallel zur Kraft. Also wenn ich in die Richtung schiebe, aber gleichzeitig der Körper sich in die Richtung bewegt, aber ich trotzdem weiterschiebe sozusagen, da ist es dann Arbeit. Das ist, Arbeit ist eine Möglichkeit, oder ja Arbeit, mit Arbeit überträgt man Energie, also kann man einem Körper zum Beispiel kinetische Energie geben. Wenn man ihn an – ja, anschubst, mehr oder weniger, dann bewegt er sich ja, dann hat er eine kinetische Energie. Das geht nur, wenn man Arbeit verrichtet.

45 I Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie und falls ja, worin liegt der?

46 S Kraft und Energie, oder Arbeit und Energie?

47 I Kraft und Energie. Gibt's da einen Unterschied?

48 S Kraft und Energie... ähm, ja, weil ja, weil ja die ähm, die Kraft – bei der Kraft geht's ja um den Impuls, das ist Masse mal Geschwindigkeit und bei der Energie geht's ja um die, also kinetische Energie, das ist Masse mal Geschwindigkeit zum Quadrat halbe. Das heißt, es ist nicht egal, wie schnell der Körper ist sozusagen, also wenn man einen Körper mit, ähm, von 10 auf 20 kmh oder von 110 auf 120 kmh, ähm, ja beschleunigt, dann ist die Impulsänderung die gleiche, also die Kraft sozusagen, aber die Änderung der kinetischen Energie nicht, weil das nimmt ja quadratisch zu und das ist ja also ähm, eine Parabel, keine gerade Linie.

49 I Mhm. Siehst du einen Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie? Also Zusammenhang – und falls ja, beschreibe den.

50 S Ja, da ist ein Zusammenhang. Wie gesagt Arbeit ist das Übertragen von Energie sag ich jetzt mal, also dass man von außen Energie an einen Körper zuführt. Das kann ganz verschieden sein. Das kann entweder, indem man ihn anschubst, kinetische Energie sein, oder man hebt ihn hoch und gibt ihm damit potentielle Energie. Also ja, und also Energie hat man und Arbeit wird an einem verrichtet. Aber es ist von der – die Einheit ist die gleiche. Es ist nur eben die Unterscheidung ob man's hat oder ob's, oder ob was passiert damit - sozusagen.

51 I Was weißt du über Auftrieb?

52 S Auftrieb findet statt in – wenn ein Körper sich in ein, ähm in einem Medium befindet, wie zum Beispiel Luft oder Wasser, also ein Gas oder eine Flüssigkeit, dann ähm und und es eine ähm, ja Gravitationskraft zum Beispiel gibt, also eine Kraft, die nach – ständig in eine Richtung zieht. Der Körper verdrängt ja einen Teil des Mediums in dem er sich befindet, ähm aber wenn das Medium schwerer ist als der Körper selbst – wie das zum Beispiel beim Menschen im Wasser der Fall ist. Also Wasser ist ja schwerer als ein Mensch, der eingeatmet hat, also ja wird das Wasser verdrängt, aber es drückt ja nach

unten nach und es drückt stärker nach unten als der Körper. Das heißt, der Körper wird nach oben getrieben. – Ja.

- | | | |
|----|---|---|
| 53 | I | Vielleicht allgemein: Welche Bedingungen müssen denn erfüllt sein, damit ein Körper schwimmt? |
| 54 | S | Ähm, die Auftriebskraft muss größer sein als die auf den Körper wirkende Schwerkraft. |
| 55 | I | Wenn du jetzt an einen beliebigen Festkörper denkst. An welcher Stelle eines Körpers kann man diesen auf nur einem Finger balancieren? |
| 56 | S | Auf einer Linie, die unterhalb von seinem Schwerpunkt ist. |
| 57 | I | Erkläre bitte, wie du praktisch vorgehen würdest, wenn du einen beliebigen Festkörper bekommst, um diesen Punkt des Körpers zu finden. |
| 58 | S | Den Punkt jetzt im Dreidimensionalen oder nur im Zweidimensionalen sozusagen? |
| 59 | I | Den Punkt, auf dem du das Objekt auf einem Finger – auf einer Fingerspitze balancieren kannst. |
| 60 | S | Ich würde – also wenn's ein sehr gleichmäßiges Objekt ist, wie ein Quadrat oder halt ein Würfel oder ein Dreieck oder so, dann kann man das ja relativ gut mit dem Auge abschätzen, würde ich jetzt mal behaupten. Ähm, das – hmm, ja und auch sonst, wenn das nicht der Fall ist, würd ich's halt irgendwie versuchen, mit dem Auge abzuschätzen und dann probieren, also einfach halten und sehen, in welche Richtung es kippt und das dann entsprechend anpassen. |
| 61 | I | Mhm... |
| 62 | S | Bis ich's zirka hab. |
| 63 | I | Gut, danke schön. Das war's auch schon. |
| 64 | S | Gerne. |
| 65 | I | Ahm, mit dem Vorinterview. Bei der Erprobung werde ich mich dann relativ zurückhalten. Das heißt du arbeitest einfach für dich, so wie im Physikolympiadekurs, nur halt alleine und ich bin nur da, wenn du mich brauchst. Dafür wäre es aber ganz wichtig, dass du bitte laut mitdenkst – also laut mitsprichst, was du dir denkst und was du gerade machst – auch wenn du irgendwie in eine Sackgasse kommst und sagst ,ok, da ist – diesen Weg verfolge ich jetzt nicht weiter, weil ... usw. ... Genau und wenn du Fragen hast, kannst du mich dann natürlich gerne jederzeit fragen. |
| 66 | S | Ja. Soll ich dann irgendwie am Computer mitschreiben oder so und da dann eine Bildschirmübertragung machen, oder? |
| 67 | I | Wie du dir leichter tust. Das wäre dann aber auf jeden Fall auch spannend, falls irgendetwas zum Beispiel mit GeoGebra kommt oder so. |
| 68 | S | Ja. |
| 69 | I | Super. Ok, dann vielen Dank und bis übermorgen. |
| 70 | S | Tschüss. |

10.8 Transkripte der Nachinterviews

10.8.1 Testperson A1 – Omas Lieblingshäferl

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Gut, bereit?
2	S	Ja.
3	I	So, dann fangen wir an... Als wie schwierig empfandest du das Beispiel?
4	S	Gemischt. Also die letzte Hälfte, mit der horizontalen Entfernung und dem, also ab da war es einfacher. Das davor mit dem – wo man annehmen musste, dass es stehen bleibt und die Energie ausrechnen musste, das fand ich etwas schwerer, weil ich das mit dem – mir – die Energien am Anfang noch nicht wusste, wie das aussehen soll. Aber dann hat es geklappt. Und das Aufbauen hat etwas gedauert, aber der Versuch selbst ging dann eh einfach.
5	I	Wie fandest du das – oder fandest du das gut, dass auch hinten, also speziell in der zweiten Hälfte, nochmal leichtere Beispiele kamen?
6	S	Ich fand es auf jeden Fall gut, weil nachdem man das schwierige geschafft hat, weiß man dann, dass etwas Einfacheres kommt und man nicht noch viel mehr sich den Kopf zerbrechen muss. Deswegen fand ich es gut, dass die schwierigeren Beispiele eher in der Mitte sind, weil dann wusste ich, als ich mir die angeschaut habe, dass es jetzt das Schwierigste vorbei ist und ich jetzt etwas nicht so intensiv da arbeiten muss, um es zu schaffen. Ich mochte es.
7	I	Wie interessant beziehungsweise spannend fandest du das Beispiel?
8	S	Es war am Anfang etwas ungewöhnlich. Ich fand es später recht interessant, wo man sich vor allem, weil das alles zusammenhängt, dass man die Ergebnisse von den vorherigen dazunehmen muss, um sich zum Beispiel auszurechnen, wie weit die Mutter fallen würde und vor allem ab dem 4. Beispiel, wo man sich nicht mehr die Energien so viel ausrechnen musste, fand ich es interessant.
9	I	Wie hat dir das Beispiel gefallen?
10	S	Insgesamt fand ich das Beispiel war echt gut. Der Versuch hat etwas Zeit gebraucht zum Aufbauen, aber wenn man es aufgebaut hat, ging es dann eh recht schnell. Und es – vor allem die Aufgaben – also die Aufgabenstellungen fand ich gut, nur der Versuchsaufbau am Anfang – haben Sie eh gesagt, dass man, na dass Sie besser sagen sollen, dass man die Schiene halt waagrecht halten soll und nicht einfach irgendwie, weil das ist wichtig. Aber sonst fand ich's Größtenteils eh gut erklärt.
11	I	Was hat dir an dem gesamten Beispiel besonders gut gefallen?
12	S	Besonders gut fand ich den Anfang der zweiten Hälfte, wenn man dann das Schwierige schon geschafft hat und dann aber die Ergebnisse hatte und man dadurch dann einfacher die nächsten Beispiele berechnen konnte und aber auch die Beispiele etwas einfacher waren.
13	I	Was würdest du an dem Beispiel ändern?
14	S	Muss ich überlegen ... Ich würde vielleicht beim 3. – oder war's der dritte Punkt? – Ja, genau beim 3. Punkt würde ich noch etwas mehr erklären, wie man die Energien benutzen muss, also, dass man sich die Energie dazu ausrechnen muss und auch eben, dass da die Bahngeschwindigkeit gefragt ist und nicht die Winkelgeschwindigkeit.
15	I	Mhm. Was würdest du sagen? Ich habe mir da schon während dem Experimentieren vermerkt, wie du gesagt hast, dass man auf Winkel- beziehungsweise Bahngeschwindigkeit

		hinweist, welche da genau gemeint ist und eventuell auch, weil mir hat das ganz gefallen mit deiner – ahm, mit deinem Auslesen eigentlich aus der Videoanalyse, also aus der Messung sozusagen – dass man vielleicht Punkt 3 auf zwei Aufgaben aufteilt und einmal einfach explizit sagt: „Löse durch Berechnung mit dem Energiesatz!“ und einmal: „Löse mittels Messung durch die Videoanalyse.“
16	S	Ja, das finde ich, wäre eine gute Idee.
17	I	Mhm.
18	S	Und damit kann man dann auch – da kann man dann auch beim 4. Beispiel besser vergleichen.
19	I	Mhm, voll. Und wäre das, denkst du, dann keine zu große Hilfe, aber zumindest ausreichend klar, dass man das lösen kann?
20	S	Ja, ich würde sagen, das ist keine zu große Hilfe, weil man muss schon selbst daraufkommen, wie sich die potentiellen und kinetische Energien in dem System verhalten und wie die übertragen werden. Aber der Hinweis, dass man auf Energie achten muss, ist genug und hilfreich.
21	I	Sonst noch etwas, was du ändern würdest?
22	S	Ich glaube nicht.
23	I	Was hättest du dir an dem Beispiel noch gewünscht?
24	S	Ahm, was ich mir noch gewünscht hätte ... Vielleicht, dass vor dem Rechenbeispiel, also dass vor dem ersten Rechenbeispiel – das Nummer 3 ist, vielleicht noch ein Rechenbeispiel ist, aber ein einfacheres als Einstieg. Damit nicht man gleich direkt das Schwerste auf einmal machen muss, sondern man einen schönen Einstieg hat. Und sonst hat es gepasst.
25	I	Wie war das für dich eigentlich ganz am Anfang, als du noch nicht wusstest, was passiert, das dann einfach fallenzulassen?
26	S	Also meinen Sie die Tasse fallenzulassen?
27	I	Ja.
28	S	Ja, am Anfang hatte ich schon ein bisschen Angst, vor allem, weil ich jetzt da, glaube ich, sechs Polster da am Boden habe, damit ja nichts dem Glas passiert. Aber als ich dann gesehen habe, dass sich das drum herumwickelt und nicht einfach nur auf den Boden fällt, war es dann schon angenehmer zu wissen.
29	I	Gibt es für dich einen Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit und falls ja, beschreibe den.
30	S	Ja, also das Tempo gibt an, wie schnell sich ein Körper bewegt und die Geschwindigkeit gibt noch eine Richtung dazu an.
31	I	Was weißt du über das erste Newton'sche Axiom?
32	S	Oh Gott – das erste Newton'sche Axiom besagt, glaube ich, dass jeder Körper sich in einer gleichmäßigen Bewegung fortbewegt, solange keine Kraft auf ihn wirkt.
33	I	Wo gilt denn das überall?
34	S	Äh, überall.
35	I	Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt und plötzlich einen Stoß im 90°-Winkel dazu, also zu seiner Anfangsgeschwindigkeit, erhält.
36	S	Er wird sich im 45°-Winkel zum Anfangspunkt – also relativ nach rechts bewegen. Also mit 45° und dann halt mit dem Anfangstempo nach rechts und halt mit noch zugeführten Tempo nach oben oder unten – je nachdem, in welche Richtung man das anstoßt und das halt dann mit Vektoren addieren, um die ... Gesamttempo zu kriegen.

37	I	Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe den.
38	S	Ja. Jeder Körper bewegt sich gleichförmig, außer wenn eine Kraft auf ihn wirkt. Das heißt, wenn man eine Kraft ausübt, kann man die Bewegung eines Körpers verändern.
39	I	Was weißt du über das zweite Newton'sche Axiom?
40	S	Das besagt, glaube ich, dass ... das sagt die Formel, dass Kraft gleich Masse mal Beschleunigung ist und dass man – ah, dass Kraft gleich Beschleunigung ist.
41	I	Dass Kraft gleich Beschleunigung ist?
42	S	Ja, dass man mit Kraft einen Gegenstand beschleunigen kann.
43	I	Ok. Wofür kann man dieses nutzen – das zweite Newton'sche Axiom? Nenne alle Möglichkeiten, die dir einfallen.
44	S	Man kann sich ausrechnen, wieviel Kraft man braucht, um einen gewissen Gegenstand zu beschleunigen. Man kann sich ausrechnen, wieviel man wiegt. Man kann es anwenden, um sich die Masse eines Objekts auszurechnen, das sich gerade bewegt. Man kann sich die Beschleunigung ausrechnen, wenn man die Masse und die Kraft hat, die darauf wirkt und das war's, glaube ich, was mir einfällt.
45	I	Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt, bis plötzlich eine Kraft im 90°-Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit auf diesen wirkt.
46	S	Der Ball wird sich mit dem gleichen Tempo nach rechts weiterbewegen, aber dazu auch noch das Tempo, das im 90°-Winkel wirkt. Also wird er sich mit dem Anfangstempo nach rechts bewegen und mit dem Tempo, das hinzugefügt wurde, noch nach oben oder unten gleichzeitig.
47	I	Ich lese noch einmal nur zur Sicherheit die Frage vor: Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt, bis plötzlich eine Kraft im 90°-Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit auf diesen wirkt – fortwährend.
48	S	Ja, dann wird er sich im 45°-Winkel relativ zu seiner vorherigen Richtung bewegen und mit dem Anfangstempo noch nach rechts plus das Tempo, das er nach oben hat – oder halt im 90°-Winkel, das er hat. Und das kann man dann mit Vektoren addieren, um die Geschwindigkeit zu kriegen.
49	I	In welche Richtung würde sich der Mond von der Erde aus betrachtet bewegen, wenn die Gravitationskraft zwischen Erde und Mond plötzlich aussetzen würde?
50	S	Er würde sich geradlinig in die Richtung weiterbewegen, in die er sich gerade bewegt.
51	I	In einem kreisrunden Rohr rollt ein Ball. Wohin bewegt sich der Ball, wenn dieses Rohr plötzlich an einer Stelle geöffnet wird? – also einfach gekappt.
52	S	Ja, dann würde er sich mit dem Tempo, das er halt hat, weiterbewegen und gleichzeitig würde er noch – also, wenn es jetzt irgendwo ist, wo es keine Gravitation gibt, würde er einfach in dieselbe Richtung sich weiterbewegen. Wenn es aber eine Gravitationskraft gäbe, würde er sich auch noch gleichzeitig nach – in Richtung der ... dem Gravitationsmittelpunkt bewegen.
53	I	Mhm, angenommen, es gibt so eine Gravitation. Beschreibe die Bewegung des Balles nach dem ...
54	S	Das wäre dann eine Parabel.
55	I	Was weißt du über Energie?
56	S	Energie ist die Möglichkeit Arbeit zu verrichten. Und jeder Körper hat eine potentielle Energie. Nur muss man bei potentieller Energie darauf achten, dass man einen Bezugspunkt hat, zum Beispiel den Boden oder einen Tisch. Und dass man auch bei diesem

Bezugspunkt bleibt, weil wenn man ihn dauernd ändert, kann man nicht gut weiterrechnen oder vergleichen.

- 57 I Beschreibe drei Möglichkeiten Energie zu erzeugen.
- 58 S Energie kann man nicht erzeugen.
- 59 I Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, worin liegt dieser?
- 60 S Ja, ich sehe einen Unterschied, weil Energie die Möglichkeit ist, Arbeit zu verrichten. Und auch ein Körper, der sich gerade nicht bewegt, zum Beispiel ein Ball, der am Boden liegt, bewegt sich nicht, aber zu einem bestimmten Bezugspunkt hat er trotzdem eine potentielle Energie. Aber, wenn eine wirken würde, würde er sich bewegen und beschleunigen. Das heißt, wenn eine Kraft wirkt, muss sich ein Körper bewegen oder wird daran gehindert, sich zu bewegen. Aber Energie kann auch vorhanden sein, ohne dass sich ein Körper bewegen muss.
- 61 I Du hast gerade gesagt, Kraft kann auch auf einen Körper wirken, ohne dass sich dieser bewegt, wenn sie ihn hindert, sich zu bewegen.
- 62 S Naja, also eine Kraft kann einen Körper auch abbremsen, aber Energie kann auch vorhanden sein, wenn sich der Körper einfach geradlinig weiterbewegt ohne Krafteinwirkung.
- 63 I Kann ein Körper ruhen, auf den eine Kraft wirkt?
- 64 S Ok, eigentlich schon, wenn man die Gravitationskraft nimmt und ein Objekt hat, das auf dem Boden liegt, dann ruht es ja eigentlich auch, obwohl die Gravitationskraft auf ihn wirkt.
- 65 I Wieso geht das?
- 66 S Weil er nach unten beschleunigt werden würde, aber der Boden hindert den – ah das Ding eh schon daran, indem er eine Gegenkraft ausübt und dadurch der Gegenstand auf der Stelle bleibt.
- 67 I Was verstehst du unter Messfehlern?
- 68 S Unter Messfehlern verstehe ich die Ungenauigkeit, die bei Experimenten oder beim Messen vorkommen. Zum Beispiel, wenn ich eine Länge nachmesse, kann ich das nie genau machen und sei es, dass das Messgerät nicht genau ist, oder dass der Mensch einfach eine Reaktionszeit oder so etwas hat, kann man einfach nie genau messen und muss diese Fehler miteinbeziehen, wenn man weiterrechnet damit.
- 69 I Beschreibe, wie es zu Messfehlern kommen kann.
- 70 S Wie schon gesagt, können Messfehler entstehen, indem das Messgerät einfach ungenau ist. Zum Beispiel bei einem Lineal. Das hat nur die Millimeterstriche eingezeichnet. Alles darunter ist im Prinzip einfach raten oder auch, wenn man – auch natürliche Messfehler. Zum Beispiel, wenn ein Mensch mit einer Stoppuhr etwas abmisst, braucht der Mensch eine gewisse Reaktionszeit, weil man nicht im selben Moment etwas machen kann. Also es braucht Zeit, bis ein Vorgang verarbeitet wird im Körper. Und deswegen gibt es da auch eine Reaktionszeit, die man miteinberechnen muss.
- 71 I Was verstehst du unter Messungenauigkeit?
- 72 S Messungenauigkeit, würde ich sagen, ist der Bereich, in dem sich – in dem ein bestimmtes Gerät ungenau – also der Bereich, ab dem sich ein – ab dem ein Gerät ungenau misst. Also wie bei einem Lineal alles kleiner wie ein Millimeter, oder bei dem Menschen weniger als eine halbe Sekunde.
- 73 I Beschreibe, wie es zu Messungenauigkeiten kommen kann.
- 74 S Messungenauigkeiten können entstehen, weil das Messgerät einfach nicht so genau messen kann. Zum Beispiel, wenn ich einen Laser als Messgerät habe, wird das mit einem

bestimmten Laser gemessen und ein Laser hat eine bestimmte Wellenlänge. Aber wenn etwas kleiner als diese Wellenlänge ist, kann ich das nicht abmessen und so kann es ab dieser Größe zu einer Ungenauigkeit kommen.

75 I Beschreibe, wie du bei einer Messung ein exaktes Messergebnis erhalten kannst.

76 S Also ein genau exaktes Ergebnis kann man nie erhalten. Aber man kann versuchen, die Fehler zu verringern. Zum Beispiel indem man genauere Geräte verwendet oder, wenn man die Zeit messen muss, sich eben schon vorbereitet oder gleich eine Maschine die Messung übernimmt ... übernehmen lässt, weil die eh viel schnellere Reaktionszeiten haben. Aber ganz kann man Messfehler nicht vermeiden.

77 I Gut, das war's. Vielen Dank für deine Teilnahme! Dankeschön und schönes Wochenende!

78 S Wiedersehen!

79 I Ciao!

10.8.2 Testperson A2 – Omas Lieblingshäferl

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Wie schwierig empfandest du das Beispiel?
2	S	Es ist eigentlich, wenn man – also es sind jetzt keine schweren Rechnungen. Heißt, man muss einfach das Prinzip verstehen, dann geht es eigentlich.
3	I	Und wie schwierig fandest du es im Verhältnis zu so anderen Physikolympiadebeispielen?
4	S	Es ist, im Nachhinein ging es eigentlich, aber währenddessen ... Es ist halt von den Mechaniksachen, war schon eigentlich schwerer, ja.
5	I	Im Vergleich zu anderen Mechanikaufgaben war das eher schwerer?
6	S	Mhm.
7	I	Wie interessant beziehungsweise spannend fandest du das Beispiel?
8	S	Ich finde es eigentlich schon sehr interessant. Weil es halt an sich alles Rechnungen sind, die man einzeln immer wieder rechnet, also halt ... Aber da es hier jetzt zusammen ist und mit dem Experiment hat man auch – sieht man eigentlich praktisch welche Auswirkungen es auch hat. Und deswegen finde ich, also das macht es meiner Meinung nach noch spannender, wenn man sieht, wie eigentlich so kleine Unterschiede relativ viel ausmachen. Weil so, wo man von einem so etwas ausrechnet, ist eigentlich fast in jedem Physikbuch drinnen aber halt, wenn man zwei Pendel hat, wie es sich dann verändert...
9	I	Wie hat dir das Beispiel gefallen?
10	S	Ist das nicht eigentlich genau dieselbe Frage wie vorher? Weil, wenn es spannend ist, dann ...
11	I	Aha, naja das vorher war, wie interessant beziehungsweise spannend...
12	S	Ja, aber, wenn es spannend ist, dann ist das ja eigentlich dasselbe wie gefallen.
13	I	Ok, ja. Man könnte auch zum Beispiel sagen: Ich fand es interessant, dass man das und das gerechnet hat, aber eigentlich gefallen hat es mir nicht. Aber es passt auch, wenn du sagst: gleich wie oben.
14	S	Mhm.
15	I	Was hat dir am Beispiel besonders gut gefallen?
16	S	Es ist eigentlich immer der Moment, also generell auch und es ist auch bei dem Experiment so, wenn man zuerst irgendwie – es ist meistens, wenn man es sich anschaut, man sich denkt, es ist extrem kompliziert und das kann man eigentlich nicht rechnen und dann mit der Zeit – also, wenn ich es jetzt alleine gemacht hätte, hätte ich vermutlich noch ein Bisschen länger gebraucht, aber wenn man dann echt darauf kommt, dass es im Prinzip relativ einfach ist. Und das war am Anfang. Dann ist, also wie ich es zuerst über die Geschwindigkeit rechnen wollte, aber dann mit der Energie war's relativ einfach. Und es war eigentlich dann eigentlich sehr schön, fand ich.
17	I	Was würdest du an dem Beispiel ändern?
18	S	Also, es kommt eigentlich darauf an, was man damit erreichen möchte. Weil, wenn man das jetzt so stehenlassen würde, also diese erste Formulierung ohne den Energien, dann muss man halt länger nachdenken. Deshalb von dem her, würde ich eigentlich nichts ändern. Aber wenn man jetzt nicht so viel Zeit hat, oder ... dann würde ich es dazuschreiben ... das ist das Einzige.
19	I	Also ok, wenn man sagt, wirklich für Physikolympiade und da darf man ja sagen, wir haben Zeit, dann fändest du es doch aus deiner Sicht besser, wenn man das nicht gleich verrät mit dem Energiesatz?

- 20 S Ja, man könnte es vielleicht irgendwo darunter als Tipp schreiben. Und bevor man halt den Lehrer fragt, dass man sich dann diesen Tipp durchliest, aber davor schaut man auch noch, ob man auch ohne dem daraufkommt.
- 21 I Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?
- 22 S Also, wenn es eine Tabelle mit den Höhen geben würde, gegeben hätte, aber das liegt eher an mir, weil ich halt relativ unordentlich bin mit dem Aufschreiben.
- 23 I Also vielleicht macht es Sinn, als Tipp im Kuvert auch einen Raster zum Beispiel, wo das Wichtigste zusammengefasst ist: Wo ist die Mutter vorher, wo ist die Mutter zu dem Zeitpunkt und man dann eintragen kann einfach.
- 24 S Ja, oder auch wenn ich dann eine ordentliche Skizze dazu gemacht hätte, mit den verschiedenen Höhen, das ist dann auch um einiges schneller gewesen, also.
- 25 I Mhm, ok. Sonst noch etwas, was dir einfällt?
- 26 S Also es war halt eigentlich am Anfang bei der ... Angabenliste mit GeoGebra, wenn man jetzt noch Zeit hätte, dass man jetzt die Formel einsetzt und dann damit den Graphen zeichnet, dass man das auch als Aufgabe dazu geben würde. Aber das könnte man eigentlich so zur Veranschaulichung machen.
- 27 I Mhm, für welche Formel jetzt, oder welchen Graphen?
- 28 S Es würde eigentlich bei allen gehen. Beziehungsweise einfach irgendeine Nummer nehmen und die halt mit GeoGebra ausrechnen.
- 29 I Also das mit GeoGebra, damit du jetzt nicht enttäuscht bist, das stand halt dabei, weil ich ja drei verschiedene Aufgaben hatte und nicht alle Materialien waren für jede Aufgabe erforderlich.
- 30 S Ja, das macht Sinn.
- 31 I Wie war das für dich, der Einstieg am Anfang, wie du das Experiment das erste Mal durchgeführt hast? Also wie war das, wie hat sich das angefühlt, die Mutter zu halten, das Häferl hängt am Boden und man sieht eigentlich, wie das aussieht und dann auszulassen?
- 32 S Es fühlt sich irgendwie komisch an. Auch wenn einem irgendwie klar ist, dass nicht irgendwas passieren sollte, ist es trotzdem ein komisches Gefühl.
- 33 I Fandest du das gut oder essenziell auch für das Beispiel?
- 34 S Ja, es ist, das hat's spannender gemacht.
- 35 I Gibt es für dich einen Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit? Falls ja, beschreibe diesen.
- 36 S Also Tempo war ja zu dem Zeitpunkt ... ist eher begrenzter und Geschwindigkeit ist geradliniger. Also Tempo ist eigentlich nur eine Periode.
- 37 I Was weißt du über das erste Newton'sche Axiom?
- 38 S Dass so, also so ... im Bezug auf das Experiment, oder wieder genau, wie beim letzten Mal?
- 39 I Sage ich nicht dazu. Was immer dir einfällt jetzt.
- 40 S Also das erste Newton'sche Axiom war: Ein Körper verharrt in Ruhe oder gleichmäßiger Translation, also so lange keine Kraft, wie die Gravitationskraft auf den Körper einwirken würde, würde die unendlich lange, also würde der Körper unendlich lange und unendlich weit mit derselben Geschwindigkeit rollen oder fliegen.
- 41 I Wo gilt dieses erste Newton'sche Axiom?
- 42 S Es gilt überall, wo man keine Kraft hat, die auf einen Körper wirkt.

43	I	Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt und plötzlich einen Stoß im 90°-Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit erhält.
44	S	Also er bewegt sich dann geradlinig weiter. Halt aber mit einer anderen Geschwindigkeit, also halt ... Er dreht seine Richtung, aber es ist noch geradlinig.
45	I	Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe diesen.
46	S	Kraft und Bewegung ... hmm, ja, ein Körper, der in Bewegung ist, kann seine Bewegungsrichtung oder seine Bewegung ändern, wenn eine Kraft auf ihn einwirkt.
47	I	Was weißt du über das zweite Newton'sche Axiom?
48	S	Also Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung. Das heißt, jeder Körper hat eine Gewichtskraft, weil die Erdbeschleunigung auf ihn einwirkt. Und generell ist das – also jedes Mal, wenn eine Masse beschleunigt wird, resultiert daraus eine Kraft. Das heißt auch, wenn man einen Stein wirft oder mit einem Auto fährt und halt dann beschleunigt.
49	I	Wofür kann man dieses nutzen? Nenne alle Möglichkeiten, die dir einfallen.
50	S	Also man kann es nutzen, um einen Nagel in die Wand zu hauen, oder ein Loch in die Erde zu schlagen, wenn man einen Stein hinunterschmeißt oder, wenn man mit dem Auto losfährt.
51	I	Beschreibe die Geschwindigkeit eines Balles, welcher mit einem gewissen Anfangstempo nach rechts rollt, bis plötzlich eine Kraft im 90°-Winkel zu seiner Anfangsgeschwindigkeit von da an kontinuierlich auf diesen wirkt.
52	S	\\unverständlich
53	I	In welche Richtung würde sich der Mond von der Erde aus betrachtet bewegen, wenn die Gravitationskraft zwischen Erde und Mond plötzlich aufhören würde?
54	S	Immer noch tangential weg von der Erde.
55	I	In einem kreisrunden Rohr rollt ein Ball. Wohin bewegt sich der Ball, wenn dieses Rohr plötzlich an einer Stelle geöffnet wird?
56	S	Ja, also das Beispiel irgendwie ... wird der Ball im Rohr beschleunigt, oder hat er eine Translation, oder?
57	I	Sagen wir, dieses Rohr liegt auf dem Boden. Ein rundes Rohr liegt auf dem Boden auf der Erde und jetzt kann ich ja, sagen wir da sind von mir aus irgendwelche Düsen drinnen, wie bei so einem Strudel im Schwimmbad und dann rollt er – da brauche ich auch die Düsen nicht mehr. Und jetzt öffne ich das Rohr an einer Stelle. Wie rollt der Ball weiter?
58	S	Das heißt, wenn ich dann ein Stück herausschneide, dann wird er nicht mehr beschleunigt. Dadurch wird er auf jeden Fall langsamer werden und näher zum Mittelpunkt rollen, also Richtung Mittelpunkt, oder geradlinig weiter, also halt, ich bin nicht sicher.
59	I	Was spricht für das eine, was spricht für das andere?
60	S	Naja, er hat ja – also, wenn er in einer Bahn ist, dann hat er ja die Fliehkräfte und die ... also es bleibt der Abstand konstant vom Mittelpunkt entfernt. Wenn auf beiden Seiten beschleunigt wird, dass er aufhört, dann müsste er ja auch immer langsamer werden, aber dadurch bleibt er auch nicht mehr in der Kreisbahn. Das heißt eigentlich müsste er Richtung Mittelpunkt.
61	I	Was weißt du über Energie?
62	S	Energie ist das, was man braucht, um Arbeit zu verrichten.
63	I	Beschreibe drei Möglichkeiten Energie zu erzeugen.
64	S	Es ist immer noch der Energieerhaltungssatz, deswegen kann man keine Energie erzeugen.

65	I	Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, worin liegt dieser?
66	S	Also Energie wird durch eine Geschwindigkeit und Kraft durch eine Beschleunigung erzeugt. Das heißt, Kraft wird mit – Energie kann ... Energie ist von dem her einfach eine andere Einheit.
67	I	Was verstehst du unter Messfehlern?
68	S	Ja, also ein Messfehler ist – es entsteht durch Messungenauigkeiten. Das heißt – das mit dem Beispiel kommt ja später, oder?
69	I	Du kannst alles sagen. Wenn du dich nicht wiederholen möchtest nachher, sagst du einfach: habe ich schon gesagt.
70	S	Ok, also ein Messfehler entsteht durch ... dadurch, dass man falsch misst. Das heißt durch eine falsche Eichung des Messgerätes oder durch andere äußere Einwirkungen, die man nicht miteinberechnet.
71	I	Beschreibe, wie es zu Messfehlern kommen kann.
72	S	Ja, das habe ich ja gerade gemacht.
73	I	Was verstehst du unter Messungenauigkeit?
74	S	Messungenauigkeit ist, wenn man generell bei – wenn man ein Geodreieck verwendet oder – dann hat ein Geodreieck eine höhere Messungenauigkeit als eine Schublehre oder eine Mikrometerschraube. Das heißt, es kommt immer darauf an, was man wofür verwendet und welche Messgenauigkeit angegeben ist. Ist eigentlich Messungenauigkeit dasselbe wie Messgenauigkeit, ob man jetzt die Messungenauigkeit angibt oder die Messgenauigkeit?
75	I	Ja, ist eigentlich im Prinzip dasselbe, ja.
76	S	Ok.
77	I	Beschreibe, wie es zu Messungenauigkeiten kommen kann.
78	S	Durch generell das Produkt, dann dadurch, dass sich Materialien verschieben, dass man falsch darauf schaut, dass man, also generell durch alle möglichen Faktoren, die man nicht miteinberechnet hat.
79	I	Beschreibe, wie du bei einer Messung ein exaktes Messergebnis erhalten kannst.
80	S	Ja, man kann nur schauen, dass man so viel wie möglich miteinberechnet, aber so 100-prozentig exakt geht es nicht.
81	I	Gut, das war's. Das ist das Ende. Vielen Dank für deine Teilnahme. Vielen Dank für das Mitmachen, das engagierte Berechnen und Experimentieren und so weiter. Sollte dir noch irgendetwas einfallen, das du deinem Nachinterview ergänzen möchtest, dann kannst du mir das in den nächsten wenigen Tagen noch schreiben. ...
82	S	Ok.
83	I	Super, dann vielen Dank! Schönen Nachmittag noch!
84	S	Ebenfalls!

10.8.3 Testperson B1 – Einer Ärztin täglich Brot

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	So ... ja, ähm, wie schwierig fandest du das Beispiel?
2	S	Ich würde sagen, am Anfang fand ich es ... war ich ein Bisschen überrascht. Also das erste Beispiel kam mir schon ziemlich schwierig vor, aber dann später bin ich immer besser reingekommen, obwohl ich mich echt häufig verrechnet habe bei den Einheiten und Zehnerpotenzen. Also, das kam mir vor, das wäre mir jetzt wirklich oft passiert – passiert mir normalerweise jetzt, glaube ich, eigentlich nicht so oft, aber ... Von der Schwierigkeit her ... ich würde mal versuchen, von einer Skala von 1 bis 10 einzuschätzen, von den Beispielen, die ich sonst normalerweise so kenne und da würde ich sagen, dass das eine 8,5 war, oder so. Also wenn 10 das schwierigste ist und 0 babyleicht, keine Ahnung, lasse einen Stein fallen. Was ist da passiert? ... Nein, das wäre eigentlich nicht so einfach...
3	I	Wie fandest du es vom Aufbau her? Wenn du dir vorstellst, dass man das zu zweit im Kurs macht, also natürlich nicht in einer Doppelstunde, das ist klar, wie man sich dabei zurechtfindet, dann auch immer wieder einmal fragt und wieder weitertut. Passt der Aufbau so, oder fändest du es – habe ich mir zum Beispiel gedacht – Aufgabe 7 schon vor Aufgabe 1 stellt; oder passt die Reihenfolge so eh ganz gut?
4	S	Ich denke mir, wenn man einsteigt mit einem meiner Meinung nach schwierigen Beispiel, dann ist das ... Also ich würde sagen: Ja, ich würde das 7. Beispiel ganz nach vorne reihen aus zwei Gründen. Einerseits, dass es etwas einfacher ist, als – weil beim 1. muss man doch – also, nein, weil das erste ist ja mit Raumtemperatur, Wasser und so weiter. Also gut, das erste geht noch, aber das hat ja dann eher was mit dem Zweiten zu tun. Also, ja, ich würde das 7. vor das 1. reihen, aber eher nur, weil das erste und das zweite für mich mehr oder weniger zusammengehören. Und wenn man jetzt beim 2. schaut, da muss man das Phasendiagramm am Ende – da muss man sich schon ein Bisschen mehr damit auseinandergesetzt haben. Und beim 7., denke ich, ja ... ruft man sich wieder in Erinnerung, wie man richtig quasi mit so einem Phasendiagramm arbeitet. Und beim 2. ist man dann quasi vielleicht, dass man ... vielleicht geht das dann ein Bisschen zu schnell, dass, man kann sich das dann, glaube ich, besser, wie soll ich sagen? Es geht dann halt einfacher, wenn man Beispiele hat. – Weil beim 2. kommt viel zusammen und beim 7. ist es halt ... da ist es jetzt noch nicht so kompliziert, was man da rechnen muss, sondern man setzt im Prinzip ein. Man berechnet sich den Luftdruck und schaut dann, bei wieviel Grad das Wasser kocht. Und das ist es halt. Das ist jetzt nicht so ... anspruchsvoll, wobei es natürlich trotzdem ein sehr interessantes Beispiel ist. Und das ist halt etwas, das kann man sich noch ... das ist noch sehr leicht vorstellbar. Weil ich denke, jeder hat schon einmal gehört, dass Wasser bei – auf Bergen früher zu kochen beginnt, oder zumindest anders zu kochen beginnt und dann ist das vielleicht ein etwas sanfterer Einstieg. Aber ich würde jetzt nicht sagen, dass das so unfassbar wichtig ist, dass man das anders reiht.
5	I	Welche Tipps oder Hinweise fandest du besonders hilfreich?
6	S	Grundsätzlich ... ich meine, ich habe noch nie wirklich mit einem Phasendiagramm gearbeitet. Also, ich habe es zwar schon einmal gesehen im Schulbuch, aber ich habe damit noch nie ... so Berechnungen wie heute damit habe ich zum ersten Mal gemacht. Und somit war es sehr hilfreich auf jeden Fall, dass ich quasi den Umgang mit Phasendiagrammen gelernt habe. Das ist denke ich sehr gut gewesen. Und sonst ...

7	I	Es können auch Tipps oder Hinweise gewesen sein, die ich verbal gegeben habe, wo du sagst – ah, das gehört eigentlich in die Angabe hinein, als schriftlicher Tipp oder so.
8	S	Ja. Also es gab mehrere Sachen, wo ich nicht so schnell weitergekommen bin ohne Tipp. ... Ich kann mich jetzt nicht explizit an eine Sache erinnern. ... Wenn man – angenommen man gibt dieses Beispiel jetzt PhysikolympionikInnen, dann muss man darauf achten, dass zum Beispiel der aerostatische Druck nicht richtig angegeben ist – wenn man das irgendwie vielleicht erwähnt, oder die richtige Formel abdruckt, damit man nicht mit falschen Formeln rechnet oder so. Ich weiß nicht, weil das könnte sonst noch zu Problemen kommen, weil halt die Physikolympiadeformelsammlung an der Stelle einen kleinen Fehler hat.
9	I	Mhm, ja, das habe ich mir schon aufgeschrieben. Also, ich meine, es ist halt nicht so schön in der Sammlung, weil da eben der Nuller eigentlich fehlt und das ist ...
10	S	Ja.
11	I	Es ist zwar keine andere Dichte sonst angegeben in der Formel – ok – aber logischer wäre es, wenn hier ein Nuller stünde.
12	S	Mhm.
13	I	Ich werde das für die Formelsammlung im Kurs ausbessern.
14	S	Ja und sonst von den Tipps her ... zwischendurch beim – wo ich dann selbst diesen Versuch mehr oder weniger mir überlegt habe, ähm, da war es auch hilfreich, dass Sie das nochmals erklärt haben. Aber das ist halt – dieser Gedanke, den man da haben muss – ich weiß nicht – dass sich diese Massen halt so verhal..., dass man quasi, eh, mit Hilfe von Gewichten diesen Reibungswiderstand quasi berechnen kann ... Ich weiß nicht wie schnell man da daraufkommt. Das kann ich jetzt schwer einschätzen. Aber für mich war das dann schon noch recht gut, dass Sie das dann am Ende noch einmal kurz erklärt haben, weil damit war ich mir jetzt nochmals sicher, ok, ich habe jetzt nicht irgendeinen Blödsinn versucht; ich habe jetzt nicht nur irgendeinen Stein auf was gelegt, sondern ich habe schon den richtigen Ansatz jetzt gewählt.
15	I	Wie verständlich war für dich die Information zum Hagen-Poiseuilleschen Gesetz?
16	S	Naja, ich finde, die Erklärung ist verständlich, also warum das so funktioniert. ... Ja, ich denke schon, dass das ganz gut ist. Vielleicht jedoch, ... ähm, also das Gesetz an sich ist jetzt nicht so – die Zahlen darin sind jetzt vielleicht ein Bisschen, sehen vielleicht ein Bisschen willkürlich gewählt aus, also der Achter, die Länge im Zähler und der Radius im Nenner, aber das hat man sich halt überlegt. Also da muss man sich jetzt keine Herleitung oder irgendwie – ich finde, das passt schon so, wie es da steht.
17	I	Fändest du es spannend, wenn noch dabei steht zum Beispiel: Überlege, warum das l im Zähler steht, oder so? Dass man sagt, eben je größer die Länge, desto – doppelte Länge heißt doppelter Widerstand, also halbe Fließgeschwindigkeit?
18	S	Hmm, ja, ich überlege gerade, nämlich wegen der ersten Aufgabenstellung quasi dazu, also: Berechne den Volumenstrom an Wasser der Kanüle, wenn man bei einer mit 2 ml gefüllten Spritze mit der Kanüle plötzlich auf 20 ml erhöht. Also da fand ich – das ‚plötzlich‘, das habe ich nicht ganz verstanden in der Formulierung. Also ich habe bisschen gebraucht, um zu verstehen, was man – also berechne den Volumenstrom... Eigentlich steht es eh da, aber vielleicht liegt es auch einfach daran, dass ich nicht – also an mir und tausend anderen Schülern wäre das nicht passiert, aber – ähm, keine Ahnung. Also ich habe kurz nicht verstanden, wie ich das umformen soll, nämlich einfach, dass man das $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ auf die andere Seite gibt und dafür das – also nicht – also, dass man das ausdrücken soll, das habe ich irgendwie, keine Ahnung, wieso, aber ... Vielleicht kann man dazu ... Ich

meine, ich glaube, es ist klar, was der Volumenstrom ist. ... Vielleicht eine Art Skizze daneben, wo man sieht eine Spritze, die das aufsaugt von 2 ml auf 20 ml und man soll mit dem – nein, ich weiß nicht... Ich meine, jetzt, wo ich es verstanden habe, ist es irgendwie eh logisch. Ich frage mich, woran ich vorhin gescheitert bin, dass ich die Angabe nicht verstanden habe, aber das ist jetzt ein Bisschen. Also ich habe sie halt nicht komplett verstanden. Jetzt macht sie eigentlich Sinn für mich.

19 I Vielleicht, wenn man einfach diese 2 ml und die 20 ml weglässt und einfach sagt: Wie in Aufgabe 3 hast du jetzt so einen Unterdruck. Allerdings ist es nicht verschlossen, sondern mit einer Kanüle. Berechne, wie schnell das Wasser einströmt, also $\frac{\Delta V}{\Delta t}$.

20 S Ja, dass man – ja, das hört sich gut an. Also ich glaube, was mich auch etwas hinausgebracht hat, war das Wort plötzlich. Ich habe nicht gewusst, was mit plötzlich gemeint ist, weil eigentlich, wenn man länger darüber nachdenkt, kann ja eh nur damit gemeint sein, dass man die Spritze auseinanderzieht, also den Kolben weiter herauszieht und dann strömt halt langsam das Wasser rein. ...

21 I Also, ich meine, 2 ml und die 20 ml sind ja im Prinzip irrelevant. Die dienen ja nur dazu, dass man dann grundsätzlich schon ein Bisschen Wasser drinnen hat, also dass zu Beginn irgendetwas gasförmig werden kann.

22 S Ja.

23 I Und ob auf 20 ml oder auf 10 ml ist ja dann letztendlich wurscht, weil der Druck ja konstant bleibt im Inneren – der Gasdruck.

24 S Mhm.

25 I Und den hydrostatischen Druck soll man bei 8. sowieso vernachlässigen, weil noch nicht so viel aufgesaugt wird. Man könnte eigentlich das Ganze weglassen mit dem plötzlich und wirklich sagen: Wie in Aufgabe 3. Dann erinnert man sich vielleicht auch schon, aha, ja, da war ein konstanter Gasdruck drinnen...

26 S Ja, aber dann muss man auch wiederum berücksichtigen, dass man eben die Formel nicht vergisst. Also wenn man schreibt: Berechne wie in Aufgabe 3, dann schaue ich vielleicht kurz zurück in meiner Mitschrift was habe ich in Aufgabe 3 gerechnet... - und versuche dort in irgendeine Formel das einzusetzen. Aber eigentlich muss man, darf man das Hagen- ... also darf man das Gesetz nicht – braucht man das Gesetz ja trotzdem. Also das muss, finde ich, noch immer... Also, wenn man jetzt schreibt, berechne wie in Aufgabe 3 mit, ähm, wie schnell der Volumenstrom ist, äh, keine Ahnung, vielleicht auch mit der Formel, die da gegeben ist oder anhand der Formel, ich weiß nicht. So, dass man – aber ich weiß nicht, ob das – ich habe nur gerade gedacht, vielleicht könnte man dann eben wiederum die Formel vergessen, die man gerade eben gelernt hat und will jetzt eben etwas von Aufgabe 3 einsetzen ... Da könnte man dann wieder vor irgendeinem Problem stehen. ... Aber ich denke doch, dass das sinnvoller ist – dass das besser formuliert wäre.

27 I Wie interessant beziehungsweise spannend fandest du das Beispiel?

28 S Ich fand es – die Spritzen, also dass man an sich mit Spritzen arbeiten kann, fand ich sehr interessant. Auch, dass man so eine Kanüle hat und dann eben merkt, dass da ein großer Unterschied ist, zwischen – eben quasi das Hagen-Poiseuillesche Gesetz kennenlernt. Und auch, also ich habe ja echt viel gelernt, muss ich sagen, bei dem Beispiel und interessant war es auch auf jeden Fall. Der Einstieg war eben ein Bisschen holprig, fand ich bei mir. Aber ich habe dann schnell mich – also die Sachen die ich da hatte, waren da eh ganz gut... Für mich – ich fand es sehr spannend. Wenn ich es jetzt so lese und mir denke... Es ist ein Bisschen komisch, weil ich denke mir, so etwas richtig Spannendes, wo man sich denkt, boah, das wollte ich schon immer einmal wissen, das kommt

eigentlich in Aufgabe 7 vor, aber sonst nicht so häufig. Also wenn man so schaut, was da sonst noch so Aufgaben darin waren ... Es kommen so teilweise faszinierende Sachen vor, eben, dass das Wasser da drin gasförmig ist, dass man quasi nur aufgrund von, ähm, Muskelkraft sage ich jetzt, Wasser in einer Spritze gasförmig werden lässt. Das ist irgendwie faszinierend und von dem her natürlich auch interessant. Und ja, also ich weiß nicht was das Beispiel so interessant macht, aber für mich macht es... – ist es auf jeden Fall sehr interessant. Dann das gegen Ende ist es nicht mehr ganz so interessant, würde ich sagen. Also diese Formeln, die man dann eintippen muss, recht lange – da sieht man halt die Abhängigkeit. Aber wenn man, glaube ich, einmal verstanden hat, ich meine es ist halt – das gesehen hat, dann, dass die Schwerkraft immer größer wird, der Druck im Wasser selber immer größer wird in der Spritze, dann ist das halt... Ich weiß nicht ob das dann nicht ein Bisschen mühsam ist für die – also man macht sich da Mühe, tippt das ein und sieht dann – ok, das ist einerseits, aber andererseits, das ist das letzte Beispiel. Da hat man ja dann vielleicht auch noch einmal Motivation ...

- | | | |
|----|---|--|
| 29 | I | Also vielleicht gleich einfach die eine Funktion nur erstellen lassen und die anderen beiden dann einfach gedruckt dazu drucken dann die Graphen? |
| 30 | S | Ja, ist die Frage, ob man dann sagt, wenn es eh nur darum geht, die Funktionen zu interpretieren, ob man sich dann nicht sagen kann, sie sind eh von vorneherein abgebildet, halt so, dass man – weil sonst macht man sich die Mühe... Ich meine natürlich kann man es abtippen, aber ich hatte dann eher Probleme beim Eintippen... Es wäre schön blöd, wenn da dann nochmal solche Probleme aufbaut, wenn sich das dann alles hinauszögert und so... Da finde ich es, glaube ich dann schon besser, wenn man zwei Graphen hätte, die da abgedruckt wären, oder drei, je nachdem. Die, die man sich selbst bauen soll, das finde ich schon sehr anspruchsvoll, aber vielleicht ... gegen Ende gar nicht so schlecht. Aber da müssen Sie wahrscheinlich 90 Prozent der Gruppen, die dieses Beispiel machen im Kurs, müssen Sie denen wahrscheinlich helfen.... Außer man hat so viel Ehrgeiz, das selber herauszufinden, ohne irgendeinen Tipp. ... Aber die zwei Formeln ... ja, dass man einfach sagt, interpretiere die Funktionen, anstatt da diese zwei Formeln zu schreiben... |
| 31 | I | Du kannst dir jetzt auch mal das Kuvert noch anschauen. Da steht nämlich drinnen – das stand irgendwo jetzt hier bei Aufgabe 10, ahm, ganz unten steht in Klammer Kuvert Nr. b10. |
| 32 | S | Ja. Ähm, das ist viel komplizierte Mathematik. – Naja, so kompliziert – naja, doch. Integralrechnung... |
| 33 | I | Ich wollte dir das nur zeigen. Das wäre jetzt die Herleitung für diese beiden Funktionen, die noch da sind. Also da habe ich mir dann gedacht, das gebe ich als Kuvert, eben lege ich bereit, falls jemand sehr Mathematik-affin ist und vielleicht schon in der 8. oder grundsätzlich mit Differential-, Integralrechnung etwas anfangen kann, oder auch Differentialgleichungen, die man hier braucht, dann kann man sich das vielleicht einmal durchdenken, weil die grundsätzliche Vorgehensweise hier ist eigentlich sehr ähnlich wie die Vorgehensweise zur Herleitung auch dann des Zerfallsgesetzes in der 8. dann zum Beispiel bei Radioaktivität. Deswegen sehe ich da Parallelen und denke mir, das könnte man dann hier vielleicht auch schon einmal gesehen haben. |
| 34 | S | Ja, es sind halt sehr viele Variablen. Aber ich denke, da muss man einfach klar sich das anschauen und Zeit ... noch einmal überlegen, was steht für was und dann überlegen, welcher Schritt wurde jetzt genau gemacht und dann ist das schon machbar. |
| 35 | I | Findest du es gut, dass das grundsätzlich dabei ist, dass man das noch nachschauen kann, wie man zu diesen Formeln jetzt kommt? ... |

- 36 S Also ich glaube, dass jemand der sich jetzt nicht sehr dafür interessiert, auch nicht viel damit anfangen kann. ... Also ich würde es vielleicht nicht jedem automatisch mitgeben... Vielleicht kann man sagen, falls – ich meine, entweder schreibt man es dazu oder ...
- 37 I Wie findest du den Hinweis, der bei der Angabe steht bei Aufgabe 10?
- 38 S Also der Hinweis mittels Differential, oder welcher Hinweis?
- 39 I Nein, also direkt bei Aufgabe 10, bei der Angabe noch – Angabezettel, ganz unten – in Klammer...
- 40 S Aso, falls du – ahh, ja genau, ah, ja genau, so in der Art hätte ich das eh gemacht... Ja.
- 41 I Also da wäre die Idee, grundsätzlich bekommt man das zur Angabe nicht dazu und jemand, der das eben liest und dann zu mir kommt und fragt, dem gebe ich das dann auch...
- 42 S Ja, ... so in der Art hätte ich das eh gemacht. Ich denke mir nur, wenn man jetzt sagt, man will für die, die jetzt nicht ganz so formelaffin sind, das als Graph darstellen, einfach zwei Graphen einzubauen, dann rückt die Formel halt weiter in den Hintergrund.
- 43 I Na, ich würde dann ja beides dalassen, die Formel und den Graphen.
- 44 S Dann hat man einerseits die Formel und andererseits den Graphen für die, die es einfach nur interpretieren wollen und jetzt nicht sich länger mit der Formel auseinandersetzen wollen. Das hört sich so – das ist dann, glaube ich, eh sehr gut. Ja.
- 45 I Wie hat dir das Beispiel gefallen?
- 46 S Also es war, finde ich Am Anfang hat mir leicht die Abwechslung gefehlt, also so, dass man verschiedene Sachen – dass man, ich weiß nicht, dass man verschiedenes berechnet, aber ich würde nicht sagen, dass es keine Abwechslung gab. Es war halt einfach mehr spezifisch auf dieses eine Beispiel hin. Halt, dass man dann selbst mal ein Beispiel überlegt. Das ist schon ganz gut. Also da wird die Arbeitsweise quasi variiert, die man hat. Das finde ich sehr gut, weil dann rechnet man nicht einfach nur, man setzt nicht nur in Formeln ein, sondern man ist auf verschiedene Arten gefordert, sage ich mal und am Ende muss man auch wieder interpretieren und so. Das finde ich eigentlich sehr gut... Es ist halt eher anspruchsvoll. Also mir hat es jetzt gut gefallen, aber ich denke ... Und vor allem auch weil man selbst auf einige Sachen draufkommen kann. Ich zum Beispiel habe mich davor echt kaum mit Druck ausgekannt und jetzt habe ich irgendwie das Gefühl, es besser verstanden zu haben und auch, dass ich mich jetzt auch mit Spritzen auseinander-gesetzt habe... Also man lernt auf vielen Ebenen etwas und das finde ich eigentlich sehr gut. Aber man braucht halt, weil es doch ein eher schwierigeres Beispiel ist, ein Bisschen mehr Motivation als bei einem normalen Beispiel, weil es doch sehr ins Detail geht dann.
- 47 I Würden da ein paar einleitende, vorbereitende, kleinere Fragestellungen vor dieser Aufgabe 3 zum Beispiel helfen, dass man da ein Bisschen herangeführt wird zunächst? Oder wäre auch das Angebot von mehr Kuverts, also dass man immer wieder hat – bei den einzelnen Fragen – für Hilfe, hole dir den Tipp Kuvert Nr. sowieso. Würde dir das hier helfen, oder würde es die Sache nur einfacher machen, aber jetzt die Motivation nicht erhöhen?
- 48 S Ich weiß halt nicht genau... Für mich zum Beispiel war jetzt das Arbeiten mit einem Phasendiagramm komplett neu. Da hätte ich jetzt zum Beispiel, um grundsätzlich einmal das Ganze zu verstehen, dass man ... ich wusste zum Beispiel, wie ich es gesehen habe noch nicht, da war mir noch nicht ganz klar, dass sich das Wasser, erstmal, wenn es zu kochen beginnt, auf dem Siedepunkt aufhält ... und dann, erst wenn alles gasförmig ist, dann erst erhöht sich die Temperatur – also verändert sich das weiter. Das war mir nicht ganz bewusst. Zum Beispiel da könnte man vorher mit einer Überlegung – oder das

könnte man eh in Form eines Tipps machen: Was passiert denn mit dem, halt, dass man da so eine Frage stellt, um quasi darauf hinzuleiten, dass quasi das Wasser ... Schritt für Schritt verdampft und dann erst mehr damit passiert. Also ja, ich denke so Fragen ab und zu wären schon gut. Also Fragen, ich meine jetzt Tipps. Ich meine die Tipps sollten ... Es ist halt schwierig Tipps zu formulieren – zumindest glaube ich, dass das vor allem am Anfang noch recht schwer ist, weil man weiß nicht genau, wo – ich bin jetzt vielleicht irgendwo stecken geblieben, wo andere keine Probleme haben oder umgekehrt... Ja, ich glaube schon, dass Beispiel 3 einfacher wäre, wenn es so Tipps geben würde. Zum Beispiel, ... ich habe ja auch etwas länger gebraucht, bis ich verstanden habe, dass man sagen kann, ok, das heißt, es bleiben 15 *ml* über. Wieviel Raum nimmt das da jetzt ein? Solche Dinge, also das ist ja ... Und dann später aus, dass man die Mol von Wasser berechnet... ich weiß nicht, ob das alle können... Dass man das in einem Tipp verpackt, ist wahrscheinlich auch kein Fehler. Also ich glaube schon, dass so Tipps nicht schlecht wären, aber das ist halt die Frage, bis zu welchem Level das Sinn macht. Wenn das dann zu sehr ins Detail geht, dann ...

49 I Spricht man einfach einmal darüber.

50 S Ja..., also wenn man jetzt wegen jeder Kleinigkeit, anstatt Sie zu fragen, nach einem Tipp Sie fragt und dann suchen Sie den Tipp heraus und dann gibt es aber 50 verschiedene Tipps, weil alle Beispiele irgendwie Tipps haben, keine Ahnung. Da ist es vielleicht irgendwann dann schon wieder klüger, in die Konversation zu treten, weil dann lernt man vielleicht auch wiederum Sachen, weil das ist ja auch etwas anderes.

51 I Was hat dir an dem Beispiel besonders gut gefallen?

52 S Ahm, ... das Prinzip, dass man mit Druck, worauf im Prinzip das ganze Beispiel aufbaut, dass ... der Druck gleich bleibt innerhalb, wenn man einen Unterdruck erzeugt, dass der Druck gleich bleibt, immer mehr Wasser gasförmig wird. Dieses Prinzip ist für mich neu und ich finde das echt cool. Vor allem, dass man das zu Hause machen kann eigentlich... Ich würde sagen, die Grundidee des Beispiels ist echt cool. Und dann sonst vielleicht noch so Fragen, die Sie mir zum Vorinterview gestellt haben. Wie tief ich denn tauchen könnte... sowas fände ich eigentlich so als interessante Frage, so als Einstieg in das Themengebiet, muss ich sagen, auch nicht schlecht. Das sind nämlich so Sachen, wo man dann wiederum beginnt nachzudenken über das Thema und das ist vielleicht ein gar nicht so schlechter Einstieg. Also man macht sich dann wieder Gedanken zu dem Thema. Ich meine, man soll jetzt nicht eine halbe Stunde lang überlegen, wie tief könnte ich denn tauchen, aber nur so, damit man halt dann langsam beginnt, sich damit auseinanderzusetzen. Weil das ist sicher eine Frage, die kann man nicht richtig, die kann man nicht falsch beantworten. ... Es muss jetzt auch nicht der Einstieg sein, aber so grundsätzlich, dass solche Fragen vorkommen in einem Beispiel, steigert, glaube ich, immer die Motivation, weil man dann immer Fragen hat, die man beantworten kann. Es muss jetzt gar nicht genau diese Frage sein, aber so grundsätzlich ... die Art an Fragen ist, glaube ich, immer gut in Beispielen...

53 I Was würdest du an dem Beispiel ändern?

54 S Ja, da habe ich jetzt eh schon ein paar kleine Sachen genannt. Aber im Großen und Ganzen ist es sehr gut aufgebaut. Ich denke, dass das 7. Beispiel eben, dass wenn man das nach vorne gibt, das ist sicher nicht schlecht, weil dann ist es auch nicht so kompliziert zum Einstieg. Das ist noch ganz gut rechenbar, ohne dass man jetzt zu tief irgendwo eintaucht – wortwörtlich... Und ja, beim letzten vielleicht, dass man das nicht eingeben

muss. ... Vor allem, wenn man danach noch so herumzoomen muss, dann werden Sie wahrscheinlich von jedem, der das Beispiel macht, gefragt

- 55 I Da ist nichts.
- 56 S Ob das so – und ja, da ist nichts.
- 57 I Mhm. Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?
- 58 S Was ich mir noch gedacht habe... Also ich habe nämlich, wo Sie mir die Frage im Vorinterview gestellt haben, da habe ich mich zurückgehalten. Ich habe nämlich zwischendurch gedacht, ich könnte ja googlen, wie tief der Tauchrekord ist. Aber ich habe das absichtlich nicht gemacht, weil ich gedacht habe, vielleicht kommt ja ein Beispiel dazu und dann wäre es blöd, wenn ich mich schon dazu informiert hätte. Und ich fände es schon auch interessant, vielleicht mit dem, was man am Ende dann festgestellt hat, ... dass man dann sieht, so ca. alle 10 m steigt – verdoppelt sich, äh, nicht verdoppelt, nimmt der Druck um eine Atmosphäre zu. Das steht nirgends. Das muss man sich quasi selber interpretieren. Das ist natürlich eigentlich nicht so unanspruchsvoll. Aber dass man dann vielleicht noch überlegt, ja, wie ist denn das bei einem U-Boot. Vielleicht kann man ja sagen, ein U-Boot taucht auf eine Tiefe von 100 m und dann gibt es so einen Ausgleichsding, der halt den Druck ... ich weiß halt nicht genau, wie jetzt U-Boote funktionieren, aber so in etwas dazu könnte man vielleicht noch etwas machen. ... Das würde glaube ich noch gut dazu passen, aber das öffnet halt auch schon wieder viele Möglichkeiten für Beispiele.
- 59 I Also vielleicht nur ganz irgendwie so: Ein U-Boot oder ein Mensch taucht in einer Tiefe von so und so viel Meter. Welchem Druck ist er da ausgesetzt? Beantworte die Frage ohne Rechnen mit den Graphen aus Aufgabe 10 oder so.
- 60 S Ja, stimmt, das könnte man machen. Aber dann würde ich vielleicht einen Tipp, oder die Möglichkeit zu einem Tipp geben, dass man feststellt, irgendwie halt hinführt, dass ... Ich weiß nicht, ob ich das so schnell gesehen hätte, dass das dann alle, ca. alle 10 m ein Atmosphärendruck dazukommt. ... Aber das fände ich schon noch sehr interessant. Diese Feststellung – ich weiß nicht, ob es zu der überhaupt kommt, wenn – weil das ist das letzte Beispiel – die Interpretation – da schreibt man halt ein, zwei Sätze pro Graph ... und ob das dann vorkommt? Ich vermute einmal, in den meisten Fällen kommt es eher nicht vor, wenn dann keine Frage mehr spezifisch dazu kommt... Weil das ist auch wieder eine Sache, die irgendwie faszinierend ist,... also ich finde es zumindest faszinierend...
- 61 I Hast du schon einmal eine Injektion, also Spritze, oder eine Infusion erhalten?
- 62 S Eine Injektion schon, eine Infusion meines Wissens noch nicht.
- 63 I Worauf muss das medizinische Personal beim Verabreichen einer Injektion achten?
- 64 S Bei einer Injektion, dass alles gut sauber ist und wenn ich jetzt etwas quasi daraus gelernt habe, würde ich mal sagen, man darf – ich weiß nicht, ob da so große Drucksachen zu berücksichtigen sind. Ich denke schon, dass ein gewisser Druck auch in den Arterien und Venen ist. Ich glaube, der Druck ist jetzt nicht so hoch, dass man da viel falsch machen kann, aber da kann ich auch falsch liegen. Ich denke, die Sauberkeit ist noch immer das mit Abstand Wichtigste und dass man jetzt nicht zu schnell den Impfstoff verabreichen darf, ... da kann man glaube ich nicht so viel etwas falsch machen...
- 65 I Worauf muss das medizinische Personal beim Verabreichen einer Infusion achten?
- 66 S Auch wieder, dass keine Verunreinigungen sind und dass das halt gut hält, dass der Patient nicht – dass er halt mit einem Sicherungssystem ausgestattet ist, quasi falls er auf einmal ohnmächtig wird, falls er irgendetwas nicht verträgt, ja, also, dass er beaufsichtigt

ist. Aber auch, dass – beim Druck ist es glaube ich, bei der Infusion schon so, dass man ..., dass das Ganze halbwegs gut dosiert in den Blutkreislauf kommt, aber was halbwegs gut dosiert heißt, kann ich jetzt nicht sagen. Ich denke nur, dass das bei der Infusion dann schon eine wichtigere Rolle spielt.

67	I	Wie würdest du sagen, kann man so eine Dosierung vornehmen technisch?
68	S	Mit einer Pumpe. ... Das Blut hat ja einen gewissen Druck. ... deswegen glaube ich schon, dass da schon ein guter Gegendruck hergestellt werden muss, damit die Infusion, die ja nicht per Hand verabreicht wird, ... dass man die halbwegs gleichmäßig bekommt.
69	I	Wie könnte man das schaffen, dass man da den Druck erhöht?
70	S	Hmm, indem man Druck auf die Flüssigkeit, die man verabreicht, ausübt. Also indem man sie quasi in den Körper presst, glaube ich, aber das kann auch so falsch sein, ich weiß es nicht.
71	I	Was verstehst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
72	S	Eine Kraft ist eine ... hmm, ich glaube das letzte Mal habe ich da auch lange überlegen müssen, weil ich es einfach nicht, hmm. Eine Kraft will ... eine Kraft, die auf etwas ausgeübt wird, hat immer eine Gegenkraft und wenn die Kräfte nicht gleich stark sind, dann verändert sich etwas und das wäre zum Beispiel beim Druck so, dass wenn der – naja, man muss mit einer gewissen Kraft den Kolben hinausziehen, wenn man einen Unterdruck erzeugen will ... Ich weiß nicht, mir fällt, glaube ich dieses Mal sogar weniger ein als beim letzten Mal. Ja, und dann gibt es noch so die Grundkräfte: starke Kernkraft, schwache Kernkraft, Gravitation, elektromagnetische Kraft. Ja, die Gravitation ist halt, dass massereiche Massen sich gegenseitig anziehen.
73	I	Nenne ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können.
74	S	Ja, zum Beispiel alle massereichen Objekte üben Kräfte auf alle anderen massereichen Objekte aus. Auch ein positiv geladenes Teilchen übt Kräfte auf alle geladenen Teilchen aus – also alle geladenen auf alle geladenen.
75	I	Ja. Was stellst du dir unter einem Kräftegleichgewicht vor?
76	S	Dass eine Kraft und ihre Gegenkraft gleich stark sind.
77	I	Beschreibe, wie sich Reibung auf einen Körper in Bewegung auswirken kann.
78	S	Reibung bremst einen Körper und, also die kinetische Energie nimmt ab, Entropie nimmt sowieso zu, ähm, ja.
79	I	Wie groß muss die Kraft auf einen Körper mindestens sein, damit sich dieser trotz Reibung weiterhin bewegen kann?
80	S	Die Reibung vermindert die Kraft und die Gegenkraft wird, ähm, und die Kraft muss halt noch immer weiterhin groß – ähm, sobald die Kraft nicht mehr größer ist als die Gegenkraft, dann wird der Körper gebremst und beziehungsweise gestoppt.
81	I	Also wie groß muss die Kraft sein, damit er sich trotz Reibung weiterhin bewegen kann?
82	S	Größer als die Gegenkraft.
83	I	Was passiert mit einer Flüssigkeit, wenn diese verdampft?
84	S	Sie wird gasförmig.
85	I	Wie viel Wasser befindet sich in einem vollkommen geschlossenen Kochtopf in welchem 1 kg Wasser vollständig verdampft wurde?
86	S	Wie viel Kilogramm Wasser befinden sich in einem Kochtopf in dem 1 kg Wasser vollkommen verdampft wurde?
87	I	Mhm, und der Kochtopf ist komplett geschlossen.
88	S	Ein Kilogramm.
89	I	Was weißt du über Phasendiagramme?

- 90 S Dass man mit ihnen einen Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur herstellen kann, dass es zum Beispiel eine Siedekurve gibt und der Übergang zwischen – wenn ein Teilchen, ein Objekt den Übergang von zum Beispiel flüssig zu gasförmig machen will, dann wird diese Siedekurve quasi Schritt für Schritt überschritten. Also es wird zuerst ein Teil gasförmig, die Temperatur bleibt aber gleich, dann wird immer mehr gasförmig und erst wenn alles gasförmig ist, dann kann sich da die Temperatur weiter verändern oder so.
- 91 I Was kann man aus einem Phasendiagramm alles ablesen?
- 92 S Wenn man den Druck kennt von einem Objekt und weiß, dass es zum Beispiel den Aggregatzustand wechselt, dann kann man berechnen, welche Temperatur es hat – oder umgekehrt. Wenn man weiß, der Körper hat diese Temperatur und er wechselt den Aggregatzustand, dann kann man berechnen, welchen Druck ... welchem Druck der Körper ausgesetzt ist. Ja, berechnen – ich weiß nicht, ob man das überhaupt berechnen nennen kann, weil man liest im Prinzip ab, aber das ist trotzdem eine Form von Berechnung, hätte ich jetzt gesagt. Aber das ist dann eher philosophisch, ab wann gilt das als berechnet.
- 93 I Was weißt du über das Teilchenmodell in der Thermodynamik?
- 94 S Dass Teilchen werden vereinfacht als Kugeln dargestellt, die aber – als Punkte dargestellt, die sich im gasförmigen Zustand frei bewegen können, im flüssigen aneinandergedrängt sind, aber hin und wieder noch Plätze tauschen können, oder so, wenn da zwei Teilchen sind und im festen Zustand können sie keine Plätze mehr tauschen, sie sind dicht aneinandergereiht und man kann sie auch nicht weiter komprimieren. Und sie bewegen sich eben in alle Richtungen, aber halt im festen Zustand nur ganz, ganz wenig und im flüssigen Zustand ein Bisschen mehr und im gasförmigen dann quasi ganz wild, ahm, ja.
- 95 I Mhm, Was verstehst du unter...
- 96 S Also diese...
- 97 I Ja.
- 98 S Diese Form der Bewegung wird als Temperatur angegeben. Also die Durchschnittsbewegung wird – also wie stark sich die Teilchen im Schnitt bewegen, wird in Temperatur angegeben.
- 99 I Mhm. Was verstehst du unter dem Begriff Gas?
- 100 S Ein gasförmiges Molekül, ahm, oder gasförmige Moleküle, ja – das ist eh so.
- 101 I Was befindet sich zwischen den Teilchen eines Gases oder einer Flüssigkeit?
- 102 S Eine Art Vakuum, also ähm, aber vielleicht dehnen sich die Teilchen auch, also es wirken halt Kräfte zwischen ihnen, sodass sie sich nicht zu nahe kommen können und dann befindet sich zwischen ihnen laut mir schon eine Art Vakuum, aber doch, ich denke – ja, Vakuum.
- 103 I Wie groß sind die Teilchen im Teilchenmodell?
- 104 S Das habe ich heute erst gelernt, dass punkt... - also unendlich klein – ähm, ja. Sie werden wie Punkte gesehen.
- 105 I Was weißt du über Druck?
- 106 S Druck ist Kraft pro Fläche. Das heißt, es gibt keinen – es gibt eigentlich keinen wirklichen Unterdruck. Es gibt nur einen Druck, der an einer Stelle stärker ist und dann ist das getrennt von einer – einem – Ding, äh, einem schwächeren Druck und dann versucht sich dieser Druck auszugleichen. Also durch diesen Druckausgleich entstehen quasi Unterdruck und Überdruck und ... Druck ist in – generell ist der – ist auf der Erde so ca. ein atmosphärischer Druck, oder halt ja.
- 107 I Siehst du einen Zusammenhang zwischen Druck und Kraft? Falls ja, beschreibe diesen.

- 108 S Ja, also es gibt die Formel Druck ist Kraft pro Fläche. Das heißt im Prinzip ist der Druck nur eine Kraft, die auf eine Fläche ausgeübt wird. Und der Druck kann eben zunehmen, wenn die Fläche kleiner wird, oder wenn die Kraft größer wird.
- 109 I In welche Richtung wirkt der Wasserdruck in einem 1 m hohen mit Wasser gefüllten Gefäß am Boden des Gefäßes?
- 110 S Der hydrostatische Druck wirkt nach unten und der ... eines Gefäßes, ja und sonst ist da wahrscheinlich kein Druck. Also der hydrostatische Druck wirkt senkrecht nach unten, deswegen, ja.
- 111 I Was weißt du über Vakuum?
- 112 S Vakuum ist – es gibt Quanten, ähm, wie heißt das? Wenn zwei, wenn ein Elektron und ein Positron im Vakuum – ah, Quantenfluktuation. Also wenn ein Elektron und ein Positron entstehen im Vakuum – immer wieder – und zerstören sich kurz danach selbst wieder gegenseitig und dabei wird Energie frei. Und es gibt kein Vakuum, wo das Energielevel gleich Null ist, weil das gegen die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation sein wäre und deswegen sind alle – deswegen gibt es diese – deswegen ist vielleicht das falsche Wort, aber man kann sagen, dass es diese Quantenfluktuationen gibt und damit quasi die Heisenberg'sche Unschärferelation quasi nicht vom Vakuum widerlegt werden kann, weil auch dort nicht klar ist, wo sich die Teilchen... Man kann nicht sagen, dass sich die Teilchen zu diesem Zeitpunkt an diesem Ort befinden – äh, mit diesem Impuls.
- 113 I Wie ändert sich der Druck am Boden eines Aquariums, wenn das Aquarium doppelt so breit gemacht wird und wieder bis oben hin mit Wasser befüllt wird?
- 114 S Gar nicht – also in der Mitte des Aquariums... Dann ändert sich der Druck gar nicht. Oder halt, wenn ich das jetzt kurz sagen ... zum Beispiel was ich vorher gerechnet habe... Man kann ja das mithilfe des Druckausgleichs - Wasser, wird dann quasi - Wasser gegen die Schwerkraft hinaufgedrückt – die Spritze hinaufgedrückt, ähm und wenn man diese – das kann man unendlich weit machen, habe ich zumindest so angenommen, ohne dass – weil nur die Höhe, äh beschränkt ist, aber nicht die Breite.
- 115 I Was weißt du über den atmosphärischen Luftdruck?
- 116 S Der liegt bei ungefähr 1 kPa, glaube ich, nein, wie ging das? Auswendig weiß ich es jetzt auch nicht, aber es ist nicht 1 kPa, glaube ich. Ähm, ja, das ist der atmosphärische Druck. Der wirkt quasi im Prinzip deswegen auf uns, weil Luft auf uns drückt, also die auch – die steht im Prinzip auf uns und diesem atmosphärischen Druck sind wir eigentlich überall ausgesetzt. Und man kann – nach ca. 10 m tief tauchen nimmt der atmosphärische Druck um 1-mal zu. Also, wenn ich 10 m tief tauche, ist der atmosphärische Druck nicht eins, sondern zwei. Wenn ich 20 m tief tauche, statt eins, drei und so weiter.
- 117 I Was weißt du über den Druck bei Tauchen?
- 118 S Ah – ich kann Gedanken lesen. Ja, der Druck nimmt zu, je tiefer man taucht. Also je tiefer ich tauche, desto größer ist der Druck. Beim Tauchen – der menschliche Körper, der ist gewohnt ca. einen atmosphärischen Druck als Luftdruck zu haben. Das heißt, er kann nicht überleben bei großen Veränderungen von diesem Luftdruck. Aber es gibt eben genug Lebensformen, die sich an andere Luftdruckstärken gewohnt haben, oder so, sage ich einmal, oder auch anpassungsfähiger sind. Das sind dann halt Tiefseetiere oder Ähnliches, die halt Großteils im Wasser leben.
- 119 I Schätze ab, wie tief du mit einer Sauerstoffflasche und einer Lichtquelle als einzige Hilfsmittel maximal tauchen kannst und begründe deine Schätzung.
- 120 S Also ich weiß es wirklich nicht. Ich glaube, das letzte Mal habe ich hundert gesagt, aber ich weiß nicht, ob ich bei dieser Zahl bleibe. Also so freiwillig würde ich, glaube ich,

sowieso nicht so tief tauchen, aber es geht ja nur ums theoretische Tauchen, also liegt das wahrscheinlich – ich glaube tatsächlich immer noch bei ca. 100 *m*, aber halt nur ganz kurz runtertauchen und dann direkt wieder rauf...

121 I Gut. Vielen Dank, das war's. Wir sind am Ende. Sollte dir noch etwas Wichtiges einfallen, dann kannst du mir das in den wenigen nächsten Tagen noch per Mail schicken.

122 S Und was mir noch eingefallen ist: Vielleicht gibt es ja auch irgendwelche Tiere, die dafür bekannt sind, dass sie aus ganz tiefen Meerestiefen auch mal höher tauchen. Da könnte man zum Beispiel da berechnen, wie viel ändert sich denn der Druck, wenn dieses Tier – also nur, weil wir vorher diese Fragestellung hatten – das könnte man noch quasi auf die Art auch die Fragestellung noch... Also es muss jetzt kein U-Boot sein, sondern es kann auch noch ein Tier sein und dann könnte man so, ja, es taucht so tief und lebt so und so tief, aber, ja, wenn dann da eine Änderung vielleicht auch interessant ist.

123 I Ja, das geht auch. Gut, dann ciao, danke!

124 S Tschüss!

10.8.4 Testperson B2 – Einer Ärztin täglich Brot

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Vielen Dank für deine Teilnahme!
2	S	Kein Problem.
3	I	Ok, so, erste Frage: Als wie schwierig empfandest du das Beispiel?
4	S	Welches?
5	I	Also die gesamte Aufgabe von 1 bis 10. Es geht jetzt immer um das Gesamte.
6	S	Ok. Ich glaube schon sehr knifflig, vor allem, wenn man sich das dann noch ausrechnen muss. Also es ist auf jeden Fall – man kann das nicht so einfach nebenbei machen. Man muss sich schon darauf konzentrieren.
7	I	Welche Tipps oder Hinweise fandest du besonders hilfreich?
8	S	Also als Sie jetzt dann mit mir sozusagen durch die Formelsammlung gegangen sind und halt so kleine Hinweise gegeben haben, das habe ich sehr hilfreich gefunden, weil ich dann auch noch die Möglichkeit hatte, selbst da draufzukommen.
9	I	Also beim Formeln suchen im Formelheft, meinst du, welche die Richtige...
10	S	Genau, genau, weil ich mich halt – ich kenne nicht alle Formeln, die in der Formelsammlung sind und ich bin auch nicht sehr lateinisch angehaucht, deswegen war das eine sehr große Hilfe – auf jeden Fall.
11	I	Ja, noch etwas, wo du sagst, das war hilfreich, das könnte man vielleicht überhaupt mitteilen, weil sonst ist es schwer?
12	S	Ahm, ich bin – es war schwer immer abzuschätzen, welche – sozusagen ab welchem Faktor man runden soll, dass man dann ein g'scheites Ergebnis bekommt. Das hat mir irgendwie gefehlt. Dann – ich finde so ein Bisschen mehr unterstreichen, jetzt nicht das mit Masse des flüssigen Wassers, das haben Sie eh gesagt, dass Sie das sozusagen bei Beispiel Nummer 3, dass Sie das unterstreichen werden. Ja.
13	I	Ist dir da noch etwas aufgefallen, das irgendwie...
14	S	Ja. Ich finde, dass man das Innenvolumen auch irgendwie bei Nummer 4, könnte man dann auch irgendwie unterstreichen.
15	I	Ok.
16	S	Weil sonst überliest man das oder so.
17	I	Mhm.
18	S	Ansonsten fand ich es sehr erfrischend und angenehm.
19	I	Ok. Wie verständlich war für dich die Information zum Hagen-Poiseuilleschen Gesetz?
20	S	Hagen-Poiseuilleschen Gesetz? Das war bei der Vertiefung, gel?
21	I	Genau, bevor dann Aufgabe 8 kam.
22	S	Mhm. Ahm, also ich weiß nicht, was eine laminare Strömung ist. Da sind schon ein paar Fremdwörter dabei.
23	I	Mhm.
24	S	Das finde ich halt ein Bisschen verwirrend, aber ansonsten fand ich das sehr aufschlussreich.
25	I	Mhm, laminare Strömung...
26	S	Und dass Sie vielleicht auch den Begriff Viskosität noch ein Bisschen auch erläutern.
27	I	Mhm, habe ich da zu dem gar nichts dazugeschrieben?
28	S	Zur Viskosität?

29	I	Genau. Aja, du hast Recht. Da wollte ich etwas dazuschreiben und habe es aber nicht, ja. Das ist so etwas wie die Zähigkeit. Also zum Beispiel Honig hat eine hohe Viskosität, Öl hat eine niedrigere oder Benzin hat eine sehr niedrige.
30	S	Ok, gut.
31	I	Würde das Wort Zähigkeit hier schon helfen?
32	S	Ich glaube ja, ja, auf jeden Fall. Oder wenn Sie vielleicht in Klammer Zähigkeit daneben hinschreiben, oder so, das würde, glaube ich, das sehr vereinfachen auf jeden Fall. Ähm, aber ansonsten sehe ich jetzt nichts.
33	I	Ok. Wie interessant beziehungsweise spannend fandest du das Beispiel?
34	S	Ich fand es sehr interessant. Also vor allem das dann mit dem Luftdruck und der in der Spritze, dass dann der Luftdruck stärker ist, wie der Unterdruck in der Spritze. Und was mich auch fasziniert hat, war eben, dass das Wasser nicht gleichmäßig schnell aus einer Kanüle rausspritzt. Das habe ich mir noch nicht so veranschaulicht gedacht ... und auch das Phasendiagramm von Wasser. Das hat mir sehr gut gefallen. Und das mit dem Mount Everest, das Beispiel fand ich auch sehr gut. Ja, aber das denke ich, das waren jetzt die Highlights.
35	I	Mhm und da komme ich jetzt fast noch hin mit der nächsten Frage. Es sind kleine Nuancen, aber vielleicht schaffst du es ja noch ein Bisschen da so zu differenzieren. – Wie hat dir das Beispiel gefallen?
36	S	Ähm, also wie sehr es mir gefallen hat, ... dass man so viel rechnen musste, das fand ich jetzt nicht so angenehm, einfach weil ich nicht sehr rechnerisch angelagt bin. Ähm, aber mit Ihrer Hilfe und halt durch die kleinen Tipps, die Sie mir gegeben haben, wars dann schon auch irgendwie sehr angenehm. Dann ... dann hat mir das Experimentieren auch sehr gut gefallen, also das mit den Gewichten auf die Spritze draufstellen, das fand ich sehr interessant und mit der Kanüle das Aufziehen, das hat mir auch gut gefallen.
37	I	Was hat dir besonders gut gefallen an dem Beispiel?
38	S	Dass das so realitätsnah war. Also das waren jetzt nicht irgendwie Sachen, die man von ganz weit weg sich anschauen konnte, sondern jetzt weiß man, wie halt Spritzen funktionieren im Endeffekt und auch, dass man nicht am Mount Everest kochen kann oder sowas. Ich fand's irgendwie sehr angenehm mal so etwas realitätsnahes zu haben, in der Physik.
39	I	Was würdest du an dem Beispiel ändern?
40	S	Ich würde es nicht so rechenintensiv machen. Also, es ist schon klar, dass man das braucht, um den Zusammenhang dann zu verstehen und das faktisch darzulegen. Aber dass man vielleicht ein paar Formeln schon irgendwie, die man braucht, hingeschrieben bekommt und dann mit denen arbeitet. Das fände ich angenehmer.
41	I	Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?
42	S	Hmm, was ich mir noch gewünscht hätte... naja, mir würde jetzt eigentlich nichts einfallen, weil es sind sehr viele Graphen dabei und auch – und halt irgendwie das Phasendiagramm mit dem man auch arbeitet – halt ungefähr, aber man sich das dann trotzdem anschauen kann. Und man hat irgendwie Aufgaben, wo man selber dann ein Diagramm erstellt und so. Ich finde das sehr gut durchdacht auf jeden Fall.
43	I	Ok... Hast du schon einmal eine Injektion - mit Spritze - oder eine Infusion erhalten?
44	S	Ja, beides.
45	I	Worauf muss das medizinische Personal beim Verabreichen einer Injektion achten?
46	S	Kam diese Frage nicht schon beim Vorinterview?
47	I	Es kann passieren, dass manche davon absichtlich nochmals gestellt werden, ja.

48	S	Ok, bei einer Injektion oder Infusion?
49	I	Bei der Injektion mit Spritze.
50	S	Injektion mit Spritze, ok. Also, die Flüssigkeit in der Kanüle, die fließt nicht gleichmäßig, also die hat unterschiedliche Geschwindigkeiten und dass es leichter ist, jetzt die Spritze ohne Kanüle aufzuziehen und dann danach die Kanüle aufzusetzen.
51	I	Worauf muss das med....
52	S	Und...
53	I	Fällt dir noch etwas ein? Ja?
54	S	Ahm, ja, also das mit dem Patienten, dass es dem gut geht, aber sonst... physikalisch gesehen jetzt nicht.
55	I	Worauf muss das medizinische Personal beim Verabreichen einer Infusion achten?
56	S	Dass der Schlauch nicht länger wie 10 m ist.
57	I	Was würde sonst passieren, wenn er länger als 10 m ist?
58	S	Naja, dass die Flüssigkeit steckt und dann gibt es keine Infusion mehr, oder? Na, das ist ja andersrum, das ist, wenn es ausgesaugt wird und Infusion ist, wenn man was bekommt. Aber sonst darf das nicht mehr als 10 m sein. Ja, ich hab‘ das jetzt – das war ein Glückstreffer. Ich habe gedacht das war genau andersherum. Entschuldigung.
59	I	Ja, angenommen andersherum. Könntest du da trotzdem irgendwelche Schlüsse ziehen für Infusionen oder Blutabnahme oder was auch immer?
60	S	Ja, also wenn man eine Blutabnahme macht, dann kommt ja etwas aus deinem Körper hinaus in einen Beutel und der ist aber tiefer, wie dein Arm, gel? Und wenn dein Arm jetzt 10 m in der Höhe wäre, dann würde ja die Flüssigkeit, also das Blut aus deinem Arm, nicht mehr in den Beutel gehen, weil da dann die Flüssigkeit stehen bleibt.
61	I	Wenn der Arm höher wäre oder wenn der Beutel höher wäre?
62	S	Naja, wenn der Arm höher wäre.
63	I	Und es soll in den Arm fließen oder in den Beutel fließen?
64	S	In den Beutel. Also wenn man bei der Blutabnahme den Beutel hoch dingst, dann fließt ja kein Blut raus, außer es ist – außer wenn halt der Druck in dem Schlauch höher, wie der Luftdruck wäre. Dann könnte man den Beutel höher wie den Arm machen und dann würde es gehen, dass man quasi das Blut abnimmt.
65	I	In welche Richtung fließt denn eine Flüssigkeit?
66	S	Naja.
67	I	Richtung hohem Druck oder Richtung niedrigem Druck?
68	S	Richtung niedrigem Druck.
69	I	Ja, ok. Was verstehst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
70	S	Kraft?
71	I	Ja.
72	S	Hmm, also das ist ein Transport von Energie in eine bestimmte Richtung. Aber das ist doch Arbeit. Ist das Arbeit?
73	I	Ich kann da jetzt nichts dazu sagen.
74	S	Naja, ok. Ja, also Kraft ist etwas, das eine Richtung hat und die einen Einfluss auf einen Körper hat. Also ja, einfach, ja, eine Kraft hat eine Auswirkung auf einen Körper mit einer gewissen Richtung.
75	I	Nenne ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können.
76	S	Ein paar?
77	I	Ja.

78	S	Planeten, ähm, dann Magnete und ja, eigentlich alles, was – und ein Ball auf mich, oder wenn man einen Ball auf einen Asphalt fallen lässt, dann hat der ja auch eine Kraft auf den Asphalt. Weil das ist ja, also wenn das eine Delle hat... ja.
79	I	Was stellst du dir unter einem Kräftegleichgewicht vor?
80	S	Wenn ahm, hmm, wenn zwei Kräfte, die jetzt genau die gleiche Vektorlänge haben, aber in unterschiedliche Richtungen gehen und auf ein Objekt eine Kraft ausüben. Also wissen Sie, was ich meine?
81	I	Wenn du es nochmals anders formulieren möchtest, kannst du es auch nochmal anders formulieren. Wie du willst.
82	S	Nein, ich glaube, ich lasse es.
83	I	In welchen Alltagssituationen kommen solche Kräftegleichgewichte vor?
84	S	Hmm, in welchen Alltagssituationen? Naja, bei einer U-Bahn zum Beispiel. Der gibt man jetzt einen Kraftstoß und dann fährt der ja immer, immer schneller und bleibt dann halt gleich mit dieser Geschwindigkeit, bis man sie halt wieder abbremst. Aber, aso, Kräftegleichgewicht meinen Sie, ja?
85	I	Mhm.
86	S	Ah, das war etwas anderes. Entschuldigung. Kräftegleichgewicht, also das ist, hmm, naja, wenn wir jetzt zum Beispiel uns das mit der Spritze anschauen, oder mit dem Wasser machen wir es so. Also das Wasser hat ja einen bestimmten Druck und dann – hmm, nein, ok, verwerfen. Mir fällt jetzt nichts ein.
87	I	Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe diesen.
88	S	Kraft und Bewegung... Also Bewegung von einem Körper, oder wie?
89	I	Genau ja.
90	S	Bewegung ist ja konstant, die verändert sich nicht. Und Kraft ist aber etwas, das einen Körper verändert, mit der eine Veränderung an einem Körper ...
91	I	Was verändert die denn am Körper?
92	S	Am Körper?
93	I	Mhm.
94	S	Naja, es kann der Impuls sich ändern, die Geschwindigkeit, die Richtung.
95	I	Hat das irgendwie mit Bewegung zu tun?
96	S	Naja, ich würde sagen, dass aus einer Kraft oft eine Bewegung resultiert, aber nicht jede Bewegung hat, äh macht eine Kraft.
97	I	Beschreibe wie sich Reibung auf einen Körper in Bewegung auswirken kann.
98	S	Reibung auf einen Körper – Er wird langsamer. Weil wenn wir jetzt das Auto haben und das reibt am Asphalt, dann nimmt die Geschwindigkeit vom Auto mit der Zeit ab. Und wenn wir jetzt aber zum Beispiel mit Socken auf einem Teppich sind und da herumreiben, dann entsteht Elektrizität. Also es kann eine Abgabe und eine Aufnahme von Energie bewirken von einem Körper, würde ich sagen.
99	I	Wie groß muss die Kraft auf einen Körper mindestens sein, damit sich dieser trotz Reibung weiterhin bewegen kann?
100	S	Trotz Reibung? Naja, die Kraft muss die Reibung aufheben. Weil wir haben ja gesagt, sobald auf einen Körper keine Kraft mehr einwirkt, hat er eine konstante Beschleunigung, äh Bewegung. Also muss die die eine Kraft die Reibung aufheben.
101	I	Welche Zustandsformen kennst du?

- 102 S Flüssig, gasförmig, fest, Plasma, supraleitend, dann ähm, ein Trippelzustand, wo gasförmig, flüssig und fest dabei ist, dann ich weiß halt nicht, wie der Zustand heißt, wo flüssig und gasförmig ist, dann auch noch wo flüssig und fest ist und fest und gasförmig. Und ja.
- 103 I Kennst du einen Unterschied zwischen verdunsten und verdampfen? Falls ja, beschreibe diesen.
- 104 S Verdunsten? Also wenn etwas verdunstet, dann hört sich das für mich so an, wie wenn kein Restbestand mehr wäre von einer, von dieser Substanz. Also dass dann einfach nichts mehr da wäre. Und verdampfen, das ist, wie wenn man Wasser kocht. Also ein flüssiger Zustand erreicht den Siedepunkt und geht über in den gasförmigen Zustand. Sowas würde ich mit verdampfen verbinden.
- 105 I Was passiert mit einer Flüssigkeit, wenn diese verdampft?
- 106 S Naja, diese Flüssigkeit geht in den gasförmigen Zustand über.
- 107 I Wieviel Wasser befindet sich in einem vollkommen geschlossenen Kochtopf, in welchem 1 kg Wasser vollständig verdampft wurde?
- 108 S Wieviel Wasser...
- 109 I Befindet sich in einem vollkommen geschlossenen Kochtopf, in welchem 1 kg Wasser vollständig verdampft wurde?
- 110 S Ja, noch immer 1 kg Wasser. Aber, ah – nein, das hatten wir ja vorher. Also die Dichte verändert sich ja von dem verdampften Wasser im Zustand vom flüssigen. Das heißt, dass sich das Volumen und die Masse verändert hat. Also wird's weniger Masse sein, sage ich mal, weil, ja, weil wenn man jetzt... Oder war der Kochtopf bis zum Rand mit Wasser befüllt?
- 111 I Es war vorher 1 kg flüssiges Wasser drinnen. Der Kochtopf ist vollkommen geschlossen. Wieviel Wasser ist nach dem Verdampfen des Wassers – Kochtopf bleibt geschlossen – drinnen?
- 112 S Also wenn man das wieder rückkondensieren würde, dann wäre ja wieder 1 kg da.
- 113 I Und im gasförmigen Zustand?
- 114 S Im gasförmigen Zustand, da verändert sich ja die Dichte, weil Gas eine geringere Dichte, wie flüssiges Wasser hat. Das heißt da muss sich dann die Masse und das Volumen geändert – ah, hmm, ok, das ist nicht rückschlüssend. Aber das Volumen von dem Gas da drin das ändert sich ja auch. Na, das können wir nicht sagen. Aber auf jeden Fall ist gasförmiges Wasser nicht so schwer wie flüssiges Wasser.
- 115 I Was weißt du über Phasendiagramme?
- 116 S Also Phasendiagramme, die beschreiben, die haben sozusagen Bereiche, die jetzt eine bestimmte Phase von einem Stoff zeigen. Also wenn wir uns jetzt das beim Wasser anschauen, dann gibt es drei verschiedene Bereiche, die jetzt einen Zustand von Wasser beschreiben. Und bei diesen Bereichen gibt es Grenzlinien und an diesen Grenzlinien können beide Zustände oder auch drei Zustände von diesem Wasser existieren.
- 117 I Was kann man aus einem Phasendiagramm alles ablesen?
- 118 S Ja, also ab wieviel bar jetzt zum Beispiel dieser Zustand kommt, oder ab wieviel Grad, dann wo der Siedepunkt ist, wo der Schmelzpunkt ist, wo der kritische Punkt, der Tripelpunkt, da wo alle drei Zustände sind und ja.
- 119 I Was weißt du über das Teilchenmodell der Thermodynamik?
- 120 S Ich sage, dass man sich jetzt nicht mehr die Orbitale von den Elektronen anschaut und auch nicht mehr die Elektronen, die um das Atom herumschwirren, sondern einfach nur mehr die Kerne. Oder man schaut sich eigentlich nur mehr so Kugeln an, wie die miteinander interagieren.

121	I	Was verstehst du unter dem Begriff Gas?
122	S	Ein Gas, das ist ein Zustand von einem Stoff, wo die Teilchen sich schneller bewegen, wie im flüssigen oder im festen Zustand.
123	I	Was befindet sich zwischen den Teilchen eines Gases oder einer Flüssigkeit?
124	S	Eines Gases oder einer Flüssigkeit?
125	I	Also entweder ein Gas oder eine Flüssigkeit und äh besteht aus Teilchen und was befindet sich jeweils zwischen diesen Teilchen?
126	S	Also beim Wasser jetzt zum Beispiel, da haben wir ja erfahren, dass man den Druck oder halt die Dichte von Wasser nicht verändern kann – von Flüssigkeiten. Und das sagt mir jetzt, dass es in Flüssigkeiten so kompakt oder halt in perfektem Abstand – haben und wo dann diese Wechselwirkungen miteinander sind. Also ja, ich würde jetzt sagen, es gibt keinen Abstand mehr sozusagen.
127	I	Und in Gasen?
128	S	Bei den Gasen, da ist halt, wenn man jetzt Deo in einem Raum versprüht, da sind ja dann andere Moleküle dazwischen. Also man kann nicht sagen, wenn jetzt da ein Molekül ist und da ein anderes, da ist nichts dazwischen und da darf jetzt auch nichts mehr sein, sondern da ist alles andere halt auch, das in diesem Raum ist.
129	I	Und wenn du jetzt an einen Stoff denkst, also zum Beispiel in der Spritze, in der verschlossenen, wo wir ja dann aufgezogen haben.
130	S	Mhm, ja also da bei der Flüssigkeit, wo wir das aufgezogen haben, da haben sich dann Gasteilchen, äh Wassergasteilchen gebildet.
131	I	Mhm und was ist zwischen diesen Wassergasteilchen?
132	S	Da war Luft – ahm, nein – von diesen Kügelchen, die halt noch an der Wand waren.
133	I	Was weißt du über Druck?
134	S	Druck ist eine Eigenschaft, die man einem Objekt zuschreiben kann und – ah, das haben wir erst beredet. Also Druck ist ähm, ist proportional von einer Kraft zur Fläche. Also je größer die Fläche, desto kleiner die Kraft, wenn der Druck gleichbleibt. Und also, ist abhängig von Kraft und Fläche, der Druck.
135	I	Siehst du einen Zusammenhang zwischen Druck und Kraft? Falls ja, beschreibe diesen.
136	S	Druck und Kraft...was ich gesagt habe, also, ja.
137	I	In welche Richtung wirkt der Wasserdruck in einem 1 m hohen mit Wasser gefüllten Gefäß am Boden des Gefäßes?
138	S	In welche Richtung?
139	I	Mhm.
140	S	Nach oben, also, entgegen dem Wasserspiegel.
141	I	Was meinst du mit Wasserspiegel?
142	S	Also wenn wir uns jetzt den Boden anschauen von dem Swimmingpool oder Aquarium, ich weiß nimmer genau was es war und da dann im 90° Winkel dazu.
143	I	Was weißt du über Vakuum?
144	S	Ein Vakuum, das ist wo kein Teilchen existiert und da gibt es dann auch keine Kraft und keine Energie, also einfach nichts, was jetzt essentiell für uns existiert. Also keine, kein Drehimpuls, keine Energie und so weiter.
145	I	Wie ändert sich der Druck am Boden eines Aquariums, wenn das Aquarium doppelt so breit gemacht wird und wieder bis oben hin mit Wasser befüllt wird?
146	S	Er bleibt gleich.
147	I	Was weißt du über den atmosphärischen Luftdruck?

- 148 S Dass er an der Erdoberfläche größer ist, wie jetzt am Rand unserer Atmosphäre, da oben und dass er halt immer mehr wird, je näher wir zum Erdkern gehen.
- 149 I Was weißt du über den Druck beim Tauchen?
- 150 S Dass er um, bei jedem – also in 10m-Schritten um eine Atmosphäre weitergeht.
- 151 I Schätze ab, wie tief du mit einer Sauerstoffflasche und einer Lichtquelle als einzige Hilfsmittel maximal tauchen kannst und begründe deine Schätzung.
- 152 S Also, ich nehme an, dass es 100 m ist, weil ich gehört habe, dass ein Mensch apnoemäßig 100 m tief getaucht ist, obwohl das für den Regelfall natürlich sehr unwahrscheinlich ist, weil man dann zehn Atmosphären auf sich hätte.
- 153 I Gut, vielen Dank. Wir sind am Ende.

10.8.5 Testperson C1 – Pharaο für einen Tag

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

1	I	Ok, Start Interview. Wie schwierig empfandest du das Beispiel?
2	S	Äh, das Pyramidenbeispiel?
3	I	Also alle Aufgabenstellungen – das gesamte Blatt.
4	S	Aso, ja, ok. Ja, ahm, ich fand es ziemlich passend schwierig. Also ich weiß nicht, ob das jetzt eher schwerer oder – ich mein, ja. Ich find's ziemlich angemessen für meine, für mein Niveau jetzt, sag ich mal. Manches ist ein bisschen – manchmal hab' ich mich nicht ganz eindeutig ausgedrückt, aber ich finde, ja, mit Ihnen als Hilfe oder so ging das auf jeden Fall gut.
5	I	Du hast gesagt, manches war nicht ganz eindeutig ausgedrückt. Hättest du da noch Beispiele, die dir in Erinnerung sind, wo du da Schwierigkeiten hattest, oder wo man das noch verbessern könnte?
6	S	Ja, ich hatte ein bisschen Schwierigkeit bei dem Beispiel 2c., weil das doch sehr – weil das mal was ganz anderes war. Das hab' ich halt noch nie so in der Art gelöst, oder so. Aber ja, es ist – ja, dann ist es schwer, quasi den Satz noch schön umzuformulieren, dass es immer noch physikalisch, oder dass es dann erst physikalisch korrekt ist. Ja ähm und sonst fand ich das meiste eh – also den Rest habe ich eh ganz gut verstanden. Ahm, bei den meisten Beispielen wusste ich eh schon sofort, wie ich das Beispiel – hatte ich eh sofort einen Lösungsansatz und, ähm, wie ich das Beispiel rechnen werde – ja, also das war halt das einzige Beispiel, wo ich mich nicht ganz ausgekannt habe.
7	I	Welche Tipps oder Hinweise fandest du besonders hilfreich?
8	S	Ich fand, meinen Sie jetzt auch die, die ich jetzt im Nachhinein mir angeschaut habe, oder die, die ich mir nur während der – während des.
9	I	Ich würde sagen direkt während der Erprobung. Du kannst aber dich auf die Kuverts beziehen, aber auch auf das, was ich gesagt habe.
10	S	Ok. Ich fand, hmm, mal schauen. Ja, das war ganz gut. Das mit, der Hinweis c2b2. Ja, weil ohne GeoGebra hätte ich das Beispiel wahrscheinlich nie gelöst und auch das, was Sie dazugesagt haben war sehr hilfreich mit dem Kräfteparallelogramm nochmal und dem Hinsetzen. Ja, so hätte ich irgendwie ewig lange herum probiert. Was gab's noch für Hinweise? Ja, den, ja da ist eben auch c2b3 dabei, den ich ganz gut fand. Dann, ja, ich wusste halt nicht, was die Hangabtriebskraft war. Damit hab' ich halt eine Erklärung für die Hangabtriebskraft bei c2b1 bekommen. Und sonst ... hatte ich überhaupt sonst noch Hinweise? Ich glaub, ich fand eh alle ziemlich gut, die ich bekommen habe.
11	I	Irgendetwas, was du zum Beispiel nicht schriftlich hattest, aber was ich – was du mich dann gefragt hast, oder was ich dir so gesagt habe, oder dich gefragt habe, um wohin zu führen, wo dir dann so ein Knopf aufgegangen ist?
12	S	Ich schaue jetzt kurz mal in meine Mitschrift – in meine Rechenwege oder so, damit ich – dann erinnere ich mich wieder.
13	I	Mhm.
14	S	Ah, ja, das mit der Arbeit, das war auf jeden Fall noch hilfreich. Dass Sie da – ich kannte mich da bei der Arbeit nicht mehr so genau aus, wie ist das genau und welche Einheit und so. Dann auch – irgendwie da hatte ich den Faden verloren – wie ich die Kraft ausrechne, für die Arbeit eben in der Formel. Und dann, ja, das war's eigentlich.
15	I	Ok, inklusive aller, auch die, die du dir jetzt nachher noch angeschaut hast: Wie nützlich fandest du die Tipps in den Kuverts?

- 16 S Ich fand die meisten wie gesagt sehr hilfreich. Ich hab' mir jetzt auch die anderen nochmals angeschaut. Eine fand ich nicht so hilfreich. Ah, den fand ich übrigens auch ziemlich gut, den, mit den Masseschwerpunkten – eben, weil so kann man das nochmal leichter, allgemeiner für n Masseschwerpunkte bestimmen. Das fand ich ganz interessant. – Einen fand ich nicht so – ja, den c2a. Solltest du bei Aufgabe 2a nicht weiterkommen, versuche zunächst Aufgabe 2b. Vielleicht stößt du dann auf eine Idee für 2a. Ahm, das Beispiel 2a für die, da wo Sie mich eben gleich zur Hangabtriebskraft geleitet – ähm, ich weiß nicht, wenn 2a nicht geht, dann – irgendwie der Hinweis leitet einen zu einem anderen Hinweis weiter. Das ist so ein bisschen ... und irgendwie fände ich es besser, wenn da schon drinnen stünde, was ist die Hangabtriebskraft, oder vielleicht sogar genau der gleiche Hinweis wie bei 2b2, glaub ich, diese Formel für die Hangabtriebskraft plus die Reibungskraft.
- 17 I Mhm.
- 18 S Weil, ja, das ist ziemlich das gleiche. Auch wenn 2b nochmal deutlich komplexer ist als 2a braucht man vielleicht schon auch, wenn man nicht weiß, genauso wie ich, was die Hangabtriebskraft ist. Man kann es sich vielleicht schon vorstellen, aber ich wusste es halt nicht – wie, was das genau ist.
- 19 I Ja.
- 20 S Oder eine Skizze alleine würde bei 2a auch schon reichen oder so. Dann kommt man gleich auf die Idee ein Kräfteparallelogramm zu zeichnen.
- 21 I Wie interessant beziehungsweise spannend fandest du das Beispiel?
- 22 S Ich fand es auf jeden Fall sehr spannend, weil es sehr realitätsnah ist und weil man auch gleichzeitig was gelernt hat zum Pyramidenbau. Ja, ich fand's – ich fand eigentlich alle Beispiele sehr interessant. Schon hatte ich das Gefühl bei manchen Beispielen, sie richtig elegant zu lösen – lösen zu können und ein bisschen mehr Idee dahinter – oder ein bisschen mehr da zusätzlich weiß. Ja und ich fand's schon sehr spannend. Schon spannender als das Standard-Physikolympiadebeispiel.
- 23 I Wie hat dir das Beispiel gefallen?
- 24 S Mir hat es sehr gut gefallen. Ich hab, ich glaub, was dabei gelernt – jetzt nicht nur im physikalischen Sinn, sondern auch im archäologischen, oder ich weiß nicht – geschichtlichen Sinn. Ja, mir hat's gut gefallen.
- 25 I Was hat dir an dem Beispiel besonders gut gefallen?
- 26 S Hmm, also ich fand 2b sehr, also das Ergebnis von 2b dann am Ende schon sehr, sehr spannend. Ähm, aber, es war halt ziemlich schwer, deshalb fand ich es dann doch wieder nicht so am besten. Hmm, das ist schwer zu sagen. Also ich fand das mit den Pyramiden auch sehr, aber eigentlich fast das mit den verkehrten Pyramiden, das fand ich glaub ich noch am spannendsten, weil vor allem das mit den Schwerpunkten, wie man sich das genau ausrechnet, dass man die – also gar nicht mal so jetzt die letzten Beispiele, sondern eher das am Anfang. Man hat zwei gleichschwere Objekte, berechne den Schwerpunkt von den - Summe der beiden Objekte oder so. Das fand ich, dass man sich da selber sozusagen eine Art Formel überlegen muss, wie man sich eben das berechnet. Das fand ich ziemlich – hat mir gut gefallen.
- 27 I Was würdest du an dem Beispiel ändern?
- 28 S Ich würde ein Bisschen bei Aufgabe 3a, weil sie auch nicht ganz eindeutig formuliert ist, äh, die – wie Sie dann eh schon gesagt haben, genauer angeben, dass man so ziemlich alle Größen sich aussuchen kann. Ich weiß eben nicht, ob ich Beispiel 2b richtig gelöst habe, also ich habe es ja schon irgendwie gelöst, aber ob ich es nicht unnötig kompliziert gelöst habe. Ich würde vielleicht bei 2b nochmal eine Skizze machen, in der vielleicht –

es muss gar nicht das Kräfteparallelogramm eingezeichnet sein, aber es kann – es reicht, wenn nur die Schwerkraft eingezeichnet ist. Oder einfach nur ein Hinweis, überlege dir eine Skizze. Ja, das erste, das fand ich auch, ja das erste fand ich ziemlich gut eigentlich. Das konnte ich ganz gut lösen bis, da haben Sie mir dann einmal den Tipp gegeben mit der Dichte vom Wasser, dass man die einfach gleichsetzt, damit der Auftrieb stimmt. Damit kann man das halt sehr elegant lösen. Ich hätte es, glaube ich, über irgendeinen Umweg versucht. Ja, das erste finde ich ziemlich gut. Das ist ein guter Einstieg ins Thema. Ja und das vierte finde ich auch einfach generell spannend.

29 I Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?

30 S Eigentlich fast nix. Also ich rechne ganz gerne mit Skizzen. Deshalb hätte ich gern ziemlich bei jedem Beispiel eine Skizze oder so, aber die mache ich mir dann eh meistens selber und es muss jetzt nicht bei jedem Beispiel eine Skizze dabei sein. Aber sonst – ich weiß nicht – eigentlich direkt was wünschen oder so für das Beispiel tu ich jetzt nicht.

31 I Was weißt du über die Pyramiden des Alten Ägyptens?

32 S Jetzt weiß ich mehr als vorher. Ich weiß, also das was ganz hinten stand, dass eben die vielen verschiedenen Pharaos oder Pharaoninnen versucht haben, verschiedenste, außergewöhnliche Pyramiden zu bauen. Das finde ich spannend, weil davon habe ich eigentlich gar nichts gehört. Ich kenne eigentlich nur die Standardpyramide, Quadrat als Grundfläche und dann spitz nach oben und ich kenne eigentlich gar keine anderen Versionen und deshalb finde ich das eigentlich auch recht spannend. Dann, generell finde ich es spannend, dass man erstmal die Physik und die Mathematik dahinter sich anschaut, weil dann merkt man erstmal, wie viel mühseliger die Arbeit sein musste, damit sie das schafften. Dann sieht man das Ganze auch erstmal aus einer anderen Blickrichtung, wenn man sich einfach nur denkt, boah, das war schwer die Steine dort hinzukriegen – ja, es war auch schwer die Steine überhaupt irgendwie anzuordnen oder überhaupt sich mal zu überlegen, wie viele Steine passen in ein Boot, welche Aufzugsmechanismen kann man verwenden und ja.

33 I Wie konnten die Pyramiden, deiner Meinung nach, gebaut werden?

34 S Ich glaube, ich meine der Ansatz mit diesem rollenden Baumstamm – Schrägaufzug – der ist meiner Meinung nach ein ziemlich guter, weil damit – das ist eine sehr elegante Lösung, weil damit transportiert man sie sowohl vertikal als auch leicht horizontal und das ist glaub ich ganz gut für den Pyramidenbau. Ich mein als normale Transportwege war, ganz klar, sicher das Schiff und dann halt das letzte Stück war halt irgendwie über – auf irgendwelchen Rampen hin und her geschoben oder Rollen, oder ich weiß nicht, was es gab. Aber ich glaube der Schrägaufzug wurde nur am letzten Stück von Pyramiden verwendet, also nur noch um den letzten – das letzte Stück nach oben zu kommen.

35 I Was findest du besser, Rampe oder Schrägaufzug oder Kombination, oder wie würdest du die kombinieren?

36 S Ich würde das letzte Stück wie schon gesagt, bei der Pyramide mit einem Schrägaufzug machen, weil die Pyramide so ungefähr vom Winkel her, so im 45° Winkel ist. Und dann kann man wahrscheinlich irgendwie ganz gut das letzte Stück einfach mit dem Stein mit dem Baumstamm machen. Dann braucht nicht ewig unten irgendwie Gerüste, damit der Stein dann irgendwo am Boden nochmal zehn Meter in Gerüsthöhe eben verschoben wird. Dann ist es quasi nicht allzu weit weg schon von der Pyramide. Und ich würde den Anfang eben irgendwie mit einer Rampe – ich weiß nicht, die haben glaub ich schon irgendwelche Hölzer untergelegt, die sie dann so mitrollen. Ich weiß nicht, wie es, glaube ich, bei manchen Schiffen, wenn sie über Land transportiert werden, verwendet wird.

- Also so eine normale Rampe werden sie nicht verwendet haben, glaube ich, weil das schafft man, glaube ich, nicht so leicht. Ja, eben eine Kombination aus der Rampe, aber eben irgendwie nochmal aufgebessert mit einem Schrägaufzug, glaube ich, ging ganz gut.
- 37 I Welche der alten Techniken könnten auch heute noch in der Technik eine Rolle spielen und inwiefern?
- 38 S Hmm, ich glaube ehrlich gesagt, dass der Schrägaufzug heute noch in irgendwelchen Konstruktionen verwendet wird, weil oft verwendet man – will man irgendein Objekt nicht nur nach oben und zur Seite bewegen, sondern eben schräg nach einer Richtung – schräg nach oben und dann ist es oft, glaube ich, ja, könnte man das mit einem Schrägaufzug gut kombinieren. Ich glaube mit dem Schrägaufzug kann man ganz gut so – ja, vor allem, wenn man mehrere Sachen transportieren muss, immer von schräg unten nach schräg oben, ist, glaube ich, Schrägaufzug schon eine sehr gute Methode, um das zu machen.
- 39 I Was weißt du über die Arbeitsbedingungen der Arbeiter damals?
- 40 S Jetzt weiß ich ein Bisschen mehr. Also zumindest beim Schrägaufzug. Ich wusste nicht, dass sie so gut – also ich habe mit zehn Stunden pro Tag gerechnet und dachte, dass das eher wenig ist, weil naja und ja, es eben damals auch verhältnismäßig wenig aber für den Schrägaufzug war's jetzt zum Glück genau passend. Und, ja, ich weiß nicht, bei den anderen Arbeitsverhältnissen am Pyramidenbau, denke ich, war es ähnlich, weil es eben Pyramidenbau war. Aber sonst irgendwie Landwirtschaft war's, glaube ich, nicht so gut die Arbeitsverhältnisse.
- 41 I Beschreibe, was du unter dem Gewicht eines Körpers verstehst! Wie lässt sich dieses messen?
- 42 S Das Gewicht eines Körpers ist die Kraft, die nach unten, mit der dieser Körper in eine gewisse Richtung drückt. Und dieses Gewicht lässt sich mit einer – das sind doch genau die gleichen Fragen, die Sie mich vorher auch schon gefragt haben, oder? – also das Gewicht lässt sich mit einer Waage zum Beispiel bestimmen. Ja, mit einer Waage kann man eben messen, mit wieviel Kraft ein Körper auf die Waagenfläche drückt.
- 43 I Was verstehst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?
- 44 S Physikalisch verstehe ich unter dem Begriff Kraft etwas, was übertragen wird. Also Kraft ist eine Art der Energieübertragung, oder in Kräften wird Energie übertragen.
- 45 I Nenne ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können.
- 46 S Ich kann zum Beispiel eine Kraft auf meinen Sessel ausüben, den ich gerade zusammendrücke und der Sessel übt auch gerade eine Kraft auf mich aus, indem er mich wieder hochdrücken will und wir uns anziehen. Dann gibt es noch quasi nicht nur Gravitation, sondern auch eben Abstoßung und Anziehung von Ladungen als verschiedene Kräfte. Ja, das sind so die häufigsten Kräfte, die man im Alltag findet.
- 47 I Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe diesen.
- 48 S Ja zwischen Kraft und Bewegung gibt es einen Zusammenhang, und zwar, dass die Kraft sozusagen für die Änderung der Beschleunigung, oder für eine Beschleunigung – äh, zu einer Beschleunigung führen kann und diese Beschleunigung führt zur Änderung einer Geschwindigkeit und ja, das ist der Zusammenhang.
- 49 I Wie viele Kräfte dürfen maximal auf einen Körper wirken, ohne dass sich dieser bewegt?
- 50 S Es dürfen unendlich Kräfte auf einen Körper wirken, da diese Kräfte – ähm, da ein Körper quasi nur beschleunigt wird, wenn die Summe aller Kräfte, die auf ihn wirken, ungleich

Null ist. Man muss einfach nur schauen, dass alle Kräfte zusammenaddiert gleich Null sind, dann geht sich das aus.

51	I	Was stellst du dir unter einem Kräfteparallelogramm vor?
52	S	Ein Kräfteparallelogramm dient zur Aufspaltung einer Kraft und man kann damit eben die Teilkräfte, die verschiedene Auswirkungen auf das Objekt haben, bestimmen.
53	I	In welchen Situationen könnte ein Kräfteparallelogramm hilfreich sein?
54	S	Immer wenn man verschiedene – wenn man eine Kraft hat, die – dessen Wirkung, oder dessen Auswirkungen nicht alle in die Richtung der Kraft zeigen, dann dient ein Kräfteparallelogramm dazu diese einzelnen Auswirkungen aufzuspalten – also die Kraft aufzuspalten in die einzelnen Auswirkungen und sich dann die resultierenden Kräfte nochmal genauer anzuschauen.
55	I	Was verstehst du unter Arbeit?
56	S	Arbeit ist – unter Arbeit verstehe ich die Prozessgröße der Energie. Arbeit, habe ich heute dazugelernt, bildet sich aus Kraft und einem Weg.
57	I	Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, worin liegt dieser?
58	S	Kraft ist sozusagen die Übertragungsform der Energie. Also eine Kraft führt dazu, dass ein Objekt beschleunigt wird, oder ja, eigentlich nur beschleunigt wird und diese Beschleunigung führt zu einer Änderung der kinetischen Energie und das ist eben eine Form der Energie und so spielen eben Kräfte und Energie zusammen.
59	I	Siehst du einen Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie? Falls ja, beschreibe diesen
60	S	Ja, Energie ist die Zustandsgröße und Arbeit ist die Prozessgröße. Das heißt, ein Körper kann Energie haben, aber nicht Arbeit. Aber ein Körper kann auch nicht Energie vermitteln aber nur Arbeit.
61	I	Was weißt du über den Auftrieb?
62	S	Der Auftrieb hängt von der Dichte ab und von der Gravitation. – Ich glaube das – ja, und von dem verdrängten Volumen, glaube ich. – Mit dem Auftrieb kann man sich eben ausrechnen, wieviel – wie stark die Kraft ist, die ein Objekt nach oben zieht in einer Flüssigkeit oder in einem Gas.
63	I	In welchen Situationen tritt das Phänomen Auftrieb überhaupt auf?
64	S	Das Phänomen Auftrieb tritt in vielen Situationen auf, generell, zum Beispiel ist heiße Luft – steigt heiße Luft auf, weil sie leichter ist als schwere, äh kalte Luft und dadurch ein Luftzyklus und dieser Luftzyklus sorgt für Wind zum Beispiel auf der Erde. Oder auch noch alltäglicher: Boote schwimmen wegen dem Auftrieb, Ballone können fliegen, weil sie – weil deren Auftrieb stärker ist als die Gravitationskraft.
65	I	Unter welchen Bedingungen kann ein Körper in einer Flüssigkeit schwimmen?
66	S	In einer Flüssigkeit schwimmen tut der Körper nur, wenn er die gleiche Dichte hat, wie die Flüssigkeit und auf einer Flüssigkeit schwimmt er, wenn er eine niedrigere – höhere, äh niedrigere Dichte hat.
67	I	Wie groß muss die Auftriebskraft sein, damit ein Körper nicht untergeht?
68	S	Dann muss die Auftriebskraft mindestens so groß sein wie die Gravitationskraft.
69	I	Wie groß muss die Auftriebskraft sein, damit ein Körper schwimmt?
70	S	Dann muss die Auftriebskraft größer sein – nein größer oder gleich der Gravitationskraft.
71	I	Ist Auftrieb auch in Gasen möglich?
72	S	Ja.
73	I	An welcher Stelle eines Körpers kann man diesen auf nur einem Finger balancieren?
74	S	An dessen Schwerpunkt.
75	I	Erkläre, wie du praktisch vorgehen würdest, um diesen Punkt bei einem Körper zu finden.

- 76 S Ich würde den Körper langsam über eine Kante schieben und kurz bevor er fällt, oder wenn er fällt, mir die Kante merken und mir die Kante einzeichnen als Linie, dann den Körper um 90° drehen und das Ganze nochmal machen und dann habe ich zwei Schwerlinien eingezeichnet. Mit diesen beiden Schwerlinien kann ich schon mal eine – also Schwerflächen habe ich theoretisch eingezeichnet. Ich kann mit diesen beiden Schwerflächen die eine normale dazu Schwerlinie finden und dann musst du den Körper nochmals drehen um 90° auf eine Fläche auf der er noch nicht lag und dann kann ich das Gleiche nochmal machen und dann krieg ich noch eine Schwerlinie und kann ich mir mit diesen beiden Linien dann den Schwerpunkt ausrechnen.
- 77 I Gut, das war's. Vielen Dank!
- 78 S Gerne.
- 79 I Wenn dir irgendwas noch einfallen sollte, zu deinem Interview, was du noch hinzufügen möchtest, dann kannst du mir das jederzeit gerne per Mail schreiben.
- 80 S Ja.
- 81 I Danke und schönen Nachmittag!
- 82 S Wiedersehen!

10.8.6 Testperson C2 – Pharao für einen Tag

I ... Interviewer, S ... SchülerIn = Testperson

- 1 I Gut, dann fangen wir mit dem Interview an. Als wie schwierig empfandest du das Beispiel – also komplett?
- 2 S Also mit genügend Zeit auf jeden Fall lösbar, aber, ja, schon als schwer, aber noch lösbar, angenehm schwer – ich fand, mir hat's sehr gefallen.
- 3 I Welche Tipps oder Hinweise fandest du besonders hilfreich? Können auch verbale Hinweise von mir gewesen sein.
- 4 S Dass ich GeoGebra benutzen soll. Und, ja, beim letzten, also beim Vierer habe ich halt, ähm, bin ich halt nicht weitergekommen. Da, hmm, was haben Sie mir denn alles für Tipps gegeben?
- 5 I Naja, wir haben da einmal gesprochen über das Geodreieck – dass der Abstand eben auch wichtig ist.
- 6 S Ja.
- 7 I Da bin ich mir aber nicht sicher, ob du dich wirklich verrannt hättest, weil du ja, glaub ich, da die Frage falsch verstanden hattest – falsch gelesen hattest.
- 8 S Ja, ich war, ich weiß ehrlich gesagt gar nicht mehr was ... also was ich auf jeden Fall, was auf jeden Fall hilfreich war, waren Ihre Erinnerung oder Ihre Fragen „Ja, was willst du denn gerade überhaupt ausrechnen? Was machst du denn überhaupt gerade? Was willst du jetzt eigentlich gerade?“.
- 9 I Das kann ich halt wahrscheinlich schwer in die Aufgabe hineinpacken, weil wer was nicht liest, dann liest er das auch nicht. Ich glaube aber, dass einfach ein bisl jetzt, weil es so lange ist, die Konzentration auch nachgelassen hat, kam mir vor.
- 10 S Ja.
- 11 I Aber ich glaube, das kann man kaum ändern. Da ist halt dann der Lehrer oder Lehrerin da und...
- 12 S Ja, gut, oder das ist vielleicht auch was, was - wo man selber irgendwie sich das immer vor Augen halten muss sozusagen, sich zu überlegen: Ok, was mache ich denn jetzt eigentlich?
- 13 I Mhm, voll.
- 14 S Es war allgemein, also dann man, dass ich jetzt ständig meine Gedanken ausgesprochen habe und jeden Schritt kommentiert habe, das hat, glaube ich, auch viel geholfen – mir.
- 15 I Mhm, auch ein interessanter Hinweis eigentlich für dich.
- 16 S Ja.
- 17 I Wie nützlich fandest du die Tipps in den Kuverts – also die, die ich da per Mail immer wieder geschickt habe?
- 18 S Also beim Vierer habe ich das auf jeden Fall, glaube ich, gebraucht. Also vor allem das Benennen und so.
- 19 I Mhm.
- 20 S Dann das, ja, das mit der Hangabtriebskraft, na doch das mit der Zugkraft, das hab ich dann auch gebraucht, abgesehen davon, dass ich nicht wusste, was die Hangabtriebskraft war – das war auch hilfreich und das, dass ich GeoGebra benutzen soll, eigentlich auch. Also ich fand die hilfreich, ja.
- 21 I Wie interessant beziehungsweise spannend fandest du dieses Beispiel?
- 22 S Ich fand es sehr spannend, weil ich eben, weil ich zwischendurch – also erstens, weil es eine, ja, wie soll ich sagen, Geschichte hatte sozusagen. Also, dass es halt um die

Pyramiden ging und dass das sozusagen auch immer ein, ja, wie soll ich das jetzt beschreiben? Also dass man sozusagen darüber auch was lernt, zwischendurch. Also das macht, finde ich, Beispiele oft interessanter und die verschiedenen Erkenntnisse, die man zwischendurch gewinnt, fand ich sehr, ja

- | | | |
|----|---|---|
| 23 | I | Mhm. |
| 24 | S | Fand ich sehr spannend. Kann ich da jetzt ein konkretes Beispiel nennen? Ja, das mit der Dichte zum Beispiel, beim Auftrieb, dass sie dann gleich ist, wie die vom Wasser. |
| 25 | I | Mhm. |
| 26 | S | Ahm und allgemein auch so, so, eh bei dem Auftrieb finde ich es auch immer wieder sehr interessant, wenn man dann sieht, was sich alles rauskürzt und wovon es abhängt und wovon nicht. Also, dass ich zum Beispiel die Erdbeschleunigung auch im Reibungsbeispiel, also im Rampenbeispiel, dass sich die halt einfach immer rauskürzt und eigentlich immer egal ist, das fand ich auch sehr interessant. Also das fand ich auch interessant am Beispiel, eben die Erkenntnisse, die man zwischendurch, zu denen man gelangt. |
| 27 | I | Irgendwann hattest du so ein richtiges, einen Aaah-Effekt. |
| 28 | S | Ja. |
| 29 | I | Ich weiß nicht mehr was es war. War das bei der Rampe, glaube ich, oder? Bei der Analyse der Graphen. |
| 30 | S | Bei der Zugkraft war das. |
| 31 | I | Genau, ja. |
| 32 | S | Ja, ja, bei der Zugkraft. |
| 33 | I | Wie hat dir das Beispiel gefallen? |
| 34 | S | Ja, hat mir gut gefallen, weil es war auf jeden Fall herausfordernd, also es war nicht einfach nur sozusagen, die richtige Formel finden und einsetzen und passt schon, sondern es war eben herausfordernd. Aber es war nicht, es war trotzdem lösbar. Es war trotzdem gut in der Reichweite des Möglichen. Also es war nicht frustrierend. Ja, also mir hat es gut gefallen. |
| 35 | I | Was hat dir besonders gut gefallen? |
| 36 | S | Ähm, was hat mir besonders gut gefallen? Ja, dass ich, also meinen Sie jetzt einzelne Beispiele im Beispiel, oder? |
| 37 | I | Das darfst du interpretieren, wie du möchtest. |
| 38 | S | Ok. Ahm, ich – was hat mir gut gefallen? |
| 39 | I | Was hat dir Spaß gemacht dabei besonders? |
| 40 | S | Dass man, ja, eigentlich eh, was ich schon gesagt habe, dass man auf viele, also dass man auf dem Weg sozusagen, des Lösens, viele andere Dinge herausfindet. Zum Beispiel jetzt auch beim vierten Beispiel. Das ist ja nichts, also das haben viele irgendwie vorher zumindest in irgendwie einer Form zumindest schon gesehen oder sich vielleicht auch überlegt, wie man das so stapeln kann und dass da zum Beispiel jetzt herauskommt, dass man das um-, also beliebig weit machen kann, das zum Beispiel fand ich sehr interessant und hat mir eben gut gefallen, dass man sowas dann erkennt. Oder wie gesagt das mit der Dichte, also einfach die zusätzlichen Erkenntnisse, die man auf dem Weg bekommt. |
| 41 | I | Was würdest du an dem Beispiel ändern? |
| 42 | S | Das mit dem Satz von dem Archäologen, das war fand ich nicht so klar, was jetzt da genau die Aufgabenstellung ist. Da habe ich halt mit Ihnen geredet und irgendwie halt Ihre Fragen beantwortet sozusagen mehr, aber jetzt nicht so. Also wenn ich das jetzt einfach nur geschrieben hätte, zum Beispiel, wüsste ich, glaube ich, jetzt nicht so wirklich, wie oder was ich da jetzt antworten soll. Aber sonst. |

43	I	Wenn du diese Aufgabe im Physikolympiadekurs bekommen hättest, also jetzt zum Beispiel nicht beim Wettbewerb, sondern im Kurs. Wie fändest du diese Aufgabe dort platziert?
44	S	Das gesamte, oder das mit dem Satz?
45	I	Das mit dem Satz. Wie würdest du damit umgehen dort?
46	S	Ich würde wahrscheinlich mit der Person, mit der ich es löse, ja halt drüber reden und halt Gedanken austauschen, was damit gemeint sein könnte. Aber ich würde, glaube ich nicht, auf die Idee kommen zum Beispiel, das was ich dann gemacht habe, oder beziehungsweise, was ich mit Ihrer Idee quasi gemacht habe, was habe ich mir da ausgerechnet? Genau wie viel Energie zum Beispiel, äh, ja, Arbeit zum Beispiel das, den Arbeitsunterschied zum Beispiel, das – auf die Idee wäre ich alleine nicht gekommen und wahrscheinlich auch nicht mit, also zusammen mit wem anderen, nehme ich jetzt mal an. Also das war etwas, das ich nicht aus der Angabe heraus gemacht hätte.
47	I	Noch andere Sachen die du verändern möchtest?
48	S	Ich weiß nicht, ob das mit dem, bei 4d, das so klar ist, sozusagen, dass man da dann einfach, dass man da einfach annehmen kann, dass das eine eben dann, dass das einfach so weitergeht.
49	I	Bei welchem Beispiel?
50	S	Bei 4d. Also das mit dem, dass das wirklich eine harmonische Folge ist.
51	I	Ja.
52	S	Dass zum Beispiel, also dass man das nicht begründen muss, sondern einfach ja, passt schon. Aber sonst eigentlich finde ich wirklich.
53	I	Was hättest du dir für das Beispiel noch gewünscht?
54	S	Ich fände es, glaube ich, auf jeden Fall interessant, da wirklich eine explizite Folge anzugeben, aber ich weiß nicht, ob das dann nicht den Rahmen sprengen würde, von der Länge her vom Beispiel. Weil ich habe jetzt zwei A4-Seiten ca., ne genau eigentlich dazu geschrieben. Also das ist schon, also kein kurzes Beispiel, sagen wir so. Aber das dann vielleicht ein Bisschen umformulieren, oder so, dass man dann nicht auf die Idee kommt das zu machen.
55	I	Andere Wünsche noch? Was du vermisst hast an dem Beispiel?
56	S	Was ich vermisst habe? Hmm, fällt mir jetzt gar nichts ein auf die Schnelle.
57	I	Ok, was weißt du über die Pyramiden des Alten Ägyptens?
58	S	Was weiß ich über die Pyramiden des Alten Ägyptens? Also wenn ich das richtig verstanden habe, ist das, sind die im Beispiel genannten Methoden jetzt auch nur Vermutungen, die sie haben und nicht, also, dass sie es glauben, dass es so gewesen sein könnte, ähm, aber, dass es nicht klar ist. Also, was weiß ich über die Pyramiden? Ich weiß, dass sie immer noch ein Bisschen ein Rätsel aufgeben, wie sie das wirklich geschafft haben, die zu bauen. Ich weiß jetzt, dass hier aus nahegelegenen Kalk, aus einem nahegelegenen Kalksteinbruch, oder so die meisten Steine waren und nur wenige Granit und – was das zweite? Irgendwas mit B.
59	I	Basalt.
60	S	Für die schöne Grabkammer umgeschifft wurden.
61	I	Wie konnten diese deiner Meinung nach gebaut werden.
62	S	Ja, wie gesagt, das weiß ich nicht. Also ich glaube nicht, dass es Aliens waren, aber ich weiß es nicht. Also die hier im Beispiel besprochenen Methoden waren irgendwie ein bisschen, also waren einleuchtend, dass es so gewesen sein könnte. Zu der Rampensache habe ich aber mal gehört irgendwie, dass es dann schon weit, weit mehr Steine brauchen

würde, um die Rampe zu bauen, als die Pyramide. Also, dass es auch ein Bisschen fraglich ist, ob sie es wirklich so gemacht haben. Aber ich habe keine Ahnung, wie sie es gemacht haben.

63 I Denkst du, dass Techniken aus dem Beispiel oder vom Bau von damals, die interessant waren, auch heute eine Rolle in der Technik spielen und falls ja, inwiefern?

64 S Ich glaube auf jeden Fall, dass diese Techniken zumindest in irgendeiner Form heute auch noch eingesetzt werden. Ich weiß jetzt nicht genau wie und wo, aber ich glaube schon, dass so, ja, wie sagt man, relativ grundlegende Prinzipien der Mechanik sind, sozusagen. Also dass da auch heute noch darauf Rücksicht genommen werden muss, beziehungsweise dass das eingesetzt werden kann auch wenn es jetzt Maschinen machen und keine Menschen, aber die sind ja, Maschinen sind ja genauso auch von Schwerkraft betroffen zum Beispiel, wie Menschen.

65 I Wenn du jetzt mit deinen Erfahrungen bezüglich Rampe und dem Schrägaufzug vergleichst, welche Erkenntnisse kannst du denn für dich bezüglich Bautechnik da herausziehen?

66 S Also das mit dem Schrägaufzug, den kannte ich gar nicht. Das ist auf jeden Fall, ja, die Erkenntnis, die man daraus gewinnt, ist halt, nehme ich an mal, dass Rollen in jeglicher Form, auch wenn sie nur Umlenkrollen sind, extrem hilfreich sind, weil man dann die Schwerkraft auf seiner Seite hat, zumindest zum Teil. Ja, also das mit der Rampe, dass die Zugkraft sozusagen so, dass die so einen komischen Graphen hat, das war mir nicht bewusst. Aber ich glaube irgendwie nicht, dass ich das jemals, also dass ich mir das ernsthaft überlegen werde, also ich glaube nicht, dass ich jemals darauf achten werde. Eine Rampe sozusagen in diesem speziellen Winkel nicht zu bauen, in dem die Zugkraft am größten wäre. Auch wenn es wahrscheinlich schlau wäre, aber ich glaube, da werde ich erstens nicht daran denken und zweitens dann kein GeoGebra zur Verfügung haben.

67 I Beschreibe, was du unter dem Gewicht eines Körpers verstehst. Wie lässt sich dieses messen?

68 S Das Gewicht eines Körpers ist die Kraft, die auf ihn wirkt aufgrund der Gravitation. Also beziehungsweise, nein eher anders. Also der Körper wird durch Gravitation angezogen und er wirkt halt eine Kraft auf den Untergrund, auf das worauf er steht. Hmm, und gemessen werden kann sie durch, ja, am einfachsten sind Federn oder auch elektrisch irgendwie, da gibt es ja auch Möglichkeiten, also die Feinwaagen sind ja elektrisch und nicht mit einer Feder drin.

69 I Was verstehst du physikalisch unter dem Begriff Kraft?

70 S Eine Kraft ist eine, ähm, Impulsänderung mit der Zeit, habe ich letztes Mal, glaube ich, auch schon gesagt, also, dass du den Impuls eines Körpers änderst. Aber ja, ja.

71 I Nenne ein paar Körper, die eine Kraft auf etwas ausüben können.

72 S Alles mit der Gravitation. Also alles wirkt auf alles, also alles, was Masse hat. Jeder Körper wirkt eine Kraft auf jeden anderen Körper. Und sonst, ja alle Körper, die sich nahe genug sind, sozusagen, also wenn sich zwei Körper berühren, wirken sie eine Kraft aufeinander.

73 I Welche Kraft meinst du da?

74 S Ich meine jetzt die elektrische, die elektromagnetische mit der sie sich abstoßen, dass sie sich sozusagen nur berühren und nicht ineinander gehen – auf molekularer Ebene.

75 I Mhm. Siehst du einen Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung? Falls ja, beschreibe diesen.

- 76 S Ja, ich sehe einen Zusammenhang. Eine Kraft braucht man um einen Körper – um die Bewegung eines Körpers zu verändern. Also es gilt ja, also das erste Newton'sche Axiom. Das sagt ja, dass ein Körper, wenn keine Kraft auf ihn wirkt, sich also genauso weiterbewegt, wie er sich bewegt, oder eben auch nicht bewegt. Das heißt, um das zu ändern muss man eine Kraft auswirken. Das heißt, ja, es gibt einen Zusammenhang zwischen Bewegung und Kraft.
- 77 I Wie viele Kräfte dürfen maximal auf einen Körper wirken, ohne dass sich dieser bewegt?
- 78 S Beliebig viele, sie müssen sich nur gegenseitig auslöschen sozusagen. Also sie müssen in entgegengesetzte Richtungen wirken, so dass die Gesamtkraft eben null ist.
- 79 I Was verstehst du unter einem Kräfteparallelogramm?
- 80 S Ein Kräfteparallelogramm ist, wenn man eine Kraft aufspaltet in zwei Komponenten, die in einem anderen Zusammenhang halt mehr Bedeutung haben. Zum Beispiel jetzt bei der schiefen Ebene hat die Gravitationskraft jetzt, also sagt einem nicht wirklich viel. Da braucht man halt die beiden Komponenten, also die eine, die parallel zur Ebene ist und die andere, die normal zur Ebene ist. Und ein Kräfteparallelogramm stellt die eben, stellt das eben so dar, dass die beiden Komponenten zusammenaddiert die ursprüngliche Kraft ergeben.
- 81 I In welchen Situationen könnte ein Kräfteparallelogramm hilfreich sein?
- 82 S Ja, eben wie gesagt, das Beispiel mit der schiefen Ebene, da das fällt mir als erstes ein. Aber auch, eh, eigentlich immer, wenn man eine Kraft hat aber eigentlich das – zum Beispiel der nicht zentrale elastische Stoß, da hat man auch zwei – gut, da sind es jetzt keine Kräfte, sondern Geschwindigkeiten, aber ja trotzdem. Da hat man auch zwei Geschwindigkeiten, die in irgendwelche Richtungen zeigen, mit denen man nichts richtig anfangen kann und dass in solchen Situationen, eben, dass man das aufspaltet in zwei Komponenten, die normal und parallel zu einer bestimmten Ebene sind, die man braucht oder so, ja.
- 83 I Was verstehst du unter Arbeit?
- 84 S Arbeit ist ein, also ist Kraft mal Weg, also eine Kraft, die man über einen gewissen Weg ausübt auf einen Körper. Und mit Arbeit kann man, also wenn man Arbeit an einem Körper verrichtet, dann fügt man dem Energie zu, in irgendeiner Form. Das kann zum Beispiel kinetische Energie sein, oder potentielle Energie.
- 85 I Siehst du einen Unterschied zwischen Kraft und Energie? Falls ja, worin liegt der?
- 86 S Zwischen Kraft und Energie gibt es auf jeden Fall einen Unterschied. Erstens einmal Energie besitzt ein Körper, also Energie hat man sozusagen und Kraft kann nur auf einen wirken. Man hat keine Kraft. Eine Kraft wirkt erstens auch immer in eine Richtung; Energie ist kein Vektor; Energie ist ein Skalar. Das ist einfach eine Eigenschaft von einem Körper in einem gewissen Zustand. Und eine Kraft ist, ja, wirkt auf einen Körper, ja, hat eben eine Richtung.
- 87 I Siehst du einen Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie? Falls ja, beschreibe diesen.
- 88 S Ich sehe einen Zusammenhang, nämlich mit Arbeit kann man eben einem Körper oder einem System oder sonst irgendwas Energie zuführen. Das kann eben wie gesagt sein, indem man ihn hochhebt - potentielle Energie - oder anschubst sozusagen – kinetische Energie. Aber auch wenn man zum Beispiel ein Gas hat und da dann mit einem Kolben das zusammendrückt, dann verrichtet man auch Arbeit und fügt so dem System auch Energie hinzu.
- 89 I Was weißt du über Auftrieb?

- 90 S Auftrieb ist, findet dann statt, wenn man einen Körper hat, der in einem Medium wie einer Flüssigkeit oder einem Gas sich befindet und es eine konstante Kraft gibt – Schwerkraft zum Beispiel, die in eine Richtung zeigt. Der Auftrieb beschreibt die ... also der Auftrieb, der auf einen Körper wirkt, äh, der Auftrieb, den ein Körper hat, der im Wasser ist, zum Beispiel, ist genauso groß, wie die Schwerkraft von dem Wasser, das verdrängt wurde.
- 91 I Unter welchen Bedingungen kann ein Körper auf einer Flüssigkeit schwimmen?
- 92 S Wenn die Dichte von dem Körper geringer ist als die Dichte von der Flüssigkeit, weil dann ist die Gewichtskraft von dem Wasser, das verdrängt wird, immer größer als die Gewichtskraft von dem Körper selbst. Das heißt der Auftrieb ist größer als die Schwerkraft und dadurch schwimmt er.
- 93 I An welcher Stelle eines Körpers kann man diesen auf nur einem Finger balancieren?
- 94 S Beim Schwerpunkt.
- 95 I Erkläre, wie du praktisch vorgehen würdest, um diesen Punkt bei einem Körper zu finden.
- 96 S Praktisch vorgehen würde ich so, dass ich, ja, mit Augenmaß sozusagen abschätze, wo der Schwerpunkt ca. ist und dann einfach ihn balanciere und schaue, was passiert. Dann weiß ich, ob ich ihn getroffen habe, oder nicht. Und das halt dann justieren.
- 97 I Gut, vielen Dank, das war's; wir sind am Ende. Danke für deine Zeit und dein Engagement und deine Mühe. Sollte dir noch irgendetwas einfallen, was du in deinem Nachinterview ergänzen möchtest, kannst du mir das in den nächsten, wenigen Tagen gerne noch schreiben. Danke, schönen Abend!
- 98 S Ja. Schönen Abend!

10.9 Physik-Olympiade Formelsammlung

Physik-Olympiade Formelsammlung
Seite 1 von 5

WICHTIGE PHYSIKALISCHE GRÖßEN UND KONSTANTEN:

Fallbeschleunigung (mittlere)	g	$= 9,807$	$m \cdot s^{-2}$
Gravitationskonstante	G	$= 6,673 \cdot 10^{-11}$	$m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$
Erdmasse	M_E	$= 5,974 \cdot 10^{24}$	kg
Sonnenmasse	M_S	$= 1,989 \cdot 10^{30}$	kg
Erdradius	R_E	$= 6,371 \cdot 10^6$	m
Astronomische Einheit	$1 AE$	$= 1,496 \cdot 10^{11}$	m
Lichtjahr	$1 Lj$	$= 9,461 \cdot 10^{15}$	m
Absoluter Nullpunkt	T_0	$= -273,15$	$^{\circ}C$
Tripelpunkt von Wasser	T_t	$= 273,16$	K
Universelle Gaskonstante	R	$= 8,315$	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
Boltzmann-Konstante	k	$= 1,381 \cdot 10^{-23}$	$J \cdot K^{-1}$
Loschmidt'sche Zahl (Avogadro-Konstante)	N_L	$= 6,022 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Molares Gasvolumen bei Normalbedingungen	V_0	$= 2,241 \cdot 10^{-2}$	$m^3 \cdot mol^{-1}$
Normal-Luftdruck auf Meereshöhe	p_0	$= 1,013 \cdot 10^5$	Pa
Atomare Massenzahl	$1 u$	$= 1,661 \cdot 10^{-27}$	kg
Elementarladung	e	$= 1,602 \cdot 10^{-19}$	$A \cdot s$
Faraday-Konstante	F	$= 9,649 \cdot 10^4$	$A \cdot s \cdot mol^{-1}$
Ruhemasse eines Elektrons	m_e	$= 9,109 \cdot 10^{-31}$	kg
Ruhemasse eines Protons	m_p	$= 1,673 \cdot 10^{-27}$	kg
Ruhemasse eines Neutrons	m_n	$= 1,675 \cdot 10^{-27}$	kg
Elektronenvolt	$1 eV$	$= 1,602 \cdot 10^{-19}$	J
Elektrische Feldkonstante im Vakuum	ϵ_0	$= 8,854 \cdot 10^{-12}$	$A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$
Magnetische Feldkonstante im Vakuum	μ_0	$= 1,257 \cdot 10^{-6}$	$V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$
Lichtgeschwindigkeit	c	$= 2,99792 \cdot 10^8$	$m \cdot s^{-1}$
Wien'sche Konstante	b	$= 2,898 \cdot 10^{-3}$	$m \cdot K$
Stefan-Boltzmann-Konstante	σ	$= 5,671 \cdot 10^{-8}$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
Solarkonstante	S	$= 1,367 \cdot 10^3$	$W \cdot m^{-2}$
Intensität an der Hörschwelle	I_0	$= 10^{-12}$	$W \cdot m^{-2}$
Rydberg-Konstante (für Wasserstoff)	R_{∞}	$= 1,097 \cdot 10^7$	m^{-1}
Planck'sches Wirkungsquantum	h	$= 6,626 \cdot 10^{-34}$	$J \cdot s$
Drehimpulsquantum	$\hbar$	$= 1,055 \cdot 10^{-34}$	$J \cdot s$
Bohr'sches Magneton	μ_B	$= 9,274 \cdot 10^{-24}$	$A \cdot m^2$
Feinstrukturkonstante	α	$= \frac{1}{137}$	

MECHANIK

Dichte

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Durchschnittsgeschwindigkeit

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

Durchschnittsbeschleunigung

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Newton'sches Axiom (Aktionsprinzip)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Gravitationsgesetz

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

3. Keplergesetz / Planetenbahnen

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3$$

Schwerkraft (nahe Erdoberfläche)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}$$

Reibungskraft

$$F_R = F_N \cdot \mu$$

Hooke-Gesetz / Federkraft

$$\vec{F} = -k \cdot \Delta \vec{x}$$

Statischer Auftrieb

$$F_A = \rho \cdot V \cdot g$$

Dynamischer Auftrieb

$$F_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_A \cdot A \cdot v^2$$

Reibungswiderstand für turbulente Strömungen

$$F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_W \cdot A \cdot v^2$$

Stokes-Gesetz / Reibungswiderstand einer Kugel für laminare Strömungen

$$F_W = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

Oberflächenspannung

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{\Delta F}{\Delta s}$$

Druck

$$p = \frac{F}{A}$$

Hydrostatischer Druck

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Aerostatischer Druck

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho \cdot g \cdot h}{p_0}}$$

Bernoulli-Gleichung

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h + p = \text{const.}$$

Arbeit

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

Potentielle Energie

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

Kinetische Energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Federenergie

$$E_{\text{elast}} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Gravitationsenergie

$$W = G \cdot M \cdot m \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{E_{\text{ab}}}{E_{\text{zu}}}$$

Leistung

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Impuls

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Kraftstoß (Impulsänderung)

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Frequenz / Schwingungsdauer

$$f = \frac{1}{T}$$

Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Winkelbeschleunigung

$$\vec{\alpha} = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t}$$

Bahngeschwindigkeit

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

Bahnbeschleunigung

$$\vec{a} = \vec{\alpha} \times \vec{r}$$

Zentripetalbeschleunigung

$$a_Z = \omega^2 \cdot r = \frac{v^2}{r}$$

Zentripetalkraft

$$F_Z = m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Trägheitsmoment

$$I = \sum m_n \cdot r_n^2$$

Satz von Steiner

$$I = I_0 + m \cdot s^2$$

Rotationsenergie

$$E_{\text{Rot}} = \frac{I \cdot \omega^2}{2}$$

Drehimpuls

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega} = m \cdot \vec{r} \times \vec{v}$$

Drehmoment

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = I \cdot \vec{\alpha}$$

Drehimpulsänderung

$$\Delta \vec{L} = \vec{M} \cdot \Delta t$$

WÄRMELEHRE

Längenänderung

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Allgemeine Gasgleichung

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = N \cdot k \cdot T$$

Masse/Molmasse

$$m = M \cdot n$$

Isotherme Zustandsänderung

$$p \cdot V = \text{const}$$

Isochore Zustandsänderung

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

Isobare Zustandsänderung

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

Adiabatische Zustandsänderung

$$p \cdot V^\kappa = \text{const}$$

Adiabatexponent

$$\kappa = \frac{C_p}{C_V} = \frac{C_V + n \cdot R}{C_V}$$

Zusammenhang zwischen Energie, Temperatur und Freiheitsgraden

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot T \cdot f$$

Spezifische Wärmekapazität

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Molare Wärmekapazität

$$C_m = c \cdot M$$

Allgemeine Gaskonstante

$$R = N_L \cdot k$$

1. Hauptsatz der Wärmelehre

$$\Delta U = Q + W = Q - p \cdot \Delta V$$

2. Hauptsatz der Wärmelehre / Entropie

$$\Delta S = \frac{\Delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

Carnot-Wirkungsgrad

$$\varepsilon_c = 1 - \frac{T_k}{T_w}$$

Wärmeleitung

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

„k-Wert“

$$k = \frac{\lambda}{d}$$

Reihenschaltung bei Wärmeleitung

$$\frac{1}{k_{\text{ges}}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{k_1} + \dots + \frac{1}{k_N} + \frac{1}{\alpha_N}$$

Parallelschaltung bei Wärmeleitung

$$k_{\text{ges}} = \alpha_1 + k_1 + \dots + k_N + \alpha_N$$

Wärmestrahlung (Stefan-Boltzmann-Gesetz)

$$P_e = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Wien'sches Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = b = \text{const}$$

SCHWINGUNGEN UND WELLEN

Elongation / Harmonische Schwingung

$$y = r \cdot \sin \omega \cdot t$$

Geschwindigkeit / Harmonische Schwingung

$$v_y = r \cdot \omega \cdot \cos \omega \cdot t$$

Beschleunigung / Harmonische Schwingung

$$a_y = -r \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega \cdot t$$

Federpendel

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Fadenpendel / Mathematisches Pendel

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Physikalisches Pendel

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{I}{m \cdot g \cdot s}}$$

Wellengeschwindigkeit

$$v = \lambda \cdot f$$

Wellengeschwindigkeit auf elastischem Medium

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$$

Schallgeschwindigkeit in Gasen

$$v = \sqrt{\frac{\kappa \cdot R \cdot T}{M}}$$

Lautstärke (in dB)

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Dopplereffekt

$$f_B = \frac{c \mp v_B}{c \pm v_Q} \cdot f_Q$$

Gleichung der eindimensionalen Welle

$$y = r \cdot \sin \left[2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

Optik

Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Wellenlänge im Medium

$$\lambda_n = \frac{\lambda_0}{n}$$

Abbildungsmaßstab

$$\frac{B}{G} = -\frac{b}{g}$$

Abbildung an einer krummen Fläche

$$\frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

Linien- / Spiegelgleichung

$$\pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{g} \pm \frac{1}{b}$$

Linienbrennweite

$$\pm \frac{1}{f} = (n - 1) \cdot \left(\pm \frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2} \right)$$

Kombination zweier Linien

$$\pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{f_1} \pm \frac{1}{f_2}$$

Brechkraft (in dpt)

$$D = \pm \frac{1}{f}$$

Interferenzmaxima beim Mehrfachspalt

$$\sin \varphi_k = \frac{k \cdot \lambda}{d}$$

Interferenzminima beim Einfachspalt

$$\sin \varphi_k = \frac{k \cdot \lambda}{a}$$

Brewsterwinkel / Polarisation

$$\tan \alpha_p = n$$

ELEKTRIZITÄT

Satz von Gauß / Elektr. Fluss

$$Q = \varepsilon_0 \cdot \phi_{el} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E} \cdot \vec{A}$$

Elektrische Kraft

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot Q$$

Coulomb-Kraft

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Coulomb-Feldstärke

$$E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Elektr. Potential

$$\varphi = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$

Elektr. Verschiebungsarbeit

$$W = \Delta \varphi \cdot Q = U \cdot Q$$

Coulomb-Arbeit

$$W = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Ladung des Kondensators

$$Q = U \cdot C$$

Kapazität des Platten-Kondensators

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Elektrische Energie des Kondensators

$$E_{el} = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

Parallelschaltung von Kondensatoren

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Serienschaltung von Kondensatoren

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

Elektrischer Strom

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Ohm'sches Gesetz für den Widerstand

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Widerstand eines Drahtes

$$R = \frac{l}{A} \cdot \rho$$

Serienschaltung von Widerständen

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

Parallelschaltung von Widerständen

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

Kirchhoff-Regeln

$$\sum I_n = 0$$

$$\sum U_n = 0$$

Elektrische Stromarbeit

$$W_{el} = Q \cdot U = I \cdot U \cdot t$$

Elektrische Stromleistung

$$P_{el} = U \cdot I$$

Magnetische Feldstärke

$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu_r}$$

Magnetische Flussdichte in der Umgebung eines geraden Leiters

$$B = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$$

Flussdichte der idealen Spule

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$

Lorentzkraft

$$\vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) = l \cdot (\vec{I} \times \vec{B})$$

Kraft zwischen zwei parallelen Leitern

$$F = \frac{I_1 \cdot I_2}{r} \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot l$$

Kraft auf einen Magnetpol

$$F = \phi_m \cdot H$$

Magnetischer Fluss

$$\phi_m = B \cdot A$$

Induktionsspannung / Selbstinduktion

$$U_{ind} = -N \cdot \frac{d\phi_m}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Induktivität einer idealen Spule

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot A}{l}$$

Serienschaltung von Spulen (ohne Kopplung)

$$L_{ges} = L_1 + L_2 + \dots + L_N$$

Parallelschaltung von Spulen (ohne Kopplung)

$$\frac{1}{L_{ges}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N}$$

Magnetische Energie einer Spule

$$E_m = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Wechselspannung

$$U = U_0 \cdot \sin \omega \cdot t$$

Wechselstrom mit Phasenverschiebung

$$I = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t \pm \varphi)$$

Effektivspannung / -strom

$$U_{eff} = U_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad I_{eff} = I_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Wirkleistung bei Phasenverschiebung

$$P_{el} = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \varphi$$

Induktiver Blindwiderstand

$$X_L = (+) \omega \cdot L$$

Kapazitiver Blindwiderstand

$$X_C = (-) \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Impedanz

$$Z = \frac{U}{I}$$

Thomson-Formel für Resonanzfall

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Gleichung des idealen Transformators

$$\frac{U_P}{U_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

**QUANTENPHYSIK /
RELATIVITÄTSTHEORIE**

Rydberg-Formel für Wasserstoff

$$\frac{1}{\lambda_{vac}} = R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Einsteinformel für Photonenenergie /

Massenäquivalent

$$E = h \cdot f = m \cdot c^2$$

Heisenberg'sche Unschärferelation

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

Drehimpulsquantum

$$\hbar = \frac{h}{2 \cdot \pi}$$

Gamma-Faktor

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Zeitdilatation

$$t = t_0 \cdot \gamma$$

Längenkontraktion

$$l = l_0 \cdot \frac{1}{\gamma}$$

Relativistische Masse

$$m = m_0 \cdot \gamma$$

Relativistische kinetische Energie

$$E_{kin} = (m - m_0) \cdot c^2$$

RADIOAKTIVITÄT

Radioaktiver Zerfall

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$