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

Diagnose schwierigkeiterzeugender Merkmale anhand physikalischer Problemstellungen – die Perspektive von Lehrenden und Lernenden

Verfasserin:

Lea Mareike Freese

Frankfurt am Main

Gutachter:

Dr. Jan Winkelmann

Institut für Didaktik der Physik

Goethe-Universität Frankfurt am Main

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Theoretischer Hintergrund.....	3
2.1 Probleme und Problemlösen	3
2.1.1 <i>Definition eines Problems</i>	3
2.1.2 <i>Allgemeines Problemlösen</i>	5
2.1.3 <i>Fachspezifisches Problemlösen im Physikunterricht</i>	9
2.2 Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Probleme	11
2.2.1 <i>(Fehlender) Alltagsbezug</i>	17
2.2.2 <i>Fachsprache</i>	19
2.2.3 <i>Mathematisierung</i>	21
2.2.4 <i>Modellierung und Idealisierung</i>	23
2.2.5 <i>Komplexität</i>	26
3. Fachliche Einordnung.....	28
3.1 Sachanalyse.....	28
3.2 Didaktische Einordnung und Begründung der Mechanik	30
4. Forschungsfragen.....	33
4.1 Diagnose von Schülerschwierigkeiten.....	33
4.2 Identifikation von individuellen Hürden	34
5. Empirie	34
5.1 Studiendesign.....	35
5.1.1 <i>Vorstudie</i>	35
5.1.2 <i>Hauptstudie: Arbeitsphase</i>	35
5.1.3 <i>Hauptstudie: Reflexionsphase</i>	36
5.2 Werkzeuge	37
5.2.1 <i>Die Methode des Lauten Denkens</i>	37
5.2.2 <i>Reflexion durch Interviews</i>	39
5.2.3 <i>Materialien</i>	41
5.3 Methodisches Vorgehen	44
6. Auswertung der Studie	46
6.1 Deskriptive Darstellung der erhobenen Daten.....	46
6.1.1 <i>Vorstudie mit Experten</i>	46
6.1.2 <i>Hauptstudie mit Schülern</i>	46
6.2 Analyse der Ergebnisse.....	54
6.3 Diskussion	59
7. Zusammenfassung und Ausblick.....	65
7.1 Weiterführende Forschung	66
7.2 Implikationen für den Physikunterricht	67
8. Literaturverzeichnis	69
9. Anhangsverzeichnis	76
10. Rechtsverbindliche Erklärung	117

1. Einleitung

Seit den Anfängen der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung gilt Physik, noch stärker als die anderen naturwissenschaftlichen Fächer, als unbeliebt. Schülerinnen und Schüler¹ beklagen, dass der Physikunterricht zu den schwierigsten Fächern gehört. Dieser hohe Schwierigkeitsgrad wird gemeinhin als einer der Hauptgründe angenommen, weshalb der Physikunterricht nur wenige Schüler begeistert und häufig abgewählt wird. So bringt Ford (1989, S. 871) die verbreitete Meinung vieler Physiklehrer auf den Punkt: „Physics is not easy, and a course that pretends so is not honest to the student“. Auch Fruböse (2010, S. 388) berichtet, dass Physik unbeliebt bei Lernenden sei, „unabhängig von der Schulform und nicht nur in Deutschland“. Auch internationale Studien (vgl. Williams et al. 2003, Angell et al. 2004, Ornek et al. 2008, Bennet/Hogarth 2009) belegen seit Jahren die Unbeliebtheit des Schulfaches Physik, und die Ergebnisse vergangener PISA-Studien zeigen für Deutschland, nach dem sogenannten „PISA-Schock“ infolge der ersten Erhebung 2003, noch immer verbesserungswürdige Daten in den Naturwissenschaften (vgl. OECD 2016, S. 67).

Wenn im Unterricht ebendiese Schwierigkeiten zu verminderten Lernerfolgen bei den Schülern führen, steht die Lehrkraft vor der Aufgabe, die Ursachen der Probleme richtig zu diagnostizieren und entsprechende Fördermaßnahmen zu ergreifen. Hötteke und Wodzinski (2015, S. 2) stellen dar, dass die Diagnosekompetenz von Lehrern einen ganz entscheidenden Teil zum Lernerfolg von Schülern beiträgt, indem diese „Unterstützung erfahren, die an ihren Lernprozessen orientiert ist“. Die sogenannte „lernförderliche Diagnostik“ soll dazu beitragen, „möglichst viel über die Lernausgangslagen und Lernstände [der Schüler] zu erfahren“ (ebd., S. 3). Bei guter und erfolgreicher Diagnostik sowie konstruktivem Feedback verbessert sich das Lernklima in der Klasse, und auch die Lernbereitschaft der Schüler steigt signifikant. Die Autoren halten fest, dass „zahlreiche

¹ Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wird in der Folge das generische Maskulinum verwendet. Dieses schließt selbstverständlich stets die jeweilige weibliche Form (Schülerinnen, Lehrerinnen etc.) mit ein.

Aspekte des Unterrichts [...] zur Förderung des Lernens“ beitragen (Hötteke/Wodzinski 2015, S. 9). Ein elementarer Prozess im Physikunterricht ist dabei erfolgreiches Problemlösen, welches in Kapitel 2.1 definiert und am fachspezifischen Beispiel des Physikunterrichts dargestellt werden soll. Die Schwierigkeiten der Lernenden beim Lösen von Physikaufgaben entstehen durch verschiedene vermutete Merkmale, welche zwar einzeln empirisch belegt sind, jedoch ihre Auswirkungen auf die Empfindungen der Schüler noch nicht hinreichend erforscht sind. Die in dieser Arbeit untersuchten schwierigkeiterzeugenden Merkmale werden in Kapitel 2.2 vorgestellt: Basierend auf den vier Hauptbereichen, in die Merzyn (2008, S. 82) die Aussagen von Lernenden über ihre Hürden im Physikunterricht einordnet, wurden in einer qualitativen Fallstudie die Probleme beim Lösen von Physikaufgaben mit erhöhter Schwierigkeit in den Bereichen Fachsprache, Mathematik, Modellbildung sowie einem fehlenden Alltagsbezug untersucht. Obwohl diese Hauptbereiche sich häufig überlappen und nur wenig abgrenzbar sind (vgl. ebd.), sollte jeder von ihnen möglichst deutlich die jeweilige Aufgabe dominieren. Als Validierung der Materialien für die Hauptstudie diente daher eine Vorstudie mit Expertenbefragung, um die Aufgaben hinsichtlich der schwierigkeiterzeugenden Merkmale zu beurteilen. Als weiteres Ziel der Vorstudie galt es, über die Inter-Rater-Reliabilität Aussagen zur Güte der Materialien zu treffen. Die Ergebnisse der Studie sollen dazu dienen, einen besseren Einblick in die subjektiven Empfindungen von Schülern zu erhalten, wie sie verschiedene schwierigkeiterzeugende Merkmale in physikalischen Problemen wahrnehmen, erkennen und möglicherweise gezielt behandeln können. Daraus werden abschließend Implikationen für den Physikunterricht hergeleitet (Kapitel 7.2), um die Erstellung von Aufgaben zu verbessern und damit im Sinne der Diagnosekompetenz zu einer verbesserten Lernbereitschaft beitragen zu können.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Probleme und Problemlösen

Um eine Grundlage für die vorliegende Arbeit zu schaffen, sollen zunächst die theoretischen Hintergründe der zentralen Bereiche dargestellt werden. Daher steht im Zentrum dieses Kapitels die Definition eines Problems, um anschließend den Begriff des Problemlösens näher zu erläutern. Zunächst soll das allgemeine Problemlösen erklärt werden, mit einem kurzen Exkurs über das komplexe Problemlösen. Daraufhin wird das fachspezifische Problemlösen in den Naturwissenschaften, speziell im Physikunterricht, definiert. Das in diesem Kapitel dargebrachte Verständnis von Problemlösen wird später als Grundlage für die Empirie dieser Arbeit dienen.

2.1.1 Definition eines Problems

Bevor in diesem Unterkapitel das Problem in der kognitiven Psychologie definiert werden soll, müssen zunächst die beiden häufig verwendeten Begriffe Problem und Aufgabe unterschieden werden. In Anlehnung an Friege (2001, S. 19) werden die beiden Begriffe in der Regel synonym gebraucht, eine eindeutige Unterscheidung gibt es selten. Auch im Unterricht und im Alltagsgebrauch wird meist nicht zwischen Problem und Aufgabe unterschieden. Eine Aufgabe beschreibt dabei jedoch überwiegend einzelne Aufgaben(-teile), während das Problem eher als Sammelbegriff dient, woraus auch verwandte Begriffe wie das Problemlösen und andere abgeleitet sind (vgl. Friege 2001; zit. n. Brandenburger 2016, S. 94f). In dieser Arbeit werden die beiden Wörter demnach ebenfalls größtenteils synonym gebraucht, Ausnahmen sind an entsprechender Stelle gekennzeichnet und erläutert.

Nach der Definition von Dörner (1976; zit. n. ebd., S. 42) handelt es sich bei einer Situation um ein Problem, wenn sich eine Person in einem „unerwünschte[n] Anfangszustand“ befindet, jedoch einen Endzustand anstrebt, der diesem entgegengesetzt ist. Dazwischen liegt eine Barriere, die ihn daran jedoch hindert, seien dies fehlende oder der Person unbekannte Mittel oder aber eine Undefiniertheit dieses Endzustandes. Allerdings beinhaltet Dörners Definition, dass die Person den Wunsch hat, den Anfangszustand zu verlassen. Bezogen auf die Schule bedeutet dies, dass nach dieser

Definition viele Aufgaben nicht als Problem gelten, wenn Schüler nicht den Wunsch haben, diese zu lösen (vgl. Brandenburger 2016, S. 43). Seine Definition unterscheidet demnach zwischen den Begriffen Aufgabe und Problem, im Gegensatz zu der hier geteilten Auffassung von Friege (2001). Auch weitere Definitionen, beispielsweise von Smith (1991; zit. ebd., S. 45), haben mit Friege's Definition „die Suche nach der Lösung [als] zentrale Eigenschaft eines Problems“ gemeinsam. Erweitert bedeutet dies, auch für diese Arbeit, dass „jedes Item, das das Analysieren und Schlussfolgern (unter dem Vorhandensein von Verständnis der entsprechenden Domäne) beinhaltet[,] ein Problem“ (ebd., S. 146) ist. Daher wird, wie bereits eingangs erwähnt, nicht grundlegend zwischen den Begriffen Aufgabe und Problem unterschieden.

Bei der Einteilung von Problemen orientiert sich die Forschung in der Regel an gewissen Dimensionen, beispielsweise, gemäß der Definition von Dörner (s. o.), daran, ob das Ziel und die dafür erforderlichen Mittel vorhanden und bekannt sind (vgl. Dörner 1976; zit. n. Brandenburger 2016, S. 46). Friege dagegen (2001; zit. n. ebd., S. 48) orientiert sich bei der Einteilung von Problemen an schulischen und universitären Physik-Lehrbüchern. Er unterscheidet demnach zwischen drei domänenspezifischen Aufgabentypen. In Multiple-Choice-Aufgaben werden Antwortmöglichkeiten vorgegeben, was die Lösung der Aufgabe erleichtern kann, da eine Wahrscheinlichkeit besteht, durch Raten die richtige Lösung zu erhalten. Der zweite Typ, sogenannte Einsetzaufgaben, stellt die meistgesehene Art in Physiklehrbüchern dar. Um Einsetzaufgaben zu lösen, bedarf es in der Regel einfacher Formeln, die häufig vorgegeben sind oder mithilfe leicht verständlicher Variablen erschlossen werden müssen. Ein Verständnis größerer Zusammenhänge ist nicht notwendig. Diese sind für den dritten Aufgabentyp, die wissenszentrierten Probleme, jedoch essentiell. Diese „benötigen die Kenntnis einer Vielzahl von physikalischen Wissens-elementen“ (ebd.). Für ihre Lösung ist es demnach erforderlich, dass viele Elemente miteinander in Verbindung gesetzt werden. Das wissenszentrierte Problem steht im Vordergrund dieser Arbeit, an dessen Beispiel in den beiden nachfolgenden

Unterkapiteln auch das allgemeine sowie das fachspezifische Problemlösen definiert werden sollen.

2.1.2 Allgemeines Problemlösen

In vielen Bereichen des Lebens stellt das Problemlösen eine wichtige Aufgabe dar, ohne die es kaum zu bewältigen wäre. Brandenburger (2016, S. 3) bezeichnet Problemlösen als „wesentliche Voraussetzung für das Handeln in [...] einfachen Alltagssituationen, bei (natur-)wissenschaftlichen Fragestellungen oder bei komplexeren gesellschaftlich relevanten politischen und ökonomischen Problemen“. Immer und überall müssen Probleme gelöst werden, was sich nicht allein im Kontext der Schule abspielt, sondern auch im alltäglichen Leben zuhause oder in der Arbeitswelt.

Alltagsprobleme beschäftigten die Psychologie bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts, die Lösung solcher Probleme wurde beispielsweise von John Dewey mithilfe von Puzzeln untersucht (vgl. ebd.). Damit stammt die Problemlöseforschung aus dem „Bereich der Denk- und Gestaltpsychologie sowie der Psychoanalyse. Moderne Forschungsarbeiten gehen von kognitionspsychologischen Ansätzen aus“ (Stawitz 2010, S. 35). Komplexere und domänenspezifische Probleme, „auch aus dem schulischen und universitären Kontext“ (Brandenburger 2016, S. 4), wurden ebenfalls ab den 1980er Jahren thematisiert. Die Thematik des schul- und fachspezifischen Problemlösens ist Inhalt des nachfolgenden Unterkapitels.

Die Fähigkeit, Probleme aktiv zu lösen, wird in der Bildungsforschung als Problemlösekompetenz bezeichnet. Nach PISA ist diese definiert als

„[...] an individual's capacity to engage in cognitive processing to understand and resolve problem situations where a method of solution is not immediately obvious. It includes the willingness to engage with such situations in order to achieve one's potential as a constructive and reflective citizen“. (OECD 2014, S. 30)

Problemlösekompetenz bedeutet demnach, dass der Problemlöser – ähnlich der Definition von Dörner – bewusst und gewollt ein Problem angeht, um es zu lösen. Ziel dieses Prozesses ist es, über seine Umwelt konstruktiv reflektieren zu können. Die Problemlösekompetenz gilt als sogenannte Schlüsselkompetenz, da sie fächerübergreifend in allen Bereichen der Schule

erforderlich ist (vgl. Brandenburger 2016, S. 82). Damit ist sie nicht nur auf eine Art von Problemen beschränkt, sondern bereits eine teilweise Bearbeitung von Aufgaben bis hin zu einer „vollständige[n] Planung und Ausführung umfangreicher Projekte“ (ebd., S. 83) gilt als Problemlösen. Die fächerübergreifenden Lernziele, die PISA formuliert, möchten „zur Lösung schwieriger Probleme, zum kritischen Denken, zur Nutzung des verfügbaren Wissens in unvertrauten Situationen und generell zum Umgang mit Neuem“ (Weinert 2001; zit. n. Friege/Lind 2003, S. 64) anregen. Dabei wird sie mit der Intelligenzkomponente des schlussfolgernden Denkens verknüpft (vgl. ebd.). Inwieweit das schlussfolgernde Denken beim Lösen physikalischer Probleme hilft, wird im nachfolgenden Kapitel erörtert.

Jung (1985) unterscheidet zwei verschiedene Strategien, die beim Problemlösen zum Erfolg führen. Bei der sogenannten „forward-working“-Strategie wird eine Datenbasis deduktiv erweitert, bis das Problem gelöst ist oder prinzipiell keine Lösung möglich ist. Die „backwards-working“-Strategie dagegen, welche von geübten Problemlösern bevorzugt wird, arbeitet rückwärts von der Lösung aus, um den Weg dorthin zu rekonstruieren (vgl. Jung 1985, o. S.).

Des Weiteren unterscheidet auch PISA zwei unterschiedliche Typen von Problemlösen (vgl. Brandenburger 2016, S. 83). Auf der einen Seite steht das analytische Problemlösen, bei dem die relevanten Informationen angegeben oder einfach herzuleiten sind, während auf der anderen Seite das dynamische Problemlösen darin besteht, ohne Angabe aller Informationen ein nicht klar definiertes Ziel zu erreichen. Somit erfordert diese komplexe Art des Problemlösens zunächst eine eigenständige Untersuchung des Problems, um später zu einer Lösung zu gelangen. Da der Problemlösebegriff nach PISA jedoch ein sehr breit gefasster Begriff und nicht spezifisch genug für den allgemeinen, realen Physikunterricht ist, da er kaum Vorwissen voraussetzt (vgl. ebd., S. 89), eignet sich diese Definition nicht als Grundlage für die Studie dieser Arbeit. Stattdessen wird, wie in der Arbeit Brandenburgers, auf das Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) zurückgegriffen. In diesem Modell besteht der Prozess des Problemlösens aus drei Niveaustufen. Auf der ersten Stufe wird Wissen lediglich reproduziert, indem

beispielsweise die Formeln genannt werden, welche für einen physikalischen Zusammenhang notwendig sind (vgl. Brandenburger 2016, S. 128). Das Verständnis des Fachwissens ist erst auf der zweiten Stufe erforderlich, wenn es dazu eingesetzt wird, komplexere Zusammenhänge und Konzepte zu vernetzen und „Begründungen für physikalische Situationen“ (ebd.) liefert. Auf der dritten Niveaustufe wird das Wissen schließlich fachlich beurteilt, es handelt sich somit um eine Ebene der Reflexion des eigenen Wissens. Um also nach Friege (2001) wissenszentriert komplexere Probleme zu lösen, muss der Lernende sich aller drei Niveaustufen bedienen können. Nach dem Reproduzieren von Wissen und dem Verstehen von Zusammenhängen muss für eine Lösung immer auch die Richtigkeit beurteilt werden (vgl. Brandenburger 2016, S. 128f).

Komplexe Probleme zeichnen sich nach Frensch und Funke (1995, S. 5f) durch eine Reihe von Charakteristika aus, die ihre Komplexität bedingen und sie von herkömmlichen Problemen (gemäß der klassischen Definition Dörners, s. Kap. 2.1.1) absetzen. Das Lösen von komplexen Problemsituationen kam erstmals in den 1970er und 1980er Jahren auf, als computer-simulierte Szenarien zur Testung dieser Problemlösekompetenz eingesetzt wurden. In diesen wurden die Problemlöser „mit anderen Anforderungen konfrontiert, als sie etwa in herkömmlichen Intelligenztests gestellt werden“ (Funke 2006, S. 378). Zunächst ist ein komplexes Problem für den Problemlöser stets auf eine Weise neu, „dass diese Person mit der (komplexen) Problemlösesituation nicht gut vertraut ist“ (Friege 2001, S. 35). Des Weiteren bedeutet die Komplexität eines Problems, dass es beispielsweise viele Variablen enthält, welche im System miteinander verknüpft werden müssen, sowie die Art der Verknüpfungen und die Frage, ob und wie der Problemlöser die Variablenwerte selbst verändern kann (vgl. ebd.). Dieser Umstand zwingt ihn daher „zu einer Reduktion der großen Menge an Informationen und Antizipation von Nebenwirkungen“ (Funke 2006, S. 378). Komplexe Probleme können weiterhin auch eine zeitliche Dynamik aufweisen. So können diese sich einerseits „dynamisch entwickeln“, zum anderen können „zeitverzögernde Effekte auftreten“ (Funke 1991; zit. n. Friege 2001, S. 35f). Eine vierte Charakteristik von

komplexen Problemen ist ihre Intransparenz hinsichtlich der Bekanntheit von Variablen oder der Zusammenhänge des Systems (vgl. Friege 2001, S. 36). Weiterhin erfordert die Polytelie, also eine Vielzahl an Zielen, dass der Problemlöser Prioritäten setzen muss, um „ein Ausbalancieren widersprüchlicher, konfligierender Ziele“ (Funke 2006, S. 378) zu gewährleisten. Nicht alle genannten fünf Merkmale sind jedoch spezifisch nur auf komplexe Probleme zu beziehen (vgl. ebd., S. 380).

Beim komplexen Problemlösen stehen individuelle Unterschiede von Problemlösern im Vordergrund, da komplexe Probleme selbst, genau wie das benötigte Wissen zur Lösung, aus der Lebenswelt der Problemlöser stammen (vgl. Friege 2001, S. 39). Dies wird von Sternberg (1995; zit. n. ebd.) als Vorteil angesehen, jedoch ist häufig in solchen aufwendigen Situationen „eine reliable und valide Messung des Problemlöseerfolgs nicht möglich“ (ebd.). Aus diesem Grund wurden in der Empirie dieser Arbeit für drei der vier Aufgabenblätter keine komplexen, sondern wissenszentrierte Probleme gewählt (s. Kap. 5.2.3).

Der Prozess zur Lösung eines Problems gestaltet sich im Idealfall vierstufig (vgl. ebd., S. 59f). Zunächst ist eine Problemrepräsentation erforderlich. Diese dient als „semantische Repräsentation der Problembeschreibung, [sie] differenziert beispielsweise nach den beiden Dimensionen umgangssprachlich-fachsprachlich und abstrakt-konkret“ (ebd., S. 60). Die Repräsentation erfolgt zunächst durch das Erkennen wichtiger Objekte und ihrer Beziehungen untereinander, anschließendes optionales Anfertigen einer Skizze, was jedoch sehr hilfreich sein kann, und schließlich durch Verbalisieren des Problems und Entwickeln eines Lösungsansatzes (vgl. ebd., S. 61). Als zweiter Schritt wird ein Problemschema entwickelt. Dies kann einerseits dadurch geschehen, dass Vorkenntnisse über vergleichbare Probleme aus der Vergangenheit verwendet werden (vgl. ebd., S. 62), andererseits können einzelne Elemente von Faktenwissen miteinander verknüpft werden, um zu einem Schema zur Lösung zu gelangen (vgl. ebd., S. 63). Der dritte Schritt ist anschließend das Erarbeiten einer Lösung. Dieser Teil des Problemlöseprozesses „berücksichtigt die Notwendigkeit, dass der auf dem Problemschema beruhende Lösungsansatz entsprechend der

Problemrepräsentation ausgearbeitet werden muss“ (Friege 2001, S. 65). Jedoch kann dies zu weiteren Problemen führen, welche erst an diesem Punkt untergeordnet auftauchen. Daher sollten sowohl die zuvor gefundene Problemrepräsentation, als auch das gewählte Problemschema auf Fehler oder Lücken überprüft werden. Doch auch mit geeigneter Repräsentation und passendem Problemschema können beispielsweise Probleme „mathematischer Natur (Durchführen von algebraischen Umformungen, Abschätzungen, Näherungen, Differentiationen, Integrationen), auftauchen“ (ebd., S. 66). Zuletzt schließt der Problemlöseprozess mit einer Evaluation ab, bei der „alle vom potentiellen Problemlöser [...] beschriebenen Problemlöseprozesse auf ihre Richtigkeit“ (ebd., S. 67) überprüft werden, um die Wahrscheinlichkeit auf eine korrekte Lösung zu erhöhen. Derartige Evaluationen können jedoch bereits während des Problemlöseprozesses, nach Teilschritten, unternommen werden. Der beschriebene Problemlöseprozess nach Friege mit fachspezifischem Bezug auf den Physikunterricht wird im nachfolgenden Kapitel beispielhaft erneut aufgegriffen.

2.1.3 Fachspezifisches Problemlösen im Physikunterricht

Im naturwissenschaftlichen Unterricht, besonders im Fach Physik, wird das Fachgebiet des Problemlösens ebenfalls erforscht (vgl. Stawitz 2010, S. 41). Aktuell wird die Frage besonders durch die internationalen Schulleistungstudien PISA und TIMSS aufgeworfen, wie es um die Problemlösekompetenz der Schüler in den Naturwissenschaften steht. Da diese als Schlüsselkompetenz betrachtet wird und auch in den Kerncurricula der Kultusministerien verordnet ist, erhält sie eine hohe Bedeutung für den Physikunterricht (Brandenburger 2016, S. 4). Dort „nehmen Probleme, beispielsweise in Form von Übungsaufgaben oder zur Leistungskontrolle [...] einen wichtigen Platz ein“ (ebd.). Brandenburger untersucht in ihrer Arbeit die Einflussfaktoren für erfolgreiches Problemlösen im Fach Physik am Beispiel der Mechanik, wobei sie neben dem domänenspezifischen Fachwissen „auch kognitiv-emotionale Einflüsse (z.B. das Selbstkonzept)“ (ebd., S. 5) einbezieht, welche in der Vergangenheit im Zusammenhang mit Problemlösen nicht erhoben wurden.

Im Physikunterricht gestaltet sich der vierstufige Problemlöseprozess nach Friege (2001, S. 59), wie bereits im vorherigen Kapitel 2.1.2 dargestellt, fachspezifisch anhand physikalischer Probleme. Diese sind in der Schule meist „nicht in der Sprache der Physik formuliert [...]. Das eigentliche physikalische Problem muss vom Problemlöser zunächst erkannt und in physikalischen Fachtermini ausgedrückt werden“. Entsprechende physikalische Probleme behandeln beispielsweise bekannte Alltagssituationen oder Naturphänomene, jedoch auch die Funktionsweise von technischen Apparaten (vgl. ebd.). Bezüglich der Evaluationen physikalischer Problemlöseprozesse unterscheidet Friege zwischen dem Beruf des Physikers oder Ingenieurs und dem Schulalltag, wodurch ihnen domänenspezifisch eine unterschiedlich hohe Bedeutung beigemessen wird. So „stellt die Evaluation der in der Regel wissenszentrierten Probleme [im Beruf] einen festen Bestandteil der Lösung selbst dar [...], denn gegen die meist fatalen Konsequenzen [...] eine[r] ,falsche[n]‘ Lösung [...] gilt es sich abzusichern“ (ebd., S. 67). In der Schule spielen Evaluationen eines Problemlöseprozesses meist jedoch nur eine untergeordnete Rolle, da von der Lehrkraft präsentierte Lösungen als richtig angesehen werden und die Schüler ihre eigens durchgeführten Prozesse in der Regel nicht evaluieren müssen (vgl. ebd.).

Problemstellungen im Physikunterricht ergeben sich aus der Realität. Um sie für die Schüler angemessen aufzubereiten, werden sie mithilfe von Idealisierungen und Vereinfachungen repräsentiert. Dazu werden physikalische Modelle ausgewählt, welche diese lebensweltlichen Phänomene fachlich darstellen. Über die modellhaften Repräsentationen werden Wege gefunden, um mithilfe von mathematischen Werkzeugen die Lösung des Problems zu erhalten. Die Evaluation stellt schließlich wieder einen Bezug zur Realität her, die Schüler müssen also für sich selbst prüfen, ob das Ergebnis zur Realität passt und Sinn ergibt (vgl. Brandenburger 2016, S. 123). Demnach spielen mehrere Charakteristika beim Problemlöseprozess eine Rolle, die in seinem Verlauf auch Schwierigkeiten erzeugen können. Eine Auswahl dieser sogenannten schwierigkeiterzeugenden Merkmale, die im Zuge dieser Arbeit untersucht werden sollen, wird im nachfolgenden Unterkapitel ausführlich vorgestellt.

2.2 Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Probleme

Wie bereits eingangs erwähnt, hängt die Unbeliebtheit des Physikunterrichts auch mit seinem Schwierigkeitsgrad zusammen, welcher von Schülern in der Mehrheit der Fälle als sehr hoch eingeschätzt wird. Die in der Einleitung zitierte Aussage, Physik sei schwer und wer das Gegenteil behaupte, belüge die Lernenden, relativiert Ford (1989, S. 871) in seinem Gastbeitrag jedoch schnell. Er stimmt nicht mit der Meinung vieler Physiker überein, dass Physik als Disziplin „intrinsically more difficult“ als andere Fächer sei. Seiner Ansicht nach sei die Physik natürlich, wie ein solides Grundverständnis jedes anderen Faches auch, mit entsprechender intellektueller Arbeit verbunden. Die Annahme, Physik sei „more demanding than almost all others, a discipline that only a few are capable of comprehending“ (ebd.), sei eine typische Argumentation vieler seiner Fachkollegen. Er sieht demnach die Schwierigkeit der Physik nicht in der Disziplin selbst, sondern in ihrer didaktischen Vermittlung:

„We have, indeed, been so successful in selling ourselves as masters of occult knowledge that the average person, if confused by a physicist's explanation, blames himself or herself for deficient brainpower, not the physicist for deficient pedagogic skill.“ (ebd.)

Ford vergleicht die Disziplin Physik mit einer steilen Klippe, welche erklommen werden muss, was erfahrungsgemäß eine Herausforderung für Heranwachsende darstelle, die im Teenageralter zum ersten Mal mit Physik konfrontiert werden. Diese Klippe sei jedoch menschengemacht und kein intrinsisches Merkmal der Disziplin selbst, und die Schwierigkeit der Physik entstehe, „because we have failed to provide any gradual path to its top“ (ebd., S. 871f). Ford spricht von der „absence of a learning ramp“ (ebd., S. 872) in der früheren Bildung, welche zu den Problemen vieler Schüler im späteren Verlauf des Physiklernens führt. Die allgemeine Meinung gegenüber der Disziplin bezeichnet er als „priesthood syndrome“ (ebd.): es sei verlockend, von Beginn an davon auszugehen, dass Physik zu schwer für Lernende sei, und sich nicht weiter damit beschäftigen zu müssen.

Aktuellere Publikationen greifen das Thema des unbeliebten Physikunterrichts ebenfalls auf. Fruböse (2010, S. 388) spricht im Zusammenhang von deutschen und internationalen Studien zur Beliebtheit von Physik bei

Schülern von einem „niederschmetternden[n] Bild“. Trotz immerhin etwa einem Achtel Physikliebhabern, überwiegen die Schüler, die Physik gänzlich ablehnen, bedeutend. Dieser Kontrast stelle für Lehrer eine besondere Herausforderung im Unterricht dar, da sich „in jeder Klasse tendenziell zwei Gruppen mit völlig unterschiedlicher Interessenslage gegenüberstehen“ (Fruböse 2010, S. 388). Diese Polarität von wenigen Liebhabern und einer deutlich höheren Anzahl jener, die dem Physikunterricht ablehnend gegenüberstehen, stellt eine unterrichtspraktische Gratwanderung für die Lehrkraft dar, „welche die divergenten Bedürfnisse der beiden Gruppen ausbalanciert“ (ebd., S. 389):

„Einerseits muss es gelingen, einen größeren Anteil der Schüler für den Physikunterricht zu interessieren oder wenigstens die totale Gegnerschaft einer solch großen Gruppe zu vermeiden, denn andernfalls ist der Unterricht für sie sinnlos [...]. Andererseits macht es wenig Sinn, den Unterricht derartig weiterzuentwickeln, dass zwar mehr Schüler ihren Frieden mit diesem Fach machen, aber man gleichzeitig die intrinsisch interessierten Fans verliert.“ (ebd., S. 388)

Fruböse vergleicht das Erlernen einer physikalischen Denkweise mit dem Mutterspracherwerb als Kleinkind, welcher „unserer Natur wohl näher als das physikalische Denken“ (ebd., S. 390) liege, und auch nach vielen Jahren der schulischen Bildung „ist selbst einem großen Anteil der akademischen Bevölkerung diese Denkweise irgendwie fremd und suspekt geblieben, auch wenn ihr Wert [...] als durchaus bedeutsam eingeschätzt wird“ (ebd.).

Auch Merzlyn (2008, S. 15) beleuchtet ein klares Bild davon, wie unbeliebt die naturwissenschaftlichen Fächer sind. In seinem Vergleich von großen Studien zur Beliebtheit der Naturwissenschaften ist seit den 1960er und 1970er Jahren ein Einstellungswechsel im zunehmenden Alter der Kinder festzustellen. So ist zu Beginn der Sekundarstufe I „die Einstellung zum Physikunterricht einheitlich positiv“ (ebd., S. 18). Bereits nach fünf Jahren geht diese positive Einstellung gegenüber dem Fach Physik jedoch bei einem großen Teil der Schüler stark zurück: „Jahr für Jahr hat es im Mittel weitere 10 % des Altersjahrgangs als Sympathisanten eingebüßt“ (ebd.). Trotz der Unbeliebtheit des Faches ist die gesellschaftliche Relevanz von Physik den Schülern durchaus bewusst (vgl. ebd., S. 69). So erkennen sie „deutlich die vielfältigen Fortschritte und Vorteile, die den Naturwissenschaften und der

Technik zu danken sind“ (Merzyn 2008, S. 70). Physik wird im Alltag und in der Lebenswelt als wichtig und positiv aufgefasst, jedoch wenden sich trotzdem viele Schüler von dieser Disziplin in Form des schulischen Unterrichts ab, „*obwohl* sie von der Bedeutung der beiden Disziplinen überzeugt sind und obwohl sie deren positive Wirkungen durchaus wahrnehmen“ (ebd., S. 71, Hervorhebung im Original). Diese Zerrissenheit wird damit begründet, dass in dem einen Fall die Schüler aus einer objektiven, externen Perspektive, also „mit der Nüchternheit und Neutralität eines außenstehenden Beobachters“ (ebd., S. 72), und im anderen Fall aus einer subjektiven und persönlichen Perspektive auf die Frage nach der Disziplin Physik antworten. Diese persönliche Perspektive bildet erwiesenermaßen ab, wie der subjektive Eindruck der Schwierigkeit von Physik für Schüler steigt. Hoffmann und Lehrke (1985; zit. n. ebd., S. 75f) deuten in ihrer Studie zur Schwierigkeit im Laufe der Sekundarstufe I an, dass sich der Eindruck der Schüler für die meisten Fächer mit der Zeit nicht signifikant verändert. Die Fächer Chemie, Mathematik, Fremdsprachen und eben Physik werden jedoch bereits in der 5. Klasse als schwieriger als der Rest eingeschätzt, und dieser Eindruck verstärkt sich sogar mit steigendem Alter.

Merzyn (2008) sammelte die Eindrücke der Schüler und kategorisierte die Gründe für die Schwierigkeit in vier große Bereiche. Diese Kategorien sind demnach a) die Fachsprache, b) der Gebrauch von Mathematik sowie quantitativen Berechnungen, c) physikalische Aussagen, die der Erwartungshaltung aus dem Alltag widersprechen, und d) der hohe Grad an Abstraktheit sowie die „Unanschaulichkeit von Darstellungsweisen, Gesetzmäßigkeiten und Modellbildungen“ (ebd., S. 82). Diese vier Hauptbereiche lassen sich in der Schulpraxis nur schwer voneinander trennen, da sie sich vielfältig überschneiden. Jedoch wurde jeder von ihnen bereits einzeln empirisch untersucht. Zur Definition der Bereiche dient dieses Kapitel. In den nachfolgenden vier Unterkapiteln werden die vier Merkmale „Alltagsbezug“, „Fachsprache“, „Mathematisierung“ und „Modellierung“, sowie zusätzlich die Komplexität von Aufgaben, vorgestellt und dazugehörige Studien präsentiert. Die vier Bereiche nach Merzyn dienen als Grundlage für diese

Arbeit und bilden das Gerüst für die Studie, die in ihrem Rahmen durchgeführt wurde (s. Kap. 5).

Als mögliche historische Begründung für die empfundene Schwierigkeit des Faches Physik sieht Merzyn die Geschichte dieser Naturwissenschaft. Diese sei „voll von Beispielen, wie schwierig den Wissenschaftlern selbst die Gewinnung und Abgrenzung passender Begriffe war, wie um Formulierungen von Gesetzen gerungen wurde“ (Merzyn 2008, S. 83), was zu dieser sehr hohen Abstraktheit und damit Schwierigkeit führte. Die von Schülern als erhöht eingeschätzte Schwierigkeit im Schulfach Physik, verglichen mit anderen Fächern, erzeuge zwei negative Folgen. Zum einen verringern sich die Lernerfolge, da „Bruchstückhaftes dominiere[;] Schüler müssten wegen des zu hohen Niveaus das Dargebotene mehr oder wenig auswendig lernen; sinn- und bedeutungsvolles Lernen finde nicht statt“ (Merzyn 2010, S. 10). Zudem sinke durch einen höheren Schwierigkeitsgrad (und die damit verbundenen ausbleibenden Lernerfolge) das generelle Interesse der Schüler an dem Fach.

Studien zum Schülerinteresse am Fach Physik und anderen Naturwissenschaften wurden in den vergangenen Jahren auch international zahlreich durchgeführt. Eine Studie in Liverpool (England) vergleicht den Eindruck von Schülern der 10. Klasse zu Physik und Biologie miteinander. Dabei wurde eine Einschätzung von *very interesting* bis *very boring* sowie die Gründe dafür abgefragt (vgl. Williams et al. 2003, S. 324). Der Auslöser für diese Studie war ebenfalls der Umstand, dass „too few students elect to study physics at A-level and, subsequently, as undergraduates. This has led to a continuing shortage of physics graduates“, und in der Folge zu einem ernstzunehmenden Mangel an Physiklehrkräften. Der Hauptgrund für eine Einschätzung von Physik als *boring* war erneut der als hoch eingeschätzte Schwierigkeitsgrad (vgl. ebd., S. 326). Im Gegenzug sorgten laut der Studie jedoch „the content of the curriculum and the practical nature of the subjects“ (ebd., S. 327) dafür, dass sowohl Physik als auch Biologie als *interesting* eingeschätzt wurden. Als besonders beliebtes Thema, welches das Interesse der Schüler fördert, gilt dabei „space“ [...], perhaps because of its links to science fiction in the popular media“ (ebd.). Des Weiteren wurde die

Relevanz eines Faches als Indikator dafür ermittelt, wie *interesting* oder *boring* es aufgefasst wird (vgl. Williams et al. 2003, S. 328). Zudem bestätigt auch diese Studie, dass der wahrscheinlich deutlichste Faktor dafür, wie interessiert Schüler an einem Fach sind, seine Schwierigkeit ist. Ein hoher Schwierigkeitsgrad resultiert demnach in einer generellen negativen Einstellung gegenüber diesem Fach (vgl. ebd., S. 329).

Eine andere Studie zum Schülerinteresse an Physik aus Norwegen wurde 2004 von Angell et al. veröffentlicht. Auch diese Autoren beklagen, dass „the number of young people pursuing scientific and technological careers is too small to secure future needs for scientific and technological competence“ (Angell et al. 2004, S. 684f), was besonders gravierend in der Disziplin Physik zu beobachten sei. In der Studie wurde ebenfalls herausgefunden, dass Schüler die Physik zwar als abstrakt und theoretisch betrachteten, jedoch einen Bezug zur Lebenswelt sähen. Trotzdem gebe es auch hier eine Abhängigkeit vom jeweiligen Themengebiet: Inhalte des Abschlussjahrgangs wie Relativität, Quantenphysik oder Astrophysik würden als näher am täglichen Leben aufgefasst als die Themen der norwegischen Jahrgangsstufe 12, wie Mechanik oder Elektrizitätslehre. Dieses Paradoxon ließe sich damit erklären, dass beispielsweise „relativity and quantum physics are issues which sometimes emerge in conversations (also among non-physicists) and which fascinate and mystify [...]. Thus, pupils (paradoxically?) see these issues as more relevant to their everyday lives“ (ebd., S. 691).

In den USA forschten Ornek et al. (2008) über die Ansichten von 1400 Studenten in Einführungskursen der Physik sowie 400 Studenten höherer Semester. Die ermittelten Schwierigkeiten stammten nicht nur von den Konzepten der Physik, sondern auch von der Lehre der Physik an der Universität (vgl. ebd., S. 30). Trotzdem gaben die meisten Studenten an, dass ein ausbleibender Erfolg in dieser Disziplin ihrer eigenen Verantwortung unterliege (vgl. ebd., S. 34).

Im Jahr 2009 veröffentlichten Bennett und Hogarth eine Studie zu den Einstellungen von 280 Schülern im Alter von 11, 14 und 16 Jahren gegenüber den Naturwissenschaften allgemein. Die Studie wurde in England und Wales

durchgeführt. Auch sie stellten einen scharfen Rückgang in der Beliebtheit der Fächer fest. Während im Alter von 11 Jahren noch 39 % „science“ als eines ihrer Lieblingsfächer angaben, waren es bei den 14-Jährigen nur noch 26 % (vgl. Bennett/Hogarth 2009, S. 14).

Ein zentrales Thema in der Debatte um die Bedeutung von Physik, das an dieser Stelle noch angeführt werden soll, ist die sogenannte Scientific Literacy. Diese steht seit PISA 2000 der naturwissenschaftlichen Bildung im fachlichen Sinne gegenüber (vgl. Fischler et al. 2018, S. 11). Der Begriff setzt sich zusammen aus dem englischen Wort *literacy*, also der „Fähigkeit, die verschriftlichte Sprache aktiv und passiv zu verwenden“ (ebd., S. 17), und dem Naturwissenschaftsbegriff *science*. Seit den 1990er Jahren erhielt der Begriff der Literacy eine erweiterte Bedeutung durch die digitale zwischenmenschliche Kommunikation über Computer (vgl. ebd.). Diese neue Bedeutung setzte sich in das heutige Verständnis der Scientific Literacy fort, welches eine Grundbildung in den Naturwissenschaften bedeutet, die jeder Bürger erlangen sollte. Jedoch zeigt eine Studie aus dem Jahr 2007, dass in Deutschland nicht einmal ein Fünftel der Erwachsenen als naturwissenschaftlich gebildet bezeichnet werden konnten (vgl. Dorschu 2013, S. 5). Im Übrigen gilt für einige Forscher der Begriff Literacy für die Naturwissenschaften als umstritten, welche ihn „im Gegensatz zu Lesen und Mathematik [...] nicht als grundlegendes kulturelles Werkzeug“ (Stawitz 2010, S. 30) ansehen. Mit der wachsenden Bedeutung von Umweltthemen steigt jedoch auch das Bewusstsein und die Relevanz einer naturwissenschaftlichen Grundbildung, im Zuge einer „Berücksichtigung bei individuellen persönlichen Entscheidungen, bei denen naturwissenschaftliche Aspekte eine Rolle spielen (z. B. Gesundheit, Energieressourcen)“ (Fischler et al. 2018, S. 19). Daraus ergebe sich eine deutliche Konsequenz für den Lehrauftrag, denn „science education must somehow connect with the needs of society“ (Bybee 2008, S. 567). Diese Bedeutung für die Schule schlägt sich auch in den Lehrplänen und Kerncurricula der Bundesländer nieder. Neben dem dort formulierten Kompetenzbereich „Fachwissen“ zeigen die drei Bereiche „Kommunikation“, „Bewertung“ und „Erkenntnisgewinnung“, dass „sich die fachdidaktische und lernpsychologische Forschung in Deutschland

weniger auf das Wissen allein, sondern auf Kompetenzen, die Wissen umfassen“ (Fischler et al. 2018, S. 21), konzentriert.

So kann die physikdidaktische Forschung seit den 1990er Jahren bis heute auf die eingangs ausgeführte Position Fords zurückgeführt werden: „Physics – *real physics* – can be taught at many levels“ (Ford 1989, S. 872; Hervorhebung im Original). Physik muss also für den durchschnittlichen Schüler schmackhaft gemacht werden. Ein guter Weg dorthin ist eine möglichst geringe Dichte an schwierigkeiterzeugenden Merkmalen, von denen nachfolgend, in Anlehnung an die vier Hauptbereiche nach Merzyn (2008), eine Auswahl näher erläutert werden soll.

2.2.1 (*Fehlender*) *Alltagsbezug*

Beim Lösen von physikalischen Problemen ist die Einbeziehung von Alltagsphänomenen als Kontext in der Regel sehr hilfreich. Kontexte dienen auch der Schulung von Scientific Literacy (vgl. Dorschu 2013, S. 14). Indem Wissen auch auf andere Kontexte angewandt wird, sollen „eine stärkere Vernetzung des Wissens und Transferfähigkeit entstehen“ (ebd.). Aktuell steht der Physikunterricht in der Kritik, da „Begriffe und Inhalte im traditionellen Physikunterricht in einem reinen Schulkontext erlebt werden, welcher mit ‚der Welt draußen‘ kaum etwas zu tun hat“ (Müller 2006; zit. n. Vogt 2010, S. 6). Diese „synthetische[...] Wirklichkeit“ (ebd.) entsteht durch den Kontakt mit Begriffen, Gegenständen und Handlungen im Physikunterricht, welche im realen Alltag den Schülern nicht präsent sind. Der kontextorientierte Unterricht soll dieser Problematik entgegenwirken. Dabei orientieren sich die Fachdidaktiker an der „instruktionspsychologischen Theorie des Situierten Lernens“ (ebd.), nach welcher das Lernen immer in Kontexten und nie isoliert abläuft. Daher bedarf es entsprechender Alltagsbezüge, damit die Physik für die Schüler lebensnäher und auch problemorientierter wird. Für den Unterricht wird deshalb eine hohe Dichte an authentischen Problemen gefordert (vgl. ebd.). Auch in den Lehrplänen des Hessischen Kultusministeriums (HKM 2016, S. 18) wird dies thematisiert, um mit „Fragestellungen aus der Praxis der Forschung, technische[n] und gesellschaftliche[n] Fragestellungen und solche[n] aus der Lebenswelt der Lernenden“ die Lernprozesse im Unterricht zu begründen. Die Relevanz

dieser kontextualisierten Inhalte für ihre Zukunft muss jedoch den Schülern bewusst sein (vgl. Parchmann/Kuhn 2018, S. 194). Nur in einem solchen Fall wirken „die Beziehung eines Lerninhalts zu einer Zielgruppe oder Anwendungssituation (z. B. alltagsbezogen oder berufsbezogen) und die damit intendierte Wirkung als motivierend“ (ebd.). Über die damit entstehende Motivation entwickeln die Schüler zudem eine verbesserte Einstellung zum Physikunterricht (vgl. Merzyn 2008, S. 44). Die Vorstellungen von Alltagsphänomenen sind für die Schüler wie Vorwissen abrufbar (vgl. Lehner 2012, S. 132). Allerdings können auch fehlerhafte Vorstellungen existieren, welche es zu korrigieren gilt (s. Kap. 3.2).

Parchmann und Kuhn (2018, S. 195) unterscheiden damit zwei Richtungen des Kontexteinsatzes im Physikunterricht. Bei der inhaltsbezogenen Kontextualisierung wird der fachliche Inhalt des Lehrplans auf eine alltägliche Anwendung bezogen, um „damit die Relevanz des fachsystematischen Inhalts“ aufzuzeigen. In der anderen Richtung wird ein äußerer Kontext erzeugt, indem die Lernumgebung verändert wird. Dies ist beispielsweise bei außerschulischen Lernorten wie Museen der Fall, jedoch bedeutet auch die Schule selbst einen Kontext (vgl. ebd.). In dieser Arbeit ist bei Kontexten stets von einer inhaltsbezogenen Kontextualisierung und damit von Alltagsbezügen die Rede. Der Grad der Kontextualisiertheit lässt sich des Weiteren in niedrig und hoch einstufen. Niedrig kontextualisierte Probleme werden innerhalb eines physikalischen Modells behandelt, ohne dass darüber hinaus Eigenschaften der Phänomene genannt werden. Im Gegenzug beinhalten hoch kontextualisierte Probleme im Kern ein reales Phänomen oder Objekt, „aus deren vielfältigen Eigenschaften diejenigen identifiziert werden müssen, die zur Lösung des Problems relevant sind“ (Löffler/Kauertz 2015, S. 649).

Den Einfluss von Kontext auf den Erwerb von Wissen sowie auf die Schülereinstellung zu den Naturwissenschaften stellen Bennett, Lubben und Hogarth (2007) anhand von 61 untersuchten, internationalen Studien dar. Dabei kommen sie auf teilweise widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses. Zwar erkennen vier der verglichenen Studien einen positiven Effekt von Kontext auf die Lernleistung verglichen mit konventionellem

Unterricht, der Großteil jedoch (acht aus zwölf Studien) sieht dort keinen nennbaren Unterschied (vgl. Bennett et al. 2007, S. 357). Bezüglich affektiver Einflüsse auf die Einstellung zum Physikunterricht und anderen Naturwissenschaften ist ein eindeutigeres Ergebnis feststellbar. Hierbei erkennt eine überwiegende Mehrheit (sieben aus neun verglichenen Studien) einen positiven Einfluss (vgl. ebd., S. 363).

Als Nachteil von Kontextbezug im Physikunterricht in Bezug auf die Lernleistung von Schülern wird unter anderem vermutet, dass „context-based instruction [...] has been found to suppress transfer of knowledge to other contexts [...] because the knowledge becomes context-bound and not easily transferred to other similar situations“ (Taasobshirazi/Carr 2008, S. 163). Dies kann auch als Grund für die widersprüchlichen Ergebnisse der von Bennett et al. verglichenen Studien angenommen werden. Eine weitere mögliche Schwierigkeit bei kontextbasiertem Unterricht sind die sogenannten „seductive details“ (Harp/Mayer 1998, S. 414). Diese erhöhen zwar das Interesse der Schüler an einem physikalischen Problem, jedoch lediglich auf emotionaler Ebene. Dieser Umstand wirkt sich negativ auf die Lernleistung aus. Nach der „diversion hypothesis“ der Autoren bilden Schüler ihre mentale Repräsentation des Modells dann nicht auf Basis der strukturell wichtigen Informationen, sondern um die verführerischen Details herum, die in der Aufgabe präsent sind. Dies aktiviert Vorwissen, welches für die Lösung des Problems nicht relevant ist, und die Schüler konzentrieren sich auf eine unerwünschte Richtung des Problems (vgl. ebd., S. 415).

2.2.2 Fachsprache

Ein Merkmal, das insbesondere den Physikunterricht von anderen Schulfächern absetzt und für eine erhebliche Schwierigkeit sorgen kann, ist die dort verwendete Fachsprache, also „die sprachliche Abstraktionsebene mit einem gar nicht geringen Repertoire an Fachbegriffen“ (Fruböse 2010, S. 390f). Damit steht die Sprache in der Physik mit der Alltagssprache im Kontrast (vgl. Merzyn 2008, S. 83). Da jedes Thema neue Fachbegriffe hervorbringt, welche in das sprachliche Repertoire der Schüler aufgenommen werden, machen „die meisten Schüler kaum Anstrengungen [...], diese Fachbegriffe zu erlernen“ (Fruböse 2010, S. 391). Außerdem bekräftigt die Beherrschung

dieser Fachbegriffe durch den Lehrer die Schüler in ihrem Gefühl, dass die Distanz zwischen ihnen steigt und es entsteht „ein hierarchisches Gefälle [...], was den Zugang zum Fach und seine Beliebtheit sicherlich auch nicht erleichtert“ (Fruböse 2010, S. 391).

Auch die bereits eingangs beschriebene Scientific Literacy setzt ein angemessenes Verständnis von Fachsprache voraus (vgl. Rincke 2010, S. 235f). Doch trotz der hohen Relevanz eines angemessenen Fachspracheniveaus erzeugt diese bei den Schülern Schwierigkeiten, dem Physikunterricht zu folgen und physikalische Probleme zu lösen. Dem physikalischen Fachvokabular wird nachgesagt, es sei besonders definiert und genau (vgl. ebd., S. 236f). Betrachtet man die Fachbegriffe der Physik jedoch detailliert, fallen Merkmale auf, welche auch in der Alltagssprache auftreten, beispielsweise „Funktionsverbgefüge [...], Nominalisierungsgruppen [...] und komplexe Attribute statt Attributsätze[n]“ (ebd., S. 238). Zudem ergibt sich „ein besonderer Stolperstein“ (Merzyn 2008, S. 82), wenn Begriffe in beiden Domänen gebraucht werden, jedoch unterschiedliche Bedeutungen haben. Dazu zählen besonders die häufig verwendeten Begriffe „Kraft“, „Energie“ oder „Spannung“, welche außerfachlich in anderen Zusammenhängen zum Einsatz kommen als in der Physik. Diese Begriffe „werden erst durch ihre sprachliche Umgebung zu Fachbegriffen, also dadurch, wie sie mit anderen Wörtern zu Sätzen verbunden werden (und nicht durch einen vermeintlich physikalischen Kontext)“ (Rincke/Leisen 2015, S. 21). Dadurch entsteht für die Schüler „eine sprachlich ausgeprägte Konfliktlinie“ (Kiehl 2013, S. 10) und die alltagssprachlichen Aussagen der Schüler bedeuten etwas anderes als die gemeinten fachlichen Bedeutungen. Es lässt sich also festhalten, dass es sich bei Alltags- und Fachsprache aufgrund dieser Überschneidungen und Doppeldeutigkeiten nicht um eine Dichotomie handelt. Stattdessen sollten bei dem Vergleich immer Schülervorstellungen einbezogen werden (vgl. Rincke 2010, S. 242). Sowohl der andere Sinn als auch der Gebrauch dieser Begriffe muss von den Schülern im Physikunterricht verstanden werden, damit sie diese auch langfristig im Gedächtnis behalten (vgl. Kiehl 2013, S. 9). Der Kontrast zur Alltagssprache spielt beim Verstehen von abstrakten physikalischen Ideen eine besondere Rolle (vgl. ebd., S. 15). Somit kann auch

der Einbezug der Alltagssprache „durchaus nützlich sein, um [...] das Vorwissen der Schüler zu aktivieren und dieses gleichzeitig als Ausgangspunkt zur fachlich präziseren Erkundung der Physik zu nutzen“ (Kiehl 2013, S. 11).

Als Grundlage des Begriffs Fachsprache dient in dieser Arbeit das Verständnis der Bildungsstandards im Kerncurriculum des Hessischen Kultusministeriums (HKM). Darin wird mit dem Bereich „Kommunikation“, wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel angesprochen, der Sprache im Unterricht eine hohe Bedeutung zugestanden (vgl. HKM 2016, S. 21f). Probleme in der Kommunikation entstehen jedoch auch durch den Kontrast zwischen dem Sprachgebrauch des Lehrers und der Schüler selbst, in Bezug auf die genannten „context-specific specialized meanings, or the complexity of sentence structure and syntax used by the teacher“ (Ragout de Lozano/ Cardenas 2002, S. 592). Bezüglich einer Messung von Physikkompetenz erweist sich Sprache trotzdem als guter Indikator, da diese am häufigsten im alltäglichen Physikunterricht zur Überprüfung eingesetzt wird. Jedoch findet das Verstehen „meist in einem langen Prozess des sprachlichen Aushandelns statt“ (Leisen/Berge 2005, S. 26). Es gilt also anzumerken, dass auch die richtige Verwendung von Fachbegriffen nicht automatisch ein korrektes Physikverständnis bedeutet: „Wir alle wissen von den auswendig gelernten Merkgeln in bester Fachsprache und ahnen zugleich ein großes Nichtverstehen“ (ebd., S. 27).

2.2.3 Mathematisierung

Die Mathematik spielt in der Physik eine bedeutende Rolle. Sie fungiert einerseits als helfendes Werkzeug, um physikalische Zusammenhänge quantitativ zu erfassen. Zudem hilft die Mathematik bei der Formulierung präziser Aussagen über der Physik und dient damit auch als Kommunikationsmittel (vgl. Pospiech et al. 2015, S. 199). Auch zahlreiche grundlegende physikalische Konzepte bestehen aus mathematischen Operatoren, sodass sich Mathematik und Physik selten trennen lassen. Das Verständnis von Geschwindigkeit und Beschleunigung setzt beispielsweise Differentiale und Integrationen voraus (vgl. Uhden 2016, S. 14). Mathematik und Physik bedienen sich gegenseitig beieinander. Auch bekannte Physiker äußerten sich

in der Vergangenheit häufig zu der Verbundenheit der beiden Disziplinen. Sie betonen dabei die Mathematik „in ihrer strukturierenden und inhaltstragenden Funktion als essentieller Teil der Physik“ (Uhden 2012, S. 7). Für Albert Einstein (1991, S. 192) ist die Mathematik der „Schlüssel für das Verstehen der Naturerscheinungen“, da durch sie die Verknüpfungen der Natur erklärt werden können. Die Mathematik erfülle also eine schöpferische Funktion für die Physik (vgl. ebd., S. 191f). Somit lässt sich zusammenfassen, dass „there exists a non-trivial mutual relationship between physics and mathematics“ (Taşar 2010, S. 471).

Mathematisierung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Mathematik als zentrale Methode zur Erkenntnisgewinnung über die Welt verstanden wird. Zudem werden mithilfe der Mathematik Modellierungen angestellt, die Phänomene vorhersagen und verständlich machen können (vgl. Trump/Borowski 2012, S. 1). Ohne die quantitativen Werkzeuge der Mathematik und die Analogien zwischen physikalischen Gleichungen wäre ein solches Schlussfolgern über die Physik nicht realisierbar (vgl. Uhden 2012, S. 46f). Dem Merkmal des Modellierens im Physikunterricht widmet sich diese Arbeit nachfolgend in Kapitel 2.2.4.

Eine Mathematisierung des Physikunterrichts setzt in zunehmendem Maße in der Oberstufe ein, wenn durch mathematische Herleitungen die Aussagen der Physik begründet werden. Davor ist in der Auffassung der Schüler von der Physik diese Wechselseitigkeit zwischen Theorie und Praxis nicht präsent. „Schüler sehen die Arbeit eines Physikers im Durchführen von Experimenten, sein Arbeitsplatz ist das Labor. Die Arbeit theoretischer Physiker kommt in dem Bild der Schüler nicht vor“ (ebd., S. 8). Dieser Eindruck wird auch dadurch verstärkt, dass in der Erinnerung der meisten Menschen an ihre Schulzeit der Physikunterricht größtenteils aus Rechenaufgaben bestand. Jedoch wird diese Form des Unterrichtens verstärkt kritisiert, da Schüler häufig nur Werte in passende Formeln einsetzen und diese mathematisch lösen, ohne den physikalischen Zusammenhang dahinter zu verstehen (vgl. ebd., S. 8f). Die Annahme, dass die Physik nicht ohne Mathematik auskomme, ist in den Köpfen der Schüler und Lehrer fest verankert, da diese von vielen als Vorbedingung für das Verstehen von Physik

angesehen wird. Eine ältere Studie von Hudson und McIntire (1977, S. 470) zeigt jedoch, dass mathematische Fähigkeiten allein noch keinen Erfolg in der Physik garantieren können. Der Transfer der in der Mathematik erworbenen Kenntnisse in die Physik stelle ein Problem für viele Schüler dar (vgl. Taşar 2010, S. 472), die das passende Wissen nicht flexibel auf physikalische Probleme anwenden könnten und deshalb „zur Problemstellung inkonsistente mathematische Strategien“ (Uhden 2012, S. 9) verwendeten. Damit kann man festhalten, dass die Mathematik in der Physik den Schülern auf verschiedene Weise Probleme bereitet (vgl. Brandenburger et al. 2014, S. 294). Besonders hilfreich ist, wie bereits angesprochen, die Möglichkeit von klaren Formulierungen. Auch wenn dieser Einsatz der Mathematik für die Wissenschaft daher unverzichtbar ist, verursacht genau diese Funktion im Physikunterricht Schwierigkeiten (vgl. Merzyn 2008, S. 82). Den Schülern fällt es demnach schwer, „die Übersetzung von der Physik in die Mathematik sowie andersherum zu bewältigen“ (Trump/Borowski 2012, S. 1).

Diese entstehenden Probleme wirken sich auch auf das Interesse der Schüler am Physikunterricht aus. Die Beanstandung, dass der Einsatz von mathematischen Formeln und Berechnungen „ein Verständnis physikalischer Konzepte [behindere und] zu routinemäßigen und ‚sinnlosen‘ Rechen-tätigkeiten [führe] [...], ist durchaus ernst zu nehmen“ (Uhden 2016, S. 14). Daher werden vermehrt qualitativerer Unterrichtsansätze konzipiert, damit durch Mathematik erzeugte Schwierigkeiten nicht aufkommen. Dies wird zunehmend auch in den Lehrplänen thematisiert (vgl. Uhden 2012, S. 9).

2.2.4 Modellierung und Idealisierung

Ein Modell in der Physik ist definiert als die konzeptuelle Repräsentation eines realen Objekts, welches damit als Referent des Modells (vgl. Ragout de Lozano/Cardenas 2002, S. 589) oder seiner Elemente gilt. Sie kommen in unterschiedlichen Bereichen der Naturwissenschaften zum Einsatz (vgl. Giere 2004, S. 747). Dabei unterscheidet sich die umgangssprachliche Bedeutung des Begriffs „Modell“ jedoch von der naturwissenschaftlichen. Im Alltag ist er als Synonym für Abbildungen oder auch Vorbilder gebräuchlich, häufig in einem politischen Zusammenhang als Personen oder Konstrukte

(vgl. Kircher 2010, S. 736). Im Physikunterricht erfüllt ein Modell jedoch eher eine Hilfsfunktion (vgl. ebd., S. 737).

Modelle in den Naturwissenschaften zeichnen sich durch zwei wesentliche Merkmale aus. Das Abbildungsmerkmal beschreibt, dass ein Modell die Projektion eines Objekts ist (vgl. ebd., S. 741), während das Verkürzungsmerkmal bedeutet, dass ein Modell nur „eine Teilmenge der Attribute des Objekts“ (ebd., S. 743) erfasst. Es gibt demnach Elemente des Objekts, die das Modell nicht enthält. Dies hängt auch mit der Methode des Idealisierens zusammen. Idealisieren bedeutet, dass im theoretischen Modell Aspekte der Realität vernachlässigt werden, die den Gesamtzustand verkomplizieren würden (vgl. Lehner 2012, S. 144). Modelle sind auch immer subjekt- und zweckbezogen. Sie schließen daher das Urteil von Personen oder eine bestimmte Absicht mit ein, um Hypothesen über die Erfahrungswelt aufzustellen und zu analysieren (vgl. Krüger et al. 2018, S. 142). Da es sich bei Modellen um Systeme mit dynamischen Einflussvariablen handelt, können sie niemals als allgemein gültig angesehen werden, sondern unter Vorbehalt in einem bestimmten Anwendungsbereich (vgl. ebd.).

Die Bedeutung von Modellen in der Naturwissenschaftsdidaktik entwickelte sich erst spät, wie auch in der Disziplin Physik selbst lange davon ausgegangen wurde, dass alle Naturerscheinungen mithilfe der klassischen Mechanik zu erklären seien. Daher sollten historische Quellen nicht unreflektiert in den Unterricht eingebunden werden, damit Schüler nicht einen ähnlichen „naiv-realistischen Modellbegriff“ (Leisner 2005, S. 30) entwickeln. Heute haben theoretische Modelle in der Physik einen sehr hohen Stellenwert und sind aus der Disziplin nicht mehr wegzudenken. Gerade deshalb scheint es verwunderlich, dass keine eindeutige fächerübergreifende Definition von Modellen in den Naturwissenschaften festgelegt ist (vgl. Krüger et al. 2018, S. 141). Im Physikunterricht wird verlangt, dass auch der Schüler in den Modellbegriff einbezogen wird, damit er physikdidaktische Relevanz erhält (vgl. Kircher 2010, S. 735). Dabei macht den Reiz einer Einbeziehung von Modellen in den Unterricht die Tatsache aus, dass die Physik so gehandhabt wird, wie dies in der wissenschaftlichen Forschung der Fall ist. Für viele Schüler kann dies sehr motivierend sein (vgl. Leisen 1999,

S. 2). Im schulischen Kontext wird dafür eine hypothetisch-deduktive Methode gewählt, um zu einer naturwissenschaftlichen Erkenntnis zu gelangen. Nach der Formulierung einer Hypothese oder Fragestellung wird das Modell geplant, durchgeführt und schließlich ausgewertet und reflektiert (vgl. Rost/Tiemann 2016, S. 443). Zur Entwicklung von Modellkompetenz sollte dabei immer auch die „Nature of Science“, also ein Kennenlernen der Natur der Naturwissenschaften, im Unterricht stattfinden (vgl. Leisner 2005, S. 30). Daraufhin baut sich der Prozess der Kompetenzentwicklung schrittweise auf. Das Modellverständnis von Schülern im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht entspricht jedoch der bereits angesprochenen umgangssprachlichen Bedeutung und sie verstehen unter einem Modell eine Nachbildung von realen Gegenständen, meist Transportmitteln. Die Vorstellung von naturwissenschaftlichen Modellen, wie dem Atommodell, hat dagegen nur ein Zehntel der Schüler (vgl. Weerda 1982, S. 189). Daran sollte im Unterricht angeknüpft werden, damit das bestehende Verständnis im Sinne der neuen physikalischen Modelle revidiert werden kann (vgl. Leisner 2005, S. 35). Um dieses Ziel zu erreichen, sollten die Schüler selbst lernen, wie man bestehende Modelle auswählt, um physikalische Probleme zu lösen (vgl. ebd., S. 33). Da das Konstruieren eigener Modelle die Modellkompetenz von Schülern in der Regel überschreite, müssten die Schüler darin geschult werden, existierende Modelle für ihren Problemlöseprozess zu nutzen. Diese Fähigkeit könne „problemlos operationalisiert werden“ (Leisner 2003, S. 33).

Wie das Modellieren in den Physikunterricht eingebunden werden kann, soll an dieser Stelle erläutert werden. Da Modelle, wie bereits erwähnt, „theoretische Erkenntnisse mit der wahrnehmbaren Realität“ (Digel 2018, S. 1) verbinden, sollten sie auch im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt werden. Modelle können Wissen anwendungsfähig aufbereiten, und das Auswählen und Behandeln mehrerer Modelle auf einem Gebiet der Physik kann zu einem höheren Lernerfolg bei den Schülern führen (vgl. Harrison/Treagust 2000, S. 1023). Im Vergleich zum Fachwissen ist die Modellierungskompetenz jedoch auch in den Bildungsstandards der Kultusministerien noch unterrepräsentiert, was sich in einem fehlenden Kompetenzmodell dafür bemerkbar macht, sodass sie sich in Vergleichs-

studien schwer evaluieren lässt (vgl. Digel 2018, S. 1). Der hohe Wert der Anwendung physikalischer Modelle sollte daher im naturwissenschaftlichen Unterricht mehr Berücksichtigung finden (vgl. ebd., S. 26).

Abschließend gilt es noch zwischen mathematischem und physikalischem Modellieren zu unterscheiden (s. Kap. 2.2.3). Es stellt sich die Frage, ob sich die beiden Disziplinen voneinander abgrenzen lassen, oder ob physikalisches Modellieren nur mit mathematischer Beschreibung des Phänomens auskommt. Auch wenn in einer Betrachtung, wie beispielsweise der des idealen Gases, die mikroskopische Ebene ohne Mathematik modelliert werden kann, wird zwangsläufig in der Verbindung zur makroskopischen Ebene eine mathematische Beschreibung in Form von funktionalen Zusammenhängen erforderlich (vgl. Pospiech et al. 2015, S. 199). Damit nimmt die Mathematik auch in der Modellierung einen wichtigen Platz ein, was erneut die Verflochtenheit der Merkmale betont.

2.2.5 Komplexität

Ein weiteres Merkmal, das die Schwierigkeit in physikalischen Problemstellungen erhöht, ist das naheliegende Merkmal der Komplexität (vgl. Kauertz 2008, S. 45). Diese wird in der Studie dieser Arbeit nicht gesondert in Form eines Arbeitsblatts untersucht, jedoch soll sie an dieser Stelle ebenfalls kurz vorgestellt werden.

Komplexität beschreibt die Vielfalt eines Systems bezogen auf seine enthaltenen Zustände. Der lateinischen Wortherkunft nach bedeutet der Begriff *complexus* „Verknüpfung“, wonach sich ableiten lässt, dass die einzelnen Elemente des Systems miteinander auf einer Ebene so verknüpft sind, dass über sein Gesamtverhalten keine zuverlässigen Prognosen getroffen werden können (vgl. Lehner 2012, S. 21). Der Begriff ist objektiv und damit von der Kompliziertheit abzugrenzen, welche „die Beziehung zwischen einem Beobachter und dem Gegenstand der Beobachtung“ (ebd., S. 21f) fokussiert. In diesem Fall fehlt dem Beobachter notwendiges Wissen, um den Sachverhalt zu verstehen, es ist also ein subjektiver Begriff. Bezogen auf schulische Lerninhalte bedeutet dies, dass „komplex“ den Stoff oder das Stoffgebiet beschreibt, während ein für eine Gruppe komplizierter Lerninhalt

für eine andere Gruppe möglicherweise nicht kompliziert erscheint (vgl. Lehner 2012, S. 22). Im Gegensatz zu inhaltlicher Kompliziertheit lässt sich „inhaltliche Komplexität [...] auch durch Lernen nicht verringern. Die inhaltliche Komplexität wird aber eher ‚beherrschbar‘ bzw. bearbeitbar, wenn eine sinnvolle inhaltliche Auswahl getroffen wird“ (ebd.). Hierbei wird von einer verschobenen Fähigkeitsverteilung gesprochen (vgl. Kauertz 2008, S. 47). Auf dem ersten Komplexitätsniveau steht der Fakt, also der Inhalt selbst. Auf dem zweiten Niveau bestimmt die Anzahl dieser unverbundenen Fakten die Komplexität. Auf dem dritten Niveau wird die Komplexität schließlich über die Beziehung zwischen den Fakten erhöht. Dies kann durch die drei Verknüpfungsarten Abhängigkeit, Bedingung oder Kausalität der Fall sein. Die Schwierigkeit einer Aufgabe ergibt sich demnach daraus, wie stark ihre Komplexität dazu führt, dass sie nicht gelöst werden kann (vgl. ebd.).

Eine Möglichkeit, die Komplexität einer Aufgabe strukturell zu verringern, bietet die sogenannte didaktische Reduktion. Diese kommt immer dann zum Einsatz, „wenn umfangreiche und komplexe Sachverhalte aufbereitet werden, um sie für die Lernenden überschaubar und begreifbar zu machen“ (Lehner 2012, S. 9). Dabei werden durch Konzentration wesentliche Aussagen und Prinzipien zusammengefasst sowie durch Vereinfachung der Schwierigkeitsgrad an die Lernvoraussetzungen der Schüler angepasst (vgl. ebd., S. 10). Dies kann darüber geschehen, dass ein Sachverhalt um einige Elemente beispielhaft reduziert wird oder in einem Maße abstrahiert wird, um Kategorien zu schaffen (vgl. ebd., S. 12). Sowohl die inhaltliche Komplexität als auch die Stofffülle lassen sich didaktisch reduzieren. Letzteres erfolgt meist aufgrund einer begrenzten Unterrichtszeit, welche für ein Thema vorgesehen ist (vgl. ebd., S. 119). Interessanterweise werden komplexe Erklärungsmuster von Schülern höher wertgeschätzt. Sogar falsch erklärte, aber komplexe Sachverhalte werden teilweise eher als plausibel wahrgenommen als einfachere, dafür richtig erklärte Inhalte. Ein Grund dafür wird darin vermutet, dass „eine Bedeutungszuschreibung vom Erklärungsmuster auf die Person [erfolgt]: Komplexe Erklärungsmuster werden interessanten, schillernden Persönlichkeiten zugeschrieben“ (ebd., S. 23).

Weitere Merkmale, die die Aufgabenschwierigkeit erhöhen können, seien an dieser Stelle kurz erwähnt. Dazu gehört die Position der Aufgabe in einem Test. Es ist demnach relevant, ob eine Aufgabe am Anfang, in der Mitte oder am Ende eines Tests bearbeitet werden soll (vgl. Kauertz 2008, S. 53). Auch das Antwortformat ist entscheidend. Freie Antwortformate erhöhen im Vergleich zu gebundenen Antwortformaten die Schwierigkeit einer Aufgabe (vgl. ebd., S. 53f). Die verfügbare Zeit ist ebenfalls erwähnenswert. So „lassen sich Effekte durch eine begrenzte Testzeit feststellen, wenn die Schnelligkeit der Bearbeitung eine Rolle spielt“ (ebd., S. 54). Zuletzt hat es Auswirkungen auf die Problemlösefähigkeit von Schülern, wie groß der Abstand zwischen Lern- und Bearbeitungszeitpunkt ist (vgl. ebd.). Im Fall dieser Studie ist das bearbeitete Thema schon einige Wochen vor dem Erhebungszeitpunkt behandelt worden, was die Menge an richtig erinnerten Inhalten verringert. Alle genannten Merkmale lassen sich kaum vermeiden, wenn Kompetenztests erstellt werden, da auch organisatorische und ökonomische Einflüsse eine Rolle spielen (vgl. ebd.).

3. Fachliche Einordnung

Im Folgenden soll das physikalische Thema des freien Falls, welcher Gegenstand der Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit ist, sachlich dargestellt werden. Um die Themenwahl für diese Arbeit zu begründen, findet zudem eine didaktische Einordnung in die hessischen Lehrpläne sowie in das Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe statt.

3.1 Sachanalyse

Wenn bei einer Bewegung die Beschleunigung a konstant ist, wird sie als gleichförmig beschleunigt bezeichnet. Es gilt

$$\ddot{r}(t) = a = \text{const} \quad (1)$$

wobei es sich um eine Differentialgleichung zweiter Ordnung nach der Zeit handelt. Durch Integration ergibt sich die Geschwindigkeit

$$v(t) = \dot{r}(t) = \int a \, dt = a \cdot t + b \quad (2)$$

Die Integrationskonstante $\mathbf{b}$ entspricht der Anfangsgeschwindigkeit $\mathbf{v}_0$ zum Zeitpunkt $t_0 = 0$. Erneutes Integrieren von Gleichung (2) ergibt die Bahnkurve

$$\mathbf{r}(t) = \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2 + \mathbf{v}_0t + \mathbf{c} \quad (3)$$

wobei die Integrationskonstante $\mathbf{c}$ den Ort zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ bedeutet, also $\mathbf{c} = \mathbf{r}(0) = \mathbf{r}_0$.

Beim freien Fall handelt es sich um eine besondere Form der gleichförmig beschleunigten Bewegung. Die Bewegung verläuft in vertikaler z -Richtung und die Beschleunigung a_z entspricht auf der Erdoberfläche in Mitteleuropa dem Ortsfaktor $a_z = -g = -9,81\text{m/s}^2$. Mit gewählten Anfangsbedingungen, dass ein Körper am Zeitpunkt $t_0 = 0$ von der Höhe $z(0) = h$ fallengelassen wird sowie $x_0 = y_0 = 0$ und ohne anfängliche Geschwindigkeit $\mathbf{v}_0$, reduziert sich Ortsgleichung (3) zu

$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + h \quad (4)$$

und die Geschwindigkeitsgleichung (2) ergibt sich zu

$$v_z(t) = -gt \quad (5)$$

(vgl. Demtröder 2018, S. 41).

Bei vernachlässigter Luftreibung wird die Geschwindigkeit des Körpers demnach konstant größer. In der Realität ergibt sich jedoch ein Luftwiderstand, der den Körper abbremst, bis die Beschleunigung $\mathbf{a} = -g = 0$ beträgt. Ist dieser Punkt erreicht, fällt der Körper mit konstanter Geschwindigkeit $\mathbf{v}$. Der Luftwiderstand ist der Gewichtskraft des Körpers entgegengesetzt und berechnet sich zu

$$\mathbf{F}_w = c_w \frac{\rho}{2} \mathbf{v}^2 \cdot A \quad (6)$$

mit der Querschnittsfläche A , der konstanten Endgeschwindigkeit $\mathbf{v}$, der Luftdichte ρ sowie dem experimentell bestimmten Widerstandsbeiwert c_w , der von der Profilform des Körpers abhängt. Körper mit stromlinienförmigem Profil haben kleine Widerstandsbeiwerte, während Flächen oder hohle Halbkörper hohe Werte besitzen (vgl. ebd., S. 232f).

3.2 Didaktische Einordnung und Begründung der Mechanik

An dieser Stelle soll erläutert werden, warum sich der freie Fall für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Studie besonders gut eignet und wie dieses Themenfeld im Lehrplan und Kerncurriculum verortet ist.

Der freie Fall gehört zum Bereich der Kinematik, welche die Geometrie von Bewegungen beschreibt, und damit neben der Dynamik ein Teilgebiet der Mechanik ist. Die Kinematik wird in Hessen in der gymnasialen Oberstufe in der Jahrgangsstufe Einführungsphase (E-Phase) erstmals behandelt (vgl. HKM 2010, S. 22). Sie gilt als verbindlicher Unterrichtsinhalt, jedoch ist der freie Fall als ihr Teilgebiet im Lehrplan für die Oberstufe nicht gesondert aufgeführt. Im hessischen Kerncurriculum (HKM 2016, S. 29), welches die Bildungsstandards und Kernkompetenzen festlegt, ist der freie Fall dagegen im Themenfeld „Bewegungen und ihre Beschreibung“ unter „gleichmäßig beschleunigte Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit und -weg“ aufgeführt. Zu den Aufgabengebieten gehören demnach „experimentelle Datenerhebung, grafische Darstellung, Bestimmung der Gravitationsbeschleunigung, Diskussion der Abweichung zum Literaturwert, Formulierung eines mathematischen Modells, Ermittlung des Zeit-Weg-Gesetzes“ (ebd.).

Die Kompetenzbereiche „Fachwissen“, „Erkenntnisgewinnung“, „Kommunikation“ und „Bewertung“ greifen die in dieser Arbeit thematisierten schwierigkeiterzeugenden Merkmale ebenfalls auf. Bezüglich des Fachwissens sollen die Schüler „fachliche Kenntnisse konzeptbezogen darstellen, strukturieren und vernetzen“ (ebd., S. 19) können. Des Weiteren bedeutet die Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards, dass die Schüler „naturwissenschaftliche Modelle erarbeiten und in ihren Gültigkeitsbereichen anwenden“ (ebd., S. 20). Damit ist die Modellierung direkt Teil des Curriculums. Der Kompetenzbereich der Kommunikation erfordert ein Erschließen von „Informationen zu naturwissenschaftlichen Zusammenhängen“ (ebd., S. 21) sowie die Fähigkeit, fachlich zu kommunizieren (vgl. ebd., S. 22). Die Fachsprache wird damit in der gymnasialen Oberstufe bedeutender. Die Bildungsstandards beabsichtigen eine „Erweiterung von Sprachkompetenz, verstanden als das Beherrschen kulturell bedeutsamer Zeichensysteme“ (ebd., S. 4).

Die Wahl der Mechanik liegt einerseits darin begründet, dass dieses Themengebiet den Schülern beinahe täglich im Alltag begegnet. Damit repräsentiert sie die Erfahrungswelt der Lernenden und ist außerdem für Beobachtungen und Experimente einfach verfügbar, beispielsweise im Sport oder im Verkehr (vgl. HKM 2016, S. 28). Da in der Einführungsphase eine verstärkte Einbindung physikalischer Arbeitsweisen angedacht ist (vgl. HKM 2010, S. 22), eignet sich die Mechanik mit der mathematischen Beschreibung ihrer Vorgänge als Themengebiet besonders gut dafür (vgl. HKM 2016, S. 28). Die „Unverzichtbarkeit mathematischer Verfahren [...] insbesondere zur Lösung anspruchsvollerer Probleme auch des Alltags“ (ebd.) wird hier besonders deutlich. Dadurch wird auch das Gebiet des Modellierens im Kerncurriculum erneut betont:

„Die Lernenden nutzen dazu gegebenenfalls Vereinfachungen und rechtfertigen diese [...]. Indem die Lernenden Modelle nutzen, diese ggf. modifizieren und die nötigen mathematischen Verfahren anwenden, wird ihnen deutlich, dass physikalische Modelle nicht nur die Basis zahlreicher technischer Anwendungen, sondern auch zum Verständnis vieler Alltagsphänomene nötig sind.“ (ebd.: 28)

Die Mechanik birgt, möglicherweise gerade durch ihre Präsenz im täglichen Leben der Schüler, einige Verständnisschwierigkeiten. Fehlerhafte Schülervorstellungen ergeben sich, wie in Kapitel 2.2.1 bereits angesprochen, durch Alltagserfahrungen. Eine besonders verbreitete Vorstellung ist das Konzept von Geschwindigkeit und Beschleunigung, welches vielen Lernenden Schwierigkeiten bereitet. So ergab bereits im Jahr 1983 eine Studie, dass viele Schüler zwischen 11 und 16 Jahren der Ansicht sind, die Beschleunigung erhöhe sich, wenn sich die Geschwindigkeit ebenfalls erhöhe (vgl. Jones 1983, S. 96) und dass Objekte bei hoher, konstanter Geschwindigkeit trotzdem eine Beschleunigung erfahren (vgl. ebd., S. 101). Diese Vorstellungen setzen sich bis heute bei den Schülern im Anfangsunterricht der Physik fort, eine Unterscheidung von Geschwindigkeit und Beschleunigung ist für viele schwierig (vgl. Hepp 2004, S. 23). Eine weitere Schwierigkeit, die Schülern beim Verständnis der Mechanik Probleme bereitet, hängt mit der Fachsprache zusammen und beinhaltet den Unterschied zwischen Formelzeichen und Einheiten, beispielsweise die Verwendung von s für Strecke und Sekunde. Dieser Unterschied sollte demnach deutlich thematisiert werden

(vgl. Behrendt 2004, S. 7). Auch ein Umrechnen von Einheiten in ihr SI-Äquivalent ist von Bedeutung. Gerade bei der Einheit km/h , welche im Alltag gebräuchlicher ist als die SI-Einheit m/s , ist das Umrechnen notwendig und sollte entsprechend geübt werden, auch um beispielsweise Verkehrssituationen besser einschätzen zu können (vgl. ebd.). Zudem gelten auch das Modell des Massepunktes sowie die Idealisierung, dass Reibung vernachlässigt wird, als wichtige Inhalte im Kinematik-Unterricht. Dafür dient das Modellieren, um Konzepte aus der Erfahrungswelt zu überprüfen (vgl. Leisner 2005, S. 100f).

Dass der Kinematik-Unterricht als eher langweilig und unbeliebt gilt, ist möglicherweise auf seine klassische Gestaltung zurückzuführen. Häufig besteht der Unterricht nur aus „Fahrbahn-Demonstrationsversuche[n] und Aufgabenrechnen“ (Behrendt 2004, S. 4) und das sture Lösen von Aufgaben wird als trocken empfunden sowie „letztlich als bequeme Variante für den Lehrer, die Unterrichtsstunde zu füllen“ (Hepp/Krüger 2004, S. 39). In der Regel verläuft der Kinematik-Unterricht in der Einführungsphase nach dem Schema „Bewegungsarten – geradlinige gleichförmige Bewegung – gleichmäßig beschleunigte Bewegung – Kreisbewegung“ (Hepp 2004, S. 23), was sich auch in Lehrbüchern wiederfindet. Der freie Fall wird meist mit einer kleinen Einheit abgehandelt und erhält keine größere Aufmerksamkeit. Dabei würde er sich sehr gut dazu eignen, der verbreiteten fehlerhaften Schülervorstellung von Geschwindigkeit und Beschleunigung entgegenzuwirken, da es sich bei der Beschleunigung hierbei um den (konstanten) Ortsfaktor handelt (vgl. ebd.).

Die Mechanik und speziell der freie Fall wurden als Themenbereich für die Studie im Rahmen dieser Arbeit ausgewählt, da sie innerhalb der Physik „trotz der Anforderungen grundsätzlich [als] simpel und wohldefiniert“ (Brandenburger 2016, S. 4) gelten. Aus diesem Grund lassen sich systematische Untersuchungen anstellen, da auch die Domäne als sehr gut erforscht gilt und für die Schüler aufgrund des Alltagsbezugs „aus ihrer Sicht ein Thema von praktischer Bedeutung für den Unterricht“ (ebd., S. 79) ist.

4. Forschungsfragen

Auf Basis der in Kapitel 2 vorgestellten theoretischen Hintergründe stellt sich die Frage, inwiefern jene schwierigkeiterzeugenden Merkmale jeweils die Problemlösefähigkeit von Schülern beeinflussen, wenn sie gezielt damit konfrontiert werden. Die beiden übergeordneten Forschungsfragen sowie damit zusammenhängende Hypothesen zu der für diese Arbeit durchgeführte Studie werden im Folgenden vorgestellt.

4.1 Diagnose von Schülerschwierigkeiten

Die vier Merkmale Mathematik, Modellierung, Fachsprache und fehlender Alltagsbezug, die in Kapitel 2.2 präsentiert wurden, gelten nach Merzyn (2008) als Hauptkategorien für die Erzeugung von Schwierigkeiten in Physikaufgaben. Um ihren jeweiligen Einfluss auf die Problemlösekompetenz von Schülern zu untersuchen, gilt es, diese möglichst isoliert voneinander zu betrachten. Ausgehend vom Problemlöseprozess der Schüler ergibt sich als erste Forschungsfrage:

(F1) Werden die in der Literatur vermuteten schwierigkeiterzeugenden Merkmale auch von Schülern artikuliert, während sie physikalische Probleme lösen sollen?

Hierbei wird berücksichtigt, dass verschiedene Problemstellungen unterschiedliche Schwierigkeiten beinhalten, welche diese dominieren können. Unter der Voraussetzung, dass in der jeweiligen Aufgabenstellung eines der genannten Merkmale die Hauptursache für die Erzeugung von Schwierigkeiten ist, werden die Schüler mit den Problemen konfrontiert. In diesem Zusammenhang werden die folgenden Hypothesen untersucht:

(H1a) Die schwierigkeiterzeugenden Merkmale lassen sich nur sehr schwer voneinander abgrenzen und können in einem Problem nicht vollständig isoliert voneinander untersucht werden.

(H1b) Den Schülern fällt die Identifikation eines konkreten Merkmals bei der Lösung eines Problems schwer.

Da sich die Merkmale stark überschneiden und deshalb für ein umfangreiches Problem nicht scharf voneinander abgrenzen lassen, wird den Schülern eine

eindeutige Identifikation schwerfallen. Dies wird im Lauten Denken sichtbar, das als Methode während der Arbeitsphase fungieren soll (s. Kap. 5.2.1).

4.2 Identifikation von individuellen Hürden

Die zweite Forschungsfrage beschäftigt sich mit der Möglichkeit der Schüler, die erkannten Merkmale zu ihrem Vorteil einzusetzen:

(F2) Können Schüler die erkannten Merkmale dazu nutzen, diese Schwierigkeiten beim Lösen zu überwinden, indem sie zielgerichtet nach Unterstützung fragen?

Dabei geht es darum, ob sie merkmalspezifisch um Hilfe bitten können. Folgende Hypothese steht daher im Zusammenhang mit der zweiten Forschungsfrage F2 im Zentrum der Untersuchung:

(H2) Da die Schüler das konkrete Merkmal nicht eindeutig erkennen und artikulieren können, werden sie nicht nach einer konkreten Hilfe fragen.

Für die Phase des Lauten Denkens wird demnach vermutet, dass die Schüler zwar bei Lösungsschwierigkeiten nach Unterstützung fragen werden, jedoch diese nicht spezifisch auf das vermutete Merkmal bezogen sein wird, sondern die Hoffnung auf eine generelle Hilfe ausdrücken wird.

5. Empirie

Dieses Kapitel befasst sich mit der Studie zur Diagnose schwierigkeiterzeugender Merkmale, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde. Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Forschungsfragen F1 und F2 sollen anhand der aufgestellten Hypothesen H1a, H1b und H2 beantwortet werden. Die Studie ist zweistufig aufgebaut, bestehend aus einer Vorstudie mit Experten und einer Hauptstudie mit Schülern. Zunächst wird das Studiendesign erläutert, im Anschluss werden die Werkzeuge vorgestellt. Zum Einsatz in der Studie kommt einerseits das Laute Denken als Methode während der Arbeitsphase der Schüler, andererseits leitfragengesteuerte Interviews zur Reflexion der Schwierigkeiten im Anschluss an die Arbeitsphase. Außerdem werden die Materialien präsentiert, welche bei der Studie

verwendet werden. Abschließend wird das methodische Vorgehen dargelegt. Dazu wird die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) definiert sowie ihr Einsatz in dieser Studie begründet und das Vorgehen bei der Auswertung der Daten beschrieben.

5.1 Studiendesign

5.1.1 Vorstudie

Die Vorstudie stellt die Expertensicht auf die Materialien dar, welche die vorgestellten schwierigkeiterzeugenden Merkmale enthalten. Dazu wurde im Rahmen eines Lehrergesprächstags der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) am Institut für Didaktik der Physik der Goethe-Universität Frankfurt am Main eine Stichprobe von $n = 25$ Lehrkräften und Fachdidaktikern des Instituts ausgewählt, um mithilfe eines Fragebogens die vier vorbereiteten Arbeitsblätter für die Hauptstudie zu evaluieren. Die Lehrkräfte waren zum Teil noch aktiv im Schuldienst tätig, teilweise auch bereits im Ruhestand. Ihre Expertise sollte einerseits einer Überprüfung der Validität der Materialien dienen, andererseits durch fachliche Anmerkungen auch die Möglichkeit bieten, diese vor der Durchführung mit den Schülern in der Hauptstudie noch zu optimieren. Die Experten erhielten jeweils alle vier Arbeitsblätter ausgeteilt, dazu einen zweiseitigen Fragebogen (s. Kap. 5.2.3), auf dem sie die Intensität der Ausprägung jedes einzelnen vorgestellten Merkmals einschätzen sollten. Zudem wurde abschließend nach einer allgemeinen Rückmeldung gefragt, was an den Arbeitsblättern positiv oder negativ aufgefallen ist oder anders formuliert werden könnte. Für die Ergebnissicherung wurden die Teilnehmer gebeten, die Fragebögen nach Abschluss der Veranstaltung bei den Verantwortlichen abzugeben oder, für mehr Bedenkzeit, mitzunehmen und später an das Institut zurückzuschicken. Zudem sollte die Inter-Rater-Reliabilität untersucht werden.

5.1.2 Hauptstudie: Arbeitsphase

Der Hauptteil der Studie untersucht die Diagnose der Schwierigkeiten bei den Schülern und den Einfluss der vorgestellten Merkmale auf ihre Problemlösefähigkeit. Dazu wurden Schüler ($n = 9$) der gymnasialen Einführungsphase (E-Phase) an einer Gesamtschule in Dreieich ausgewählt, an

der Studie teilzunehmen. Die Schüler stammten aus zwei Parallelklassen und wurden im Fach Physik von demselben Lehrer unterrichtet. Der Untersuchungszeitraum lag kurz vor den Osterferien, in der Mitte des zweiten Halbjahrs, die Untersuchung wurde in den Räumlichkeiten der Schule durchgeführt. Insgesamt handelte es sich um eine heterogene Gruppe von fünf Mädchen und vier Jungen. Die Zeugnisnoten des vorherigen Halbjahrs in Physik lagen zwischen 4 und 13 Punkten, im Durchschnitt bei allen befragten Schülern bei 9,1 Punkten. Die Schüler wurden getrennt voneinander während einer Dauer von jeweils 45 Minuten untersucht. Davon fielen etwa 20 bis 30 Minuten auf die Arbeitsphase ab. In dieser Phase wurden den Schülern vier Arbeitsblätter vorgelegt, welche sie mit der Aufforderung lösen sollten, dabei jeden Gedanken laut auszusprechen, der ihnen in den Sinn kommt. Dieses Laute Denken wurde mithilfe eines Diktiergeräts aufgezeichnet, um die entstandenen Sprachaufnahmen später transkribieren und auswerten zu können. In der Arbeitsphase war kein Eingreifen seitens des Versuchsleiters vorgesehen, lediglich für motivierende Aufforderungen zum Lauten Denken sollte interveniert werden.

5.1.3 Hauptstudie: Reflexionsphase

Die Reflexionsphase der Hauptstudie schloss sich nahtlos an die Arbeitsphase an. Jeder Schüler erhielt nach Abschluss der Bearbeitung die Möglichkeit, im Rahmen eines Reflexionsinterviews die Schwierigkeiten zu besprechen. Die Stichprobe ist in dieser Phase demnach die gleiche wie zuvor in der Arbeitsphase. Zu Beginn der Reflexion wurden die Schüler gebeten, die vier Arbeitsblätter anhand ihrer persönlich empfundenen Schwierigkeit einzustufen. Daraufhin wurde jedes einzelne Arbeitsblatt hinsichtlich der jeweiligen Hürde analysiert, welche den Lösungsvorgang erschwert oder behindert hat. Am Ende wurden die letzte Halbjahreszeugnisnote im Fach Physik und die Zufriedenheit mit dieser Note abgefragt. Zudem sollten die Schüler im Falle einer Unzufriedenheit Mutmaßungen anstellen, womit die schlechte Zensur verbunden sein könnte und wie sie diese hätten verbessern können. Abschließend sollten die Schüler noch Aussagen zum Stellenwert von Physik in ihrem Leben und im Umfeld machen, verglichen mit anderen Fächern, und ob eine schlechte Note im Fach Physik ihnen vor ihren Freunden

oder Eltern unangenehm ist. Für die Ergebnissicherung wurden auch die Reflexionsinterviews wieder mit Diktiergeräten aufgezeichnet, um sie später transkribieren zu können. Ein Leitfaden diente zudem als Hilfestellung für die Interviewenden sowie als Mittel, um eine einheitliche Befragung sicherzustellen.

5.2 Werkzeuge

5.2.1 Die Methode des Lauten Denkens

Als Methode für die Dokumentation des Problemlöseprozesses der Schüler in der Arbeitsphase wurde das Laute Denken gewählt. Dieses Werkzeug hilft dabei, „Einblicke in die Gedanken, Gefühle und Absichten einer lernenden und/oder denkenden Person zu erhalten“ (Konrad 2010, S. 476). Dabei werden die kognitiven Vorgänge nachvollziehbar, durch welche die Schüler zu einer mentalen Repräsentation gelangen (vgl. ebd.). Mögliche Formen des Lauten Denkens sind die Introspektion sowie die unmittelbare und die verzögerte Retrospektion. In der hier beschriebenen Studie handelt es sich um die Introspektion, die Schüler äußern ihre Gedanken während des Lösungsvorgangs. Diese Form ermöglicht von allen dreien die „engste Verbindung zwischen Denken und verbalen Berichten“ (ebd.).

Der Ursprung des Lauten Denkens als Methode in der Denkpsychologie liegt zu Beginn des 20. Jahrhunderts, als die Selbstbeobachtung populär wurde und Personen über ihren vollständigen kognitiven Prozess berichten sollten. Im Behaviorismus wurde diese Methode jedoch kritisiert, denn „introspektiv gewonnene Daten seien nicht intersubjektiv überprüfbar“ (ebd., S. 477). Aus diesem Grund wurde die Selbstbeobachtung längere Zeit nicht mehr eingesetzt, bis in den frühen 1970er Jahren mithilfe der Laut-Denken-Protokolle in der Psychologie „prozedurale und dynamische Aspekte kognitiver Prozesse sichtbar“ (ebd.) gemacht werden sollten. Newell und Simon untersuchten erstmals computerbasiertes Problemlösen unter dem Einsatz von Lautem Denken (vgl. Newell/Simon 1972, S. 455f). Die Analyse solcher Protokolle „was one of the tools that allowed psychologists to explore previously inaccessible domains of cognitive processing“ (Kucan/Beck 1997, S. 271). Aktuell wird diese Methode wieder „von zahlreichen Professionen

und in mehreren Forschungsfeldern als ein nützliches Datenerhebungsverfahren“ (Konrad 2010, S. 478) angesehen, sodass sie heute in vielen Bereichen Anwendung findet.

Die meisten Studien, welche Lautes Denken als Methode einsetzen, sind qualitativer Natur. Trotzdem ist dieses Werkzeug auch dazu geeignet, quantitative Daten zu erfassen oder zu analysieren, wobei es dabei nur begrenzt objektive, reliable und vor allem valide Ergebnisse liefern kann (vgl. ebd., S. 480). Was in der quantitativen Forschung ein nicht zu leugnendes Hindernis darstellt, wird in der qualitativen Forschung dagegen „nicht als Störfaktor, sondern als relevante Informationsquelle gesehen“ (ebd.). Wie bereits erwähnt, kommt das Laute Denken in vielen Bereichen der Forschung zum Einsatz. Aufgrund ihrer Relevanz für den Physikunterricht seien an dieser Stelle die Unterrichtsforschung und die Problemlöseforschung (s. Kap. 2.1.3) genannt (vgl. ebd., S. 482). Des Weiteren wird Lautes Denken in Selbsterklärungsprozessen eingesetzt, welche sich „in vielen Studien als wichtiger Prädiktor für den Lernerfolg erwiesen“ (Salle 2015, S. 780) haben. Dabei werden beispielsweise neue Informationen vom Schüler mit seinem Vorwissen verknüpft oder fehlerhaftes Vorwissen korrigiert (vgl. ebd.).

Die Methode des Lauten Denkens hat einen erwiesenen Einfluss auf die Problemlösekompetenz. Einige Untersuchungen zeigen, dass das Laute Denken „den Denkvorgang selbst verändert [...]. Meist hilft das Laute Denken. Die Menschen, die man auffordert, laut zu denken, denken klarer und produzieren bessere Lösungen“ (Dörner 2006, S. 620f). Jedoch zeigen ältere Studien, dass diese Methode die Problemlösefähigkeit sogar behindern kann. Demnach „wurden diejenigen Schulkinder, die bei der Lösung vor allem sprachlich vorgehen, durch die Anweisung, laut zu denken, stärker gestört als diejenigen, die bei der Lösung von Problemen interne Bilder und Vorstellungen mit heranzogen“ (Weidle/Wagner 1982, S. 99). In jedem Fall lässt sich festhalten, dass nicht nur das Gedachte selbst, sondern „auch *wie* er es sprachlich ausdrückt [...] für ihn charakteristisch“ (Roth 1985, S. 15) sein kann. Dies zeigt auch die Grenzen der Methode auf:

„Manche Kognitionen, Bilder und Gefühle scheinen fast gleichzeitig aufzutauchen, so daß man notwendigerweise auswählen muß, um darüber zu

berichten, und während ein Gedanke ausgesprochen wird, gehen manche andere Kognitionen schon wieder verloren [...]. Hier entsteht also ein Kapazitäts- und damit ein Auswahlproblem. Weil offensichtlich vielfach nicht so viel ausgesprochen wie gedacht werden kann, muß [der Schüler] – bewußt oder unbewußt – auswählen, was sie ausspricht.“ (Weidle/Wagner 1982, S. 84)

Die zweite Grenze liegt in unbewusst ausgeführten Routinetätigkeiten, die automatisiert erledigt werden. Sie sind dem Bewusstsein nicht per se zugänglich, daher fällt das Laute Denken beim Lösen schwierigerer Aufgaben oftmals leichter (vgl. ebd.). Außerdem verkompliziert zusätzlicher der Umstand das Laute Denken, dass gesellschaftliche Konventionen vorschreiben, auf welche Weise man Gedanken ausspricht. Oft besteht der Drang, etwas akzeptabel zu formulieren, wodurch das eigentlich Gedachte möglicherweise verschleiert wird. Eine vertrauensvolle Atmosphäre zwischen Versuchsperson und Versuchsleiter soll diesem sogenannten „Pygmalioneffekt“ Abhilfe schaffen (vgl. ebd., S. 85).

5.2.2 Reflexion durch Interviews

Im zweiten Teil der Hauptstudie werden Interviews als Methode eingesetzt, um die Arbeitsphase aktiv zu reflektieren. Interviews gelten in der Psychologie als eines der verbreitetsten Werkzeuge für die qualitative Forschung (vgl. Mey/Mruck 2010, S. 423).

Es gibt eine Reihe von Verfahren, die unter dem Oberbegriff des Interviews zusammengefasst werden. Zum einen wurde das *narrative Interview* in den 1970er Jahren entwickelt, um zunächst politische Entscheidungen nachzuvollziehen. Heute gilt es, als „narrativ-biographisches Interview“ (Schütze 1983; zit. n. ebd., S. 424), als die zentrale Methode in der Soziologie und in den Erziehungswissenschaften, um Persönlichkeitsstrukturen aufzudecken. Es verläuft in der Regel ohne den Einsatz eines Leitfadens, damit die interviewte Person einerseits die Möglichkeit erhält, so frei wie möglich über sich zu erzählen, der Interviewer jedoch auch spontan darauf reagieren und die Richtung entsprechend ändern kann. Mit dem narrativen Interview verwandt ist das *rezeptive Interview*. Dabei nimmt der Interviewende die Rolle des Zuhörers ein, dies geschieht meist in sozialen Kontexten, wobei möglichst kein Einfluss auf den Interviewten ausgeübt werden soll (vgl. ebd.). In den Sozialwissenschaften kommt häufig das

problemzentrierte Interview zum Einsatz. Hierbei werden, im Gegensatz zum narrativen Interview, Fragen explizit aufgrund ihrer „aktive[n], das Gespräch mitgestaltende[n] Explorationsfunktion“ (Mey/Mruck 2010, S. 425) gestellt. Auch das problemzentrierte Interview folgt keinem festen Ablaufplan, doch durch ein frühes Eingreifen des Interviewenden in das Gespräch werden Themen in eine Richtung gelenkt sowie Kommentare angefordert und Interpretationen validiert (vgl. ebd.). Mithilfe eines Kurzfragebogens werden dabei im Anschluss meist Rahmeninformationen erhoben. Eine weitere wichtige Art ist das *Konfrontationsinterview*, in dem die Interviewten mit zuvor aufgezeichneten Interaktionen oder Handlungen konfrontiert werden und diese mithilfe ihrer Erinnerung erläutern sollen, „um so deren subjektive (Mikro-) Perspektive zu erfassen“ (ebd., S. 427). Daneben gibt es noch eine ganze Menge weiterer Verfahren, die an dieser Stelle jedoch nicht näher erläutert werden sollen, da sie für die Studie dieser Arbeit nicht bedeutsam sind. Interviewformen wie beispielsweise das *ethnographische*, das *personen-* oder das *themenzentrierte* oder auch das *Experteninterview* kommen in der pädagogischen Psychologie häufig zum Einsatz, sind jedoch nicht zielführend zur Beantwortung der in Kapitel 4 vorgestellten Forschungsfragen.

Die Fülle an Möglichkeiten, das passende Interviewverfahren für eine Forschung zu finden, zeigt auch die Schwierigkeiten auf, welchen sich ein Interviewer dabei stellen muss. Die Bezeichnungen verschwimmen teilweise und lassen sich nur schwer voneinander abgrenzen, und auch die Ziele der verschiedenen Verfahren lassen sich oft nicht eindeutig unterscheiden (vgl. ebd., S. 428).

Der Einsatz eines Leitfadens erfüllt die Funktion, das Wissen des Forschers zu strukturieren und zu explizieren. Darüber hinaus hilft es, vor dem Interview die Fragen noch einmal ins Gedächtnis zu rufen, um nicht während der Durchführung ins Stocken zu geraten. Während des Interviews selbst sollte der Leitfaden jedoch nicht das Gespräch wie ein Rezept dominieren, im Anschluss kann er jedoch als Checkliste fungieren, ob alle Fragen angesprochen wurden (vgl. ebd., S. 430). Werden mehrere Interviews, wie im Rahmen dieser Arbeit, durchgeführt und kommen dabei mehrere

Interviewer zum Einsatz, ist ein Leitfaden unverzichtbar, damit die Ausgangslage einheitlich gehalten werden kann. Dieser dient als Vorlage für die Auswahl an relevanten Antworten und als Anleitung, welche Fragen besonders wichtig sind (vgl. Mey/Mruck 2010, S. 431).

5.2.3 Materialien

Der Fragebogen für die Vorstudie war zweiteilig konzipiert. Zunächst sollte für jedes Arbeitsblatt anhand einer sechsstufigen Skala angegeben werden, wie stark jedes einzelne der Merkmale „Alltagsbezug“, „Fachsprache“, „Komplexität“, „Mathematisierung“ und „Modellierung“ ausgeprägt ist, eingestuft von „sehr schwach“ bis „sehr stark“. Im zweiten Teil wurden die Experten nach einer allgemeinen Rückmeldung und der generellen Meinung zu den Arbeitsblättern gefragt. Für die Beantwortung der Fragen „Was fällt Ihnen an den Arbeitsblättern positiv/negativ auf?“ und „Was würden Sie anders formulieren?“ wurde den Teilnehmern am Ende des Fragebogens entsprechend Platz eingeräumt.

Die vier Arbeitsblätter, die die Schüler in der Hauptstudie zur Bearbeitung erhielten, waren mit jeweils einem dominanten schwierigkeiterzeugenden Merkmal konzipiert. Arbeitsblatt 1 sollte möglichst ohne Alltagsbezug auskommen, Arbeitsblatt 2 war mit besonders vielen Fachbegriffen formuliert, Arbeitsblatt 3 erforderte die Anwendung von mathematischen Hilfsmitteln in Form der p-q-Formel, und Arbeitsblatt 4 beinhaltete die Modellierung eines physikalischen Phänomens. Für die Reflexionsphase erhielten die Schüler zu jedem der Arbeitsblätter auch eine Musterlösung, sowie zusätzlich zu Arbeitsblatt 2 („Fachsprache“) ein alternatives Arbeitsblatt, das sie mit dem bearbeiteten Arbeitsblatt 2 vergleichen sollten. Diese Alternative enthielt die gleichen Aufgaben wie das originale Arbeitsblatt, jedoch fehlten in diesem Fall die Fachwörter vollständig, wodurch ein größtmöglicher Kontrast zwischen den beiden Aufgabenstellungen hergestellt werden sollte. Alle Arbeitsblätter, das Alternativarbeitsblatt 2 sowie die Lösungen finden sich im Anhang 9.1. Sie sollen an dieser Stelle kurz beschrieben werden.

Arbeitsblatt 1 („Alltagsbezug“) besteht aus einer längeren Aufgabenstellung mit sechs Unterpunkten. Ohne konkrete Angabe, um welchen

Gegenstand es sich handelt („ein Körper“), sollen die Schüler unter Vernachlässigung des Luftwiderstands und nur mit der Angabe der Ausgangshöhe $y_0 = 20\text{ m}$ verschiedene Werte berechnen. Es wird bewusst keine Formel vorgegeben, da sowohl das Zeit-Orts-Gesetz des freien Falls als auch das Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz (s. Anhang 9.1, Lösung Arbeitsblatt 1) als bekannt vorausgesetzt werden. Die Schüler berechnen daraus mit Angabe des Ortsfaktors von $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ die Höhe nach einer Sekunde, den Zeitpunkt einer anderen Höhe, die Fallzeit, die Geschwindigkeit nach einer Sekunde, den Zeitpunkt einer anderen Geschwindigkeit und schließlich die Endgeschwindigkeit des Körpers beim Auftreffen am Boden. Die gesuchten und gegebenen Werte sind mit Indizes gekennzeichnet und die Geschwindigkeiten aufgrund der Fallbewegung mit einem negativen Vorzeichen notiert. Dieser Umstand sowie die vage Angabe „ein Körper“ in der Aufgabenstellung sollen das Problem so weit wie möglich von der Alltagserfahrung der Schüler entfernen. Auf diesem Arbeitsblatt soll das Problem des freien Falls also ohne schülerfreundlichen Kontext und nur mit der Anwendung von physikalischen Formeln gelöst werden.

Arbeitsblatt 2 („Fachsprache“) soll in einer Version bearbeitet werden, welche sich durch den Gebrauch vieler Fachbegriffe auszeichnet. Dabei werden besonders in der zweiten Aufgabe viele neue Begriffe eingeführt, um den Luftwiderstand zu berechnen. Fachwörter wie „ c_w = Widerstandsbeiwert“, „ A = Querschnittsfläche“, „Medium“, „dimensionslos“ oder „ v_{end} = Endgeschwindigkeit“ sollen den Schülern bewusst neu vorkommen, und ihre Verknüpfung in einer bis dato unbekannten Formel mit vielen Elementen soll zu einer längeren Beschäftigung mit den Fachbegriffen anregen. Zum Einstieg knüpft Aufgabe 1 auf diesem Arbeitsblatt an das vorherige Arbeitsblatt 1 („Alltagsbezug“) an, indem zuerst mit gegebener Geschwindigkeit v (und mit als bekannt vorausgesetztem Ortsfaktor), anschließend mit gegebenem Fallweg s eine Zeit t ausgerechnet werden soll. In Aufgabe 2 folgt, nach einleitender Erklärung des Luftwiderstands, die Frage nach der Endgeschwindigkeit eines fallenden Körpers mit gegebenem Widerstandsbeiwert, Radius und Masse. Dabei liegt die Schwierigkeit darin, sich trotz der vielen neuen Fachbegriffe anhand der Formel für den Luftwiderstand und der Information,

dass dieser im freien Fall die Gewichtskraft des Körpers ausgleicht, orientieren zu können. Nach der Bearbeitung des Arbeitsblatts erhalten die Schüler in der Reflexionsphase eine alternative Version, welche sie im Interview mit der ursprünglich bearbeiteten Version vergleichen sollen. Der Kontrast zwischen den beiden Arbeitsblättern entsteht dadurch, dass auf der Alternative sämtliche Fachbegriffe weggelassen sind, und stattdessen mit einfachen Worten umschrieben werden. Dabei soll der Eindruck entstehen, dass hier etwas Essentielles fehle, was im Physikunterricht normalerweise vorhanden ist.

Arbeitsblatt 3 („Mathematisierung“) besteht aus einer Aufgabe zur Berechnung der Tiefe eines Brunnens. Als Information ist gegeben, dass nach dem Fallenlassen einer Münze in den Brunnen der Schall des Auftreffens nach $t = 1,5 \text{ s}$ zu hören ist. Zudem sind die Werte für die Schallgeschwindigkeit in Luft, der Ortsfaktor sowie als Hinweis die beiden betrachteten Bewegungen angegeben. Zwei Skizzen der Bewegungen (beschleunigte Bewegung des freien Falls und gleichförmige Bewegung der Schallausbreitung) sollen als Orientierung dienen. Die Schwierigkeit bei dieser Aufgabe besteht darin, dass zum Gleichsetzen und Auflösen der beiden Formeln die p-q-Formel angewandt werden muss, da es sich um eine quadratische Gleichung handelt.

Auf Arbeitsblatt 4 („Modellierung“) werden die Schüler dazu aufgefordert, sich Gedanken darüber zu machen, welche Größen beim Modell eines Fallschirmsprungs relevant sind und wie diese qualitativ miteinander im Zusammenhang stehen. Es sollen Variablen aufgeführt werden, welche bei der Untersuchung der Fragestellung untersucht werden müssen. Außerdem wird gefragt, welche Idealisierungen für die Modellierung angenommen werden, um die Größe des Fallschirms berechnen zu können. Die Problemstellung ist bewusst frei formuliert, damit die Schüler sich dementsprechend ihre Gedanken machen und diese im Lauten Denken äußern können. Die Fragen sollen lediglich dabei helfen, die Schüler in die richtige Richtung einer komplexen Modellierung zu bringen, da sie damit bis dato wahrscheinlich nicht in Berührung gekommen sind. Darin liegt demnach die

Schwierigkeit dieses Arbeitsblattes (vgl. Szabone Varnai/Vogelsang 2018, S. 47).

5.3 Methodisches Vorgehen

Die Vorgehensweise bei der Auswertung der erhobenen Daten orientiert sich an der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015, S. 17). Diese unterscheidet sich im einfachsten Fall von der quantitativen Analyse darin, dass in der qualitativen Forschung keine „Zahlbegriffe und deren In-Beziehung-Setzen durch mathematische Operationen bei der Erhebung oder Auswertung verwendet werden“. Stattdessen handelt es sich dabei um Klassifizierungen von Begriffen oder Gegenständen (vgl. ebd., S. 17f). Außerdem unterscheiden sich die beiden Methoden darin, dass qualitative Forschung das Individuum verstehen will und somit induktiv vorgeht, während die quantitative Forschung deduktiv von allgemeinen Prinzipien oder Gesetzen ausgeht (vgl. ebd., S. 19). Jede quantitative Analyse enthält jedoch mindestens zu Beginn und in der Dateninterpretation am Schluss auch qualitative Anteile, daher lassen sich die Methoden nicht streng voneinander trennen (vgl. ebd., S. 20f).

Diese Arbeit stützt sich aus dem Grund auf die qualitative Forschung, da dieses Verfahren eine flexiblere Möglichkeit bietet, die Forschungsfragen zu beantworten. Dabei ist die Methode offen dafür, neue Erkenntnisse in die Untersuchung mit einzubeziehen. Zudem lässt sich durch die qualitativen Methoden eine höhere Inhaltsvalidität erreichen (vgl. Völzke 2010, S. 33). Die beiden angewandten Methoden, das Laute Denken und die Interviews der Reflexionsphase (s. Kap. 5.2.1 und 5.2.2), sind Formen der Verbalisierung von Gedanken. Ihr Unterschied liegt darin, dass beim Lauten Denken untersucht wird, „welche Kognitionen und mentalen Operationen jetzt tatsächlich im Bewußtsein“ (Weidle/Wagner 1982, S. 82) des Schülers vorgehen. Er soll seine Gefühle und Empfindungen aussprechen, als wäre niemand außer ihm im Raum. Somit soll das Laute Denken dem Versuchsleiter dabei helfen, die Einflüsse auf das Handeln der Schüler zu erforschen und „Auskunft auch über handlungsleitende Kognitionen“ (ebd., S. 83) zu erhalten. Ein Interview kann dies meistens nicht leisten, worin ein Vorteil der Methode des Lauten Denkens liegt. Dennoch liefern beide Verfahren für diese Studie relevante

Daten, die zur Beantwortung der Forschungsfragen beitragen. Durch die Interviews wird im Anschluss an das Laute Denken ermöglicht, dass alle Denkprozesse aus der Arbeitsphase noch einmal mithilfe von gezielt gestellten Fragen analysiert werden können. Wie bereits in Kapitel 5.2.1 erwähnt, stößt die Methode des Lauten Denkens an eine Grenze, wenn beim Lösen einfacherer Aufgaben „hochautomatisierte Prozesse schnell ablaufen und diese Prozesse dem Bewusstsein nicht zugänglich sind, weshalb die Versprachlichung schwer fällt [sic]“ (Völzke 2012, S. 34). Vermutlich wird es den Schülern daher beim Lösen der schwierigeren Aufgaben leichter fallen, ihre Gedanken zu verbalisieren, da sie sich mit ungewohnteren Tätigkeiten und kognitiven Prozessen beschäftigen, als dies beispielsweise beim routinierten Einsetzen in Formeln der Fall ist.

Da die qualitative Inhaltsanalyse keinem standardisierten Muster folgt, muss sie auf die spezifische Forschungsfrage angepasst konstruiert werden (vgl. Mayring 2015, S. 51). Auch in der vorliegenden Arbeit wurde daher ein Ablaufmodell für die Analyse festgelegt. Die Auswertung der Sprachaufnahmen des Lauten Denkens und der Interviews erfolgte durch wortgenaues Transkribieren. Bereits beim Verschriftlichen der Aussagen wurde auf Schlüsselwörter geachtet, welche auf ein vermutetes schwierigkeits-erzeugendes Merkmal hindeuten. Diese wurden den vier Merkmalen zugeordnet, um Rückschlüsse darauf ziehen können, welches von ihnen den Schülern besondere Schwierigkeiten bereitet oder welches möglicherweise gar nicht genannt wird. Damit handelt es sich bei dieser Art der Analyse um eine deduktive Kategorienanwendung mit typisierender Strukturierung (vgl. ebd., S. 68). Das nachgelagerte Interview war zweiteilig gestaltet. Zunächst sollten die Schüler offen die Schwierigkeit der vier Arbeitsblätter in eine Reihenfolge bringen, danach wurde spezifisch nach den Schwierigkeiten und Hürden auf den einzelnen Arbeitsblättern gefragt. Dabei sollte sichergestellt werden, dass die Schüler zu Beginn frei antworten können, während die Fragen danach darauf abzielten, genaue Äußerungen zu den schwierigkeits-erzeugenden Merkmalen auf jedem Arbeitsblatt zu erhalten.

6. Auswertung der Studie

Die Ergebnissicherung der Vorstudie erfolgte durch Fragebogen auf Papier, die der Hauptstudie durch Sprachaufnahmen mit Diktiergeräten. Die erhobenen Daten werden im nachfolgenden Unterkapitel präsentiert, in Kapitel 6.2 werden diese als Ergebnisse aufbereitet und analysiert. In Kapitel 6.3 schließt sich die Diskussion der gewonnenen Ergebnisse an. Die Forschungsfragen (s. Kap. 4) werden beantwortet und interpretiert, zudem werden abschließend die Reliabilität und Validität der Ergebnisse überprüft.

6.1 Deskriptive Darstellung der erhobenen Daten

6.1.1 Vorstudie mit Experten

Die geplante Vorstudie, bestehend aus der Expertenbefragung mit einem Fragebogen, lieferte in der Realität leider keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Über die Vorstudie, welche die Validität der Hauptstudie sicherstellen sollte, kann keine verbindliche Aussage getroffen werden, da es von Seiten der befragten Experten zu wenig Rückmeldung gab. Von den 25 teilnehmenden Experten aus dem Lehrergespräch kamen lediglich zwei Fragebögen zurück. Dadurch ist es auch nicht reliabel möglich, die Inter-Rater-Reliabilität zu überprüfen. Jedoch bestätigten die Aussagen der Schüler während der Arbeitsphase im Lauten Denken, sowie in den Reflexionsinterviews größtenteils die in der Vorstudie vermuteten Ergebnisse, weshalb diese als valide angesehen werden können. Dies wird in Kapitel 6.2 im Vergleich mit den erhobenen Daten aus der Hauptstudie genauer analysiert.

6.1.2 Hauptstudie mit Schülern

In diesem Unterkapitel sind einige ausgewählte Aussagen aus der Arbeitsphase der Schüler (S1 bis S9 = Schüler 1 bis 9) aufgeführt, die sie mithilfe des Lauten Denkens bezüglich der vorgestellten schwierigkeits-erzeugenden Merkmale formuliert haben. Die Analyse und Interpretation dieser Aussagen hinsichtlich der Forschungsfragen folgen im nachfolgenden Kapitel 6.2. Die vollständigen Transkripte der Reflexionsinterviews finden sich im Anhang 9.2, auch die dabei getätigten Aussagen der Schüler werden im nachfolgenden Kapitel 6.2 analysiert.

6.1.2.1 Äußerungen zum Merkmal Alltagsbezug

Bezüglich eines fehlenden Alltagsbezug äußerten sich fünf der neun Schüler, indem sie während des Bearbeitens der Arbeitsblätter teilweise eigene Bezüge zu ihrer Erfahrungswelt herstellten oder fehlende Angaben in der Aufgabenstellung hinterfragten. Bei Arbeitsblatt 1 wurde nach den Eigenschaften des Körpers gefragt:

„der Körper ist halt unbekannt... was ist das für ein Körper, schwer, leicht? [...] theoretisch brauch ich da jetzt noch ne Masse, die ich nicht hab“ (S2, Aufgabe 1a)

Des Weiteren bereitete die Angabe der Geschwindigkeit in der SI-Einheit m/s Schwierigkeiten, sowie das negative Vorzeichen bei der Fallbewegung:

„Geschwindigkeit ist km/h , also Kilometer pro Stunde“ (S6, Aufgabe 1d)

„weil es ja fällt, müssen wir dann eine Geschwindigkeit von minus $10 m/s$ haben [...] eine Geschwindigkeit von minus $15 m/s$... ähm... das Minus muss man wirklich... muss ich mir einfach wegdenken“ (S1, Aufgabe 1e)

„ich soll einen Term herleiten, der den Zeitpunkt t_3 angibt, zu dem der Körper eine Geschwindigkeit von v_{y3} gleich minus $15 m/s$ hat. Eine negative Geschwindigkeit... ist das jetzt eine Rückwärtsbewegung oder eine Bremsung quasi? Wenn ich jetzt mit dem Auto fahre mit 50 , hab ich ne Geschwindigkeit von $50 km/h$, das kann man dann umrechnen in m/s ... und wenn ich bremsen, nimmt die Geschwindigkeit ab... wenn ich jetzt aber rückwärts fahre, ist das ja auch eine Geschwindigkeit, aber die verläuft nur auf der Strecke rückwärts und nicht im Beschleunigungs-Wesen... da fällt mir jetzt nur der Fall vom Bungeespringen ein“ (S2, Aufgabe 1e)

Auch bei Arbeitsblatt 2 wurde versucht, Vergleiche mit Alltagssituationen herzustellen:

„ich frage mich, ob es was bringen würde, wenn ich das in km/h umrechne, aber ich glaube eher nicht“ (S7, Aufgabe 2.1a)

„jetzt ist mir natürlich klar, dass ein Objekt, also ein Körper, erstmal die Geschwindigkeit von $0 m/s$ hat und dann immer schneller wird beim Fallen [...] ich hab ja quasi nur $25 m/s$ gegeben, also muss ich auch was damit anfangen können, das ist ja nicht einfach nur so da... theoretisch, wenn ich mir das jetzt mal kurz so überlege, jetzt von nem Auto, das beschleunigt von $0 km/h$, und hat dann in einer gewissen Zeit dann $1 km$ geschafft, und wenn das mit $1 km/h$ fährt, dann hat das $1 km$ in einer Stunde geschafft, deswegen denke ich jetzt auch einfach mal, dass [...] der Körper, der fällt, wenn er $25 m/s$ [schnell ist], dann sollte der auch [...] $25 m$ in einer Sekunde [zurückgelegt haben] ... ich muss mir das gerade immer mit einem anderen Beispiel einfach vorstellen“ (S8, Aufgabe 2.1a)

„also je mehr Luftwiderstand da ist, desto weniger kann ich schnell beschleunigen, weil die Luftreibung ja größer wird, das wäre ja... wie beim

Autofahren, wenn man langsam fährt, kann man die Tür aufmachen und wenn man schnell fährt, kann man nicht mehr die Tür aufmachen, weil der Luftwiderstand zu groß ist“ (S2, Aufgabe 2.2)

Die Formulierungen waren für die Schüler teilweise unklar, es wurde nach genaueren Daten auf Arbeitsblatt 2 gefragt:

„aber von wo lasse ich ihn denn fallen? ‚kleine Höhe‘... also irgendwie weiß ich jetzt nicht, welche Höhe ich benutzen soll, weil es jetzt nicht angegeben wurde [...] ein Stein... aber ein Stein fliegt keine 25 Meter“ (S6, Aufgabe 2.1)

Auf Arbeitsblatt 3 wurde ebenfalls versucht, die Aufgabenstellung in Bezug zu einer konkreten Alltagserfahrung mit Schall zu setzen:

„ich glaube, das ist so ne Verzögerung, man hört das nicht sofort“ (S7, Aufgabe 3)

Auch auf Arbeitsblatt 4 wurden die Ideen mit der Vorstellung von einem realen Fallschirmsprung verknüpft:

„das heißt ich brauche erst mal die Masse [...], nee, ne Höchstmasse... nee, ich muss eine Masse festlegen, die dieser Fallschirm aushält, so ein Fallschirm hält immer so 400 Kilo aus, wenn da zwei Fallschirmspringer dran hängen“ (S2, Aufgabe 4)

Insgesamt konnte bei der Bearbeitung von jedem der vier Arbeitsblätter durch die Schüler festgestellt werden, dass Bezüge zu Alltagserfahrungen hergestellt wurden, um sich der Aufgabenstellung zu nähern.

6.1.2.2 Äußerungen zum Merkmal Fachsprache

Zum Merkmal einer physikalischen Fachsprache äußerten sich fast alle Schüler. Die Aussagen der 8 von 9 Teilnehmer sind an dieser Stelle gesammelt. So wurde auf den Arbeitsblättern 1 und 3 zunächst versucht, die gegebenen Symbole der physikalischen Bedeutung zuzuordnen und die Aufgabenstellung dadurch besser zu verstehen:

„ähm... das heißt... Höhe, ist das die Strecke quasi?“ (S1, Aufgabe 1a)

„jetzt überlege ich gerade, ob g der Ortsfaktor war, aber ich glaube schon, weil der ja 10 war“ (S6, Aufgabe 1a)

„das g ist die Erdbeschleunigung, Gravitation... Gravitationskonstante, oder Ortsfaktor [...] dann kann ich ja eigentlich auch keine vollständige Formel aufstellen, sondern muss für den Körper, für die Masse ein x lassen [...] nein, ich mach ein m , für Masse [...] das heißt, ich hab jetzt die Unbekannte des Gewichts, weiß aber mit welcher Erdanziehungskraft es fällt“ (S2, Aufgabe 1b)

„die Tiefe ist ja in dem Fall wieder die Strecke“ (S7, Aufgabe 3)

Ein Schüler äußerte sich zu der Verständlichkeit der Aufgabenstellung auf Arbeitsblatt 1, noch bevor die Bearbeitung begann:

„an sich ist die Aufgabe leicht gestellt“ (S7, Aufgabe 1a)

Auf diesem Arbeitsblatt verwechselte außerdem ein Schüler die Strecke s mit der Zeiteinheit s für Sekunde:

„dann setze ich für s jetzt erstmal 1 ein, weil eine Sekunde gegeben ist“ (S8, Aufgabe 1a)

Eine Schülerin versuchte, den freien Fall im Vakuum historisch zu rekonstruieren:

„weil doch damals mal jemand festgestellt hat, dass alle Körper gleich schnell fallen, dachte ich... aber weil das ist ja jetzt ein schwerer Mann, dass der dann eigentlich schneller fällt als so ein Baby, weil das den doch viel schneller runterzieht... war irgendeine Theorie oder sowas, von einem Wissenschaftler“ (S5, Aufgabe 4)

Auf Arbeitsblatt 1 verwirrte der Fachbegriff „allgemeiner Term“ in der Aufgabenstellung einige Schüler, während auf Arbeitsblatt 4 nachgefragt wurde, was unter dem Begriff „idealisisieren“ zu verstehen sei:

„allgemeiner Term mit der Formel für den freien Fall‘, ähm... weiß ich jetzt grad nicht, was ich da machen soll genau“ (S1, Aufgabe 1b)

„weiß ich nicht genau, was mit dem ‚allgemeinen Term‘ gemeint ist, [hier] hätte ich Schwierigkeiten“ (S5, Aufgabe 1b)

„Idealisierungen‘, da ist was mit gemeint?“ (S8, Aufgabe 4)

„was heißt idealisieren?“ (S9, Aufgabe 4)

Auch auf Arbeitsblatt 2 wurde bei mehreren Fachbegriffen nachgefragt, welche die Schüler teilweise noch nie gehört hatten, zudem wurde die sehr hohe Anzahl an neuen Informationen beklagt:

„aus kleiner Höhe‘... was meint das mit kleiner Höhe?“ (S3, Aufgabe 2.1)

„was ist denn ein Körper mit geringer Ausdehnung? Also, kleiner Körper, eine Kugel oder sowas?“ (S9, Aufgabe 2.1)

„ich weiß jetzt nicht, wofür das ‚e-n-d‘ hier steht“ (S1, Aufgabe 2.2)

„was ist denn jetzt die Gewichtskraft, ist das die Masse? Nee, dann hätten sie die Masse geschrieben“ (S2, Aufgabe 2.2)

„ich find es ein bisschen verwirrend, weil so viele Sachen hintereinander aufgereiht aufgezählt sind, und man muss erstmal den Durchblick bekommen,

welche Abkürzung für welchen Faktor steht [...] da sind so viele Sachen, die man dann mit einbeziehen muss [...], so viele Informationen auf einmal [...] also hier sind jetzt diese Buchstaben, viele verschiedene, und hier noch dieses ‚end‘ am Ende, keine Ahnung, was das bedeuten soll... ah, Endgeschwindigkeit, ah ja das wird ja dann erklärt, okay... was auch immer eine Querschnittsfläche ist“ (S7, Aufgabe 2.2)

„das hab ich noch nie gehört [...] damit hab ich halt noch nie gerechnet, diesem c_w , dem Widerstandsbeiwert? Und p , oder... das ist kein richtiges p , sieht irgendwie so aus wie so ein griechischer Buchstabe oder so... Dichte des Mediums, hab ich noch nicht mit gearbeitet [...] dann müsste man die [Werte] wahrscheinlich einsetzen? [...] Was ist denn FL? Ah, Luftwiderstand“ (S5, Aufgabe 2.2)

„ich hab beim Arbeitsblatt 2 nachgeschaut, weil da ja die Formel für den Luftwiderstand angegeben ist, und das bringt mir überhaupt gar nichts, weil ja hier wieder dieser Widerstandsbeiwert da ist“ (S6, Aufgabe 4)

„das hatten wir schonmal [...] den Fall konnte ich berechnen, aber es lag an der Schallgeschwindigkeit, mit der bin ich nicht zurechtgekommen“ (S9, Aufgabe 3)

Auf Arbeitsblatt 2 wurden die beiden Begriffe „dimensionslos“ und „gleichgesetzt“ nicht oder falsch verstanden:

„jetzt weiß ich nicht, in welcher Einheit der Widerstandsbeiwert ist, das muss ja alles in einer Einheit dann sein“ (S5, Aufgabe 2.2)

„FL und FG sind gleichgesetzt... das heißt die gibt es nicht, okay“ (S6, Aufgabe 2.2)

Insgesamt bereitete das Merkmal Fachsprache also beinahe allen Schülern auf unterschiedliche Art und Weise Probleme, was sie entsprechend artikulierten.

6.1.2.3 Äußerungen zum Merkmal Mathematik

Um zu untersuchen, inwiefern das vermutete Merkmal Mathematik die Lösung der Aufgaben erschwert, werden einige Äußerungen der Schüler angeführt, welche auf Schwierigkeiten damit hindeuten. Auf Arbeitsblatt 1 begannen einige Schüler, sich graphisch mithilfe der Skizze eines Koordinatensystems zu orientieren:

„jetzt male ich eine Skizze, um mich zu orientieren, da mache ich die x- und y-Achse, ganz unten ist 0“ (S6, Aufgabe 1a)

Drei Schüler kommentierten beim Umstellen von Formeln den Einsatz von Wurzel- und Potenzgesetzen:

„okay, jetzt weiß ich gerade nicht, was ich mit diesen s^2 machen soll, ich weiß nur, dass wenn ich das alleine haben will, ich die Wurzel davon ziehen muss, aber irgendwie komme ich da jetzt auch nicht weiter“ (S6, Aufgabe 1a)

„also hab ich noch $2 s^2$ ist gleich t^2 , daraus die Wurzel... hab ich 1,41 und minus 1,41 ist t, das heißt... das minus 1,41 ist unlogisch, also ist er nach 1,41 Sekunden auf 10 Metern Höhe“ (S1, Aufgabe 1b)

„hier hab ich ja schon m/s, aber nicht Quadrat... warum hab ich hier jetzt kein Quadrat, wo kommt das Quadrat her? Hier hab ich ja schon ein t, also wenn ich hier jetzt zwei t hab, ist es t^2 , weil das ist ja jetzt die Zeit und s ist ja die genaue Zeit“ (S2, Aufgabe 2.1)

Drei Schüler sprachen außerdem aus, andere Rechengesetze anzuwenden. Darunter fielen der Dreisatz, die Frage nach einem Doppelbruch sowie die Gesetze der Geometrie bei der Berechnung des Flächeninhalts eines Kreises:

„kann man dann mit einem Dreisatz dann runterrechnen?“ (S8, Aufgabe 2.1)

„wir wollen die Geschwindigkeit haben, also muss ich mir die Formel umstellen... nach v^2 , also schreib ich mir die lieber nochmal ohne die eingesetzten Einheiten auf [...] jetzt nach v^2 ... umstellen [*überlegt*], das heißt wir müssen ja alles durcheinander teilen... ja das Umstellen wird jetzt ein bisschen problematisch bei mir... jetzt beispielsweise durch A teilen [...], dann ist es ja alles mit Mal dazwischen, also das heißt man müsste jetzt... ja... wieder... eigentlich wieder teilen, jetzt zum Beispiel durch cw, aber ich weiß nicht, ob man das dann... ob man das einfach so machen kann, weil dann hätte man ja... ob man da dann einen Doppelbruch hätte [...] dann brauchen wir die Querschnittsfläche des Körpers, also das ist... das ist dann die... der Radius... 5 cm... aber der Radius ist ja nur die Hälfte von der Kugel, dann würd ich jetzt sagen dass wir das Ganze da berücksichtigen müssen, also das Doppelte, den Durchmesser“ (S1, Aufgabe 2.2)

„Fläche lässt sich ja berechnen aus dem Querdurchschnitt [...], mit dem Radius kann ich ja auch die Fläche berechnen, Pi mal r^2 “ (S9, Aufgabe 2.2)

Zu der Aufgabe, Formeln ineinander einzusetzen und aufzulösen, äußerten sich ebenfalls drei Schüler:

„es sind so andere Formeln als man sonst im Unterricht hat, deshalb überlege ich gerade, ob mir das bekannt vorkommt oder sowas... nee, also eigentlich muss ich ja nur umstellen nach v end, und da das ja noch zum Quadrat ist, noch die Wurzel ziehen“ (S9, Aufgabe 2.2)

„jetzt hab ich ja immer noch 2 Unbekannte, die Strecke weiß ich ja nicht, wie lang der nach unten braucht [...] ich glaub nicht, dass ich die hier [*Formel für den freien Fall*] jetzt umstellen kann [...] also wenn ich das [*Formel für freien Fall*] jetzt nach das [*zeigt auf s*] umstelle, dann bringt mir das jetzt auch nix, weil mir mein t immer noch fehlt“ (S1, Aufgabe 3)

„[im Unterricht] haben wir das immer so gemacht, wenn wir zwei verschiedene Gleichungen hatten, dann haben wir die immer so gleichgesetzt, und dann haben wir die so voneinander irgendwie abgezogen, und dann am Ende sind so Sachen übrig geblieben, und dann hatten wir so unsere neue Gleichung“ (S6, Aufgabe 4)

Die fünf Schüler, die ohne die angegebenen Formeln versuchten, einen Weg zur Lösung zu finden, schilderten ihr Vorgehen mit mathematischen Hilfsmitteln. Diese kamen in unterschiedlicher Ausprägung auf allen vier Arbeitsblättern zum Einsatz.

6.1.2.4 Äußerungen zum Merkmal Modellierung und Idealisierung

Von einer Mehrheit der Schüler (sechs aus neun) konnten Äußerungen zum Merkmal Modellieren bzw. Idealisieren dokumentiert werden. So wurde auf Arbeitsblatt 2 eine Vereinfachung des Ortsfaktors vorgenommen:

„da wir auf der Erde sind nehme ich jetzt an, dass unser a $9,81 \text{ m/s}^2$, oder vereinfacht 10, also haben wir 25 m/s ist gleich 10 m/s^2 mal t “ (S1, Aufgabe 2.1)

Drei Schüler äußerten sich zu der Vernachlässigung von Größen auf den Arbeitsblättern 2, 3 und 4:

„das heißt, ich kann den Luftwiderstand... das heißt, ich hab keine weiteren einflussgebenden Punkte, außer der Erdanziehungskraft, weil das ja fällt“ (S2, Aufgabe 4)

„wir hatten diese ganzen Sachen nicht, wir hatten kein c_w Widerstandsbeiwert, doch, p hatten wir, Dichte, okay doch, den Rest schon... c_w ist mir unbekannt, und Luftwiderstand haben wir eigentlich immer gesagt, okay, den vernachlässigen wir hier, den haben wir dann eigentlich nie im Unterricht durchgenommen, weil unser Lehrer sagt, ohne den Luftwiderstand ist alles einfacher für uns... jetzt kommt er doch“ (S6, Aufgabe 2.2)

„mit der Schallgeschwindigkeit hab ich auch noch nicht gearbeitet, die haben wir immer weggelassen im Unterricht [...] ich glaube, er meinte, dass wir noch nicht so weit sind, wir sollen es erstmal ausblenden“ (S5, Aufgabe 3)

Auf Arbeitsblatt 4 merkten vier Schüler an, dass es bei der Modellierung in dieser Aufgabenstellung nicht um Rechnen gehe:

„ich glaub jetzt nicht, dass das viel mit Rechnen ist, aber man muss halt einige Sachen mit beachten“ (S1, Aufgabe 4)

„aha, da gibt es gar keine Angaben [...] muss ich mir jetzt selber überlegen, welche Größen hier jetzt wichtig wären“ (S6, Aufgabe 4)

„also das ist für mich jetzt keine Rechenaufgabe, sondern eine Überlegungsaufgabe, wo man halt Zusammenhänge ziehen muss“ (S7, Aufgabe 4)

„weil es dort vielleicht ein bisschen einfacher ist, wenn man einfach schreiben kann, [anstatt] Formeln zu benutzen [...] wenn keine Formeln dabei sind, geht das definitiv besser, weil man da eher einfach freier ist und das besser erklären kann, was man macht [...] bei den Formeln hat man halt nur diese Buchstaben, an die man gebunden ist, und sobald man den einen Buchstaben falsch setzt,

ist halt die komplette Aufgabe falsch, und wenn man das in einem Text beschreiben könnte, was man da gerade macht [...] dann ist das definitiv leichter, das irgendwie zu erläutern“ (S4, Aufgabe 4)

Drei Schüler stellten bei der Bearbeitung von Arbeitsblatt 4 sehr komplizierte Überlegungen an, in welchen sie zu viele Einflüsse berücksichtigten. Zum Teil fiel ihnen dies selbst auch auf, wie ein Schüler kommentierte:

„also es ist auch ein Unterschied, wie jetzt die Person, die springt, wie die sich hält, also ob sie sich jetzt zusammenrollt oder sich ausbreitet wie so ein Flughörnchen, das ist dann... wird sie entweder stärker abgebremst oder langsamer abgebremst“ (S1, Aufgabe 4)

„Dichte des Mediums... also natürlich würde sich das auch ändern, wenn man in einem anderen Medium fallen würde, aber das ist wahrscheinlich, dass man in der Luft fällt [...] ich glaub das macht keinen großen Unterschied, ob der [*Fallschirmspringer*] jetzt ein bisschen näher [*am Fallschirm*] dran hängt oder ein bisschen weiter entfernt ist... ich glaub, das macht gar nicht mal so viel Unterschied aus, höchstens zum Lenken, aber das ist ihm ja egal [...] dann bräuchte ich jetzt noch, aus welchem Material der Fallschirm ist, dass der da vielleicht... möglichst im Wind arbeitet... nee... das sind zu spezifische Überlegungen“ (S2, Aufgabe 4)

„vielleicht auch, wie der Boden gemacht ist? Und, ja, die Höhe... ja eigentlich auch der Wind... eigentlich steht hier ja nur, dass ich mir Gedanken machen muss [...] also wenn natürlich kein Luftwiderstand wäre, wär das ja ideal... oder kein Wind [...], nicht dass der dann nach unten gedrückt wird, oder zur Seite oder sowas... die Form des Fallschirms? Ob das jetzt ein guter Fallschirm ist, der gut abbremst oder so?“ (S9, Aufgabe 4)

6.1.2.5 Äußerungen weiteren Schwierigkeiten

Auch abseits der vier vorgestellten, vermuteten schwierigkeiterzeugenden Merkmale äußerten über die Hälfte (fünf aus neun) der Schüler weitere Schwierigkeiten, die sich ihnen beim Lösungsversuch der Aufgaben in den Weg stellten. Beispielsweise beklagten sie auf den ersten drei Arbeitsblättern, dass ihnen die notwendigen Formeln fehlten. Besonders auf Arbeitsblatt 1 wurde dieser Umstand somit zum meistgenannten Hindernis:

„also mein Problem ist grad erstmal, dass ich die Formeln nicht weiß“ (S3, Aufgabe 1a)

„das Problem ist, ich weiß echt nicht, was für Formeln sozusagen jetzt angewendet werden sollen, weil es zu viele Formeln sind, die man im Kopf hat, aber man weiß nicht, welche jetzt die gesuchte Formel ist“ (S4, Aufgabe 1a)

„ich weiß jetzt nicht, was ich da rechnen soll, weil mir die Formel fehlt... mit der Formelsammlung könnte ich die Aufgabe wahrscheinlich besser bearbeiten“ (S5, Aufgabe 1a)

„ich hab die Formel nicht im Kopf... die Höhe, der Ortsfaktor und die Zeit [gehören da rein]“ (S7, Aufgabe 1a)

„wie war denn die Formel davon, vom freien Fall?“ (S9, Aufgabe 1a)

„also ich denke, mit Formeln wäre das jetzt nicht so schwer“ (S5, Aufgabe 1d)

„die Aufgabe wäre kein Problem, also a und b kommt mir sehr einfach vor, wenn ich dann die Formelsammlung hätte“ (S5, Aufgabe 2.1)

„es sind so andere Formeln als man sonst im Unterricht hat, deshalb überlege ich gerade, ob mir das bekannt vorkommt oder sowas“ (S9, Aufgabe 2.2)

„jetzt haben wir hier wieder das Problem, dass mir die Formel hier fehlt“ (S5, Aufgabe 3)

Einer Schülerin fiel es zudem auf Arbeitsblatt 4 schwer, eine Skizze anzufertigen, obwohl dies in der Aufgabenstellung nicht gefordert wurde:

„ich kann es jetzt gar nicht richtig zeichnen, weil ich das von den Proportionen und so... ich würd es gar nicht richtig hinbekommen, aber dass da vielleicht immer so ne einigermaßen Konstante vorliegen muss“ (S3, Aufgabe 4)

6.2 Analyse der Ergebnisse

Zu Beginn der Reflexionsinterviews wurden die Schüler zunächst nach einem Ranking der Schwierigkeit gefragt, um die vier Arbeitsblätter nach der Bearbeitung einzuordnen. Dabei wurden Arbeitsblatt 1 („Alltagsbezug“) und Arbeitsblatt 4 („Modellierung“) von jeweils knapp der Hälfte der Schüler als leichtestes Arbeitsblatt genannt. Arbeitsblatt 2 erhielt eine Nennung, jedoch mit der Einschränkung, dass aufgrund fehlender Formeln die Lösung der ersten Aufgabe nicht möglich gewesen sei. Arbeitsblatt 3 („Mathematisierung“) wurde mit vier Nennungen von knapp der Hälfte der Schüler als schwierigstes Arbeitsblatt eingestuft. Dieses erhielt zudem als einziges Blatt keine einzige Stimme, das leichteste gewesen zu sein.

Als Begründung für die Einschätzung des schwierigsten Arbeitsblatts wurde in einem Fall für Arbeitsblatt 1 das Fehlen einer Massenangabe genannt. Diesen Umstand nannte der Schüler als Grund dafür, für die Bearbeitung viel Zeit benötigt zu haben und deshalb nicht alle Teilaufgaben geschafft zu haben: *„also, dass ich kein variablenfreies Ergebnis kriegen kann, also dass da immer noch irgendwo ein x stehen würde, oder ein m stehen würde“*. Auf die Frage, welche Maßnahme das Arbeitsblatt eventuell einfacher lösbar gemacht hätte, schlug der Schüler in Ansätzen einen deutlicheren Alltagsbezug vor: *„dass jetzt ein Holzklotz angegeben ist, den ich*

fallen lasse, welche Ausmaße hat der vielleicht... das ist ja zum Beispiel auf 10 mal 10 mal 10 cm, und ein cm² [sic] hat die Masse von so und so“. Er äußert also mit dem Vorschlag, einen konkreten Alltagsgegenstand in der Aufgabenstellung zu erwähnen, dass ihm das beabsichtigte Merkmal in dieser Aufgabe die meisten Schwierigkeiten bereitet hat, und bestätigt somit die Erwartung an dieses Arbeitsblatt. Ein anderer Schüler hätte sich eine Skizze gewünscht: *„das [...] erleichtert das immer sehr stark, weil man sich das dann bildlich vorstellen kann“.* Nahezu alle anderen Schüler äußerten als Schwierigkeit auf Arbeitsblatt die fehlenden Formeln, beklagten diesbezüglich jedoch keinen fehlenden Kontext. Damit wurde das beabsichtigte schwierigkeiterzeugende Merkmal auf diesem Arbeitsblatt von der Mehrheit der Schüler nicht erkannt. Jedoch drückte eine Schülerin den Wunsch nach mehr Kontext in einem generellen Zusammenhang aus: *„ich find es immer besser, so Alltagssituationen oder Sachen, die wirklich passieren können, in Aufgaben mit reinzunehmen, weil da kann man sich wenigstens was drunter vorstellen“.*

Arbeitsblatt 2, welches von zwei Schülerinnen als am schwierigsten eingestuft wurde, enthält in der Originalversion die vielen Fachbegriffe. Beide äußerten dies auch als empfundene Hürde und damit als Grund für diese Einschätzung: *„weil da einfach auch Größen waren, die ich vorher jetzt noch nicht gesehen hab, oder so... weil bei der Nr. 2 steht hier ja das mit dem Widerstandsbeiwert und so“;* *„also das war jetzt neu für mich, dieses p [sic] und cw“.* Die Schülerin, welche Arbeitsblatt 2 als am leichtesten einschätzte, begründete dies jedoch nicht weiter, weshalb ihre Einschätzung mit einem Ausschlussverfahren begründet sein könnte. Auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf diesem Arbeitsblatt nannte sie *„das Gefühl, dass mir hier ein Wert fehlt, um das irgendwie einzusetzen“* als Hürde. Durch den Vergleich mit der Alternative ohne Fachbegriffe äußerten zwei Schüler die fehlenden Fachbegriffe: *„in so ner Fachsprache [...], im Prinzip werden bei der alternativen Version die Fachwörter einfacher erklärt, umschrieben“;* *„nicht mit so vielen Fachwörtern, einfache Alltagssprache, die man auch versteht, wenn man noch nie irgendwas von Physik gehört hat“.* Fünf Schüler merkten an, dass die Alternative möglicherweise für jüngere Schüler

formuliert sein könnte: „aus einer niedrigeren Jahrgangsstufe“; „würde ich eher für so eine jüngere Klasse [...] benutzen“; „das ist wie so ne Aufgabe für Neuntklässler“. Auf den ersten Blick erschien die Alternative für sechs der neun befragten Schüler leichter zu bearbeiten („einfacher geschrieben“), bei näherer Betrachtung äußerten drei von ihnen jedoch, dass ohne Fachbegriffe etwas Wesentliches für die Bearbeitung fehlen würde: „ich finde aber ehrlich gesagt das hier besser, [...] da weiß man direkt: $v = \text{Geschwindigkeit}$, $t = \text{Zeit}$, da weiß man direkt: *Strecke ist gesucht*“. Eine Schülerin verglich das originale Arbeitsblatt mit Aufgaben aus dem Unterricht: „fänd ich sogar die erste Aufgabe leichter auf dem normalen, weil wir das auch immer...“. Ein Schüler fasst den Vergleich der beiden Arbeitsblätter zusammen, indem er einen Vorschlag zur Verbesserung äußert: „es hat beides Vor- und Nachteile, so ein Gemisch aus beiden wäre vielleicht optimal, um die Aufgabe am besten zu lösen, halt einfache Wortwahl, aber trotzdem ein paar Fachwörter [...] hinzuschreiben“. Mit ihren Aussagen im Reflexionsinterview bestätigten die Schüler also nur teilweise die Annahme, dass Fachbegriffe ein physikalisches Problem verkomplizieren. Tatsächlich wirkt eine Aufgabe mit Fachwörtern und neuen Begriffen auf sie nur auf den ersten Blick schwierig, bei genauerem Hinsehen erweisen sich die Fachbegriffe dagegen als hilfreich für die Formelfindung.

Arbeitsblatt 3 wurde, wie bereits erwähnt, von vier Schülern als am schwierigsten eingeschätzt und führt damit im Schwierigkeitsgrad vor den anderen Arbeitsblättern das Ranking an. Das beabsichtigte Merkmal war in diesem Fall die Mathematik. Nur ein Schüler erreicht beim Lösen des Arbeitsblatts den Punkt, an dem die Mathematik greifen würde, die anderen scheitern bereits vorher an den beiden betrachteten Bewegungen und den dafür notwendigen Formeln. Diese Situation wird von einem Schüler treffend zusammengefasst: „da hat so ein bisschen der Weg zum Ziel gefehlt“. Die Mathematik wird damit immerhin von diesem einen Schüler als schwierigkeitserzeugendes Merkmal genannt: „also da war jetzt vom Rechenaufwand [...] das mit dem Brunnen am schwierigsten [...], also das fand ich jetzt vom mathematischen Aufwand her am schwierigsten“. Vier von neun Schülern erkennen zumindest nach Erhalt der Lösungen, dass sie an einem Punkt die

p-q-Formel benötigt hätten, was ihnen ein kleines Erfolgserlebnis verschafft, da sie diese aus dem Stegreif notieren können. Mit diesem Hinweis schlussfolgert eine Schülerin: „also p-q-Formel [...] das war ja gar nicht so schlimm eigentlich“.

Auf dem vierten Arbeitsblatt handelt es sich bei dem schwierigkeits-erzeugenden Merkmal um das Modellieren eines Fallschirmsprungs. Dieses Arbeitsblatt wurde von zwei Schülern als am schwierigsten eingestuft, paradoxerweise jedoch auch von vier Schülern als am einfachsten. Als Begründung dafür, dass ihnen die Modellierung am leichtesten von allen vier Arbeitsblättern fiel, nannten sie nahezu einstimmig, dass sie dort nicht hätten rechnen müssen: „*eigentlich nur mal seine Gedanken [...] runterzuschreiben [...], einfach eine reine physikalische Logikaufgabe*“; „*man musste sich nicht an irgendwas halten, sondern man konnte selbst überlegen*“; „*da war nichts mit Zahlen gegeben*“. Auf der anderen Seite bereitete genau dies den beiden Schülern die größten Probleme, welches Arbeitsblatt 4 am schwierigsten fanden: „*viel Denken und so Vorstellungskraft*“; „*nichts, woran man sich orientieren könnte, vielleicht ein Tipp oder sowas*“. Eine Schülerin schlussfolgerte, die Schwierigkeit könnte darin liegen, dass „*man dazu neigt, vielleicht auch unnötige Größen mit einzubeziehen*“. Interessanterweise konnten die meisten Schüler, wie in der Theorie (s. Kap. 2.2.4) dargestellt, den Modellbegriff in der Physik nicht richtig einordnen, versuchten jedoch, ihre Vorstellung davon zu erklären. Zwei Schüler nannten beispielhaft „*in der Atomphysik das Atommodell*“ sowie „*in Chemie haben wir [...] so Teilchenmodelle*“ und verknüpfen die Modellierung demnach mit ihrem Vorwissen, jedoch warf eine Schülerin ein: „*aus Physik so... kenn ich eigentlich jetzt so kein Modell, da machen wir eher so Experimente, um die Sachen so zu verstehen*“. Insgesamt ist das Merkmal der Modellierung eher zwiespältig aufgefasst worden und führte nur in manchen Fällen zu einer Schwierigkeit beim Problemlösen. Das Arbeitsblatt erfüllte demnach nicht vollständig die Erwartungen.

In der Vorstudie ging es unter anderem darum, die Validität der Materialien zu überprüfen. Für die Auswertung der Fragebögen war eine quantitative Analyse angedacht, indem die Ausprägung auf den jeweiligen Skalen in

Relation gesetzt werden. Da von den Experten-Fragebögen lediglich zwei Exemplare zurückkamen, können jedoch leider keine hinreichenden Schlüsse daraus gezogen werden. Es fällt auf, dass für Arbeitsblatt 1 („Alltagsbezug“) vom ersten Experten jedes der fünf abgefragten Merkmale in mittlerem Ausmaß attestiert wurde. Eine klare Abgrenzung des eigentlichen schwierigkeiterzeugenden Merkmals ist hier nicht erkennbar. Interessanterweise ist der fehlende Alltagsbezug auch kaum erkannt worden. Der zweite Experte, dessen Fragebogen eingereicht wurde, erkannte etwas deutlicher das Fehlen eines Alltagskontexts, jedoch werden von ihm auch die anderen Merkmale (außer Modellierung) als stark bis sehr stark ausgeprägt angesehen. In seiner allgemeinen Rückmeldung gab er zudem an, das Arbeitsblatt enthielte „zu viele Indizes z.B. v_{y1} , v_{y3} , usw nur gut wenn schon vorher erklärt“. Dies deutet ebenfalls auf eine vermutete Schwierigkeit hin. Zwischen den beiden abgegebenen Fragebögen ist daher eine große Inter-Rater-Diskrepanz abzulesen.

Auf Arbeitsblatt 2 („Fachsprache“) wurde vom ersten Experten für die erste Aufgabe die gleiche Einschätzung getroffen wie für Arbeitsblatt 1. Für die zweite Aufgabe dagegen wurde jedes Merkmal als sehr stark ausgeprägt angekreuzt, immerhin auch das eigentliche Merkmal Fachsprache. Der zweite Experte fand die Fachsprache ebenfalls stark ausgeprägt, jedoch hielt er die Komplexität und Mathematisierung für noch auffälliger auf diesem Arbeitsblatt. Einen Alltagsbezug sah er dagegen dort nur schwach vorhanden.

Die beabsichtigte Mathematik wurde auf Arbeitsblatt 3 von dem zweiten Experten als stark ausgeprägt angegeben, vom ersten Experten dagegen mit einer Ausprägung von 3/6 als tendenziell eher schwach. Beide Experten lobten jedoch die Skizzen, die auf dem Arbeitsblatt als Hilfestellung gegeben sind. Insgesamt wurde für dieses Arbeitsblatt eine hohe bis sehr hohe Kontextorientierung attestiert, auch die anderen Merkmale wurden als stark ausgeprägt angegeben. Da lediglich die Mathematisierung als Merkmal in seiner Ausprägung vom ersten Experten aus dem Rahmen fällt, erfüllt dieses Ergebnis ganz und gar nicht die Erwartung und die beabsichtigte Intention. Dies wird im nachfolgenden Kapitel 6.3 ausführlicher diskutiert.

Arbeitsblatt 4 zeigt ein etwas deutlicheres Bild bezüglich der beabsichtigten Schwierigkeit. Von beiden Experten wurde das Merkmal Modellierung als sehr stark ausgeprägt angegeben. Jedoch werden auf beiden abgegebenen Fragebögen auch die anderen Merkmale als stark bis sehr stark ausgeprägt wahrgenommen, mit Ausnahme der Mathematisierung. Diese wurde vom zweiten Experten als eher schwach empfunden. Der erste Experte gab zwar an, sie sei (wie alle anderen Merkmale) sehr stark ausgeprägt, jedoch mit Anmerkungen. Er stellte in Frage, dass *„laut Aufgabenstellung wohl nur „größer““* gefragt sei: *„es sind doch wohl keine Formeln gefordert“* und seine Einschätzung einer sehr starken Ausprägung der Mathematisierung gelte nur, *„falls funktionale Abhängigkeiten in qualitativen Graphen gefordert sind“*.

Zuletzt sei noch erwähnt, dass alle neun Schüler bei der Bearbeitung Zeitprobleme beklagten. Zeitmangel ist auch ein schwierigkeiterzeugendes Merkmal (s. Kap. 2.2.5), jedoch nicht Teil dieser Untersuchung. Aus Zeitgründen war von vornherein angesetzt, dass für die Bearbeitung jedes Arbeitsblatts nur etwa 5 Minuten Zeit gegeben werden sollten. Daher waren die geäußerten Zeitprobleme absehbar und verständlich. Geplant war, dass die Schüler jedes Arbeitsblatt nur so weit bearbeiten sollten, wie sie es in 5 Minuten schaffen würden. Dabei bestand die Vorstellung, dass sie innerhalb dieser kurzen Zeit beim Lösen auf das spezifische schwierigkeiterzeugende Merkmal stoßen und dieses im lauten Denken artikulieren würden.

6.3 Diskussion

In der durchgeführten empirischen Studie wurde die Fähigkeit von Schülern untersucht, schwierigkeiterzeugende Merkmale in physikalischen Problemen zu erkennen, zu artikulieren und in der Folge zielgerichtet um Unterstützung zu bitten. Die vorgestellten Ergebnisse werden in diesem Kapitel hinsichtlich der formulierten Forschungsfragen (s. Kap. 4) diskutiert.

Wissenschaftliche Studien unterliegen bestimmten Regeln, welche sich durch Gütekriterien einhalten lassen. Die drei zentralen Kriterien, die bei empirischer Arbeit erfüllt sein müssen, sind die Reliabilität, Validität und Objektivität. Dabei stellt ein hohes Maß an Reliabilität eine „Stabilität und Genauigkeit der Messung sowie [eine] Konstanz der Messbedingungen“

(Mayring 2015, S. 123) sicher. Die Validität bezeichnet die Gültigkeit und bildet ab, „ob das gemessen wird, was gemessen werden sollte“ (ebd.). In der qualitativen Forschung hat die Validität einen höheren Stellenwert als die Reliabilität (vgl. ebd., S. 53). Generell gilt, dass eine hohe Validität eine eventuell niedrigere Reliabilität aufwiegt (vgl. Uhden 2016, S. 17). Die Objektivität schließlich beschreibt die Unabhängigkeit eines erzielten Ergebnisses von der Person, welche die Studie durchführt (vgl. Mayring 2015, S. 124). Um die Reliabilität zu prüfen, werden in der Regel Re-Tests oder Parallel-Tests durchgeführt, welche jedoch aus Zeit- und Personalgründen im Rahmen dieser Arbeit nicht realisiert werden konnten. Zudem werden die drei genannten, klassischen Gütekriterien in ihrer Übertragbarkeit auf die qualitative Inhaltsforschung häufig kritisiert, da sie dort nicht immer in gleichem Maße garantiert werden können oder die Durchführung mit anderen Problemen verbunden wäre (vgl. ebd., S. 123). Für die qualitative Inhaltsanalyse wurden diese Kriterien daher ergänzt, sodass acht spezifisch inhaltsanalytische Gütekriterien formuliert wurden. Die Validität muss demnach auch auf semantischer Ebene gelten, dies erfordert eine „Richtigkeit der Bedeutungsrekonstruktion des Materials“ (ebd., S. 126). Auch die Stichprobengültigkeit muss gewährleistet sein. Weiterhin ist eine korrelative Gültigkeit erforderlich, wodurch die Kriterien der Studie „durch Korrelation mit einem Außenkriterium“ (ebd.) validiert werden. Die Vorhersagegültigkeit lässt sich bestätigen, wenn aus den Ergebnissen Prognosen abgeleitet werden können (vgl. ebd., S. 127). Lässt sich ein Analyseinstrument erneut auf das Material anwenden, ist die Stabilität der Analyse gewährleistet. Führt die Analyse unter anderen Umständen, beispielsweise mit anderen Akteuren, zu den gleichen Ergebnissen, ist dies ein Indiz für die Reproduzierbarkeit (vgl. ebd.). Zuletzt wird mit der Exaktheit überprüft, zu welchem Grad „die Analyse einem bestimmten funktionellen Standard entspricht“ (ebd., S. 128).

Bezogen auf die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Studie, lässt sich zunächst die Stichprobenvalidität bestätigen. Die Schüler stellten eine heterogene Gruppe mit verschiedenen hohen Leistungen im Fach Physik dar, zudem waren beide Geschlechter zu annähernd gleichen Anteilen vertreten (s. Kap. 5.1.2). Die semantische Validität hätte in der Vorstudie durch die

Antworten der Experten geprüft werden sollen. Jedoch zeigen die Ergebnisse der Auswertung der beiden eingegangenen Fragebögen (s. Kap. 6.2) eine deutliche Diskrepanz und lassen keine eindeutigen Schlüsse zu. In den Materialien wurde, bis auf eine Ausnahme, das beabsichtigte schwierigkeits-erzeugende Merkmal nicht in dem Maße ausgeprägt wahrgenommen, wie es erwünscht war. Darüber hinaus waren jeweils die anderen Merkmale für die Experten ebenso ausgeprägt in den Materialien enthalten. Lediglich das Merkmal der Modellierung wurde auf dem entsprechenden Arbeitsblatt 4 als sehr stark ausgeprägt eingeschätzt. Dieses ist jedoch auch in der Aufgabenstellung explizit und wörtlich erwähnt, weshalb es sehr einfach zu erkennen ist. Warum die anderen drei Merkmale jedoch auf Arbeitsblatt 4 ebenfalls als so stark ausgeprägt wahrgenommen wurden, lässt sich an dieser Stelle nur vermuten. Zumindest für die als hoch eingestufte Mathematisierung lieferte der erste Experte eine Begründung (s. Kap. 6.2). Die starke Ausprägung der Fachsprache lässt sich eventuell mit der Verwendung der Begriffe „qualitativ“, „Variablen“, „Idealisierungen“ und „Modellierung“ in der Aufgabenstellung erklären. Stabilität und Reproduzierbarkeit der Analyse lassen sich mit einer erneuten Durchführung mit anderen Probanden oder aber mit überarbeiteten Materialien überprüfen, worauf später noch näher eingegangen werden soll. Von einer hohen Objektivität kann zuletzt ausgegangen werden, da keine persönlichen Interessen seitens der Durchführenden verfolgt wurden und die Verfasserin dieser Arbeit in keiner Weise mit den Schülern und Experten der Studie in Verbindung steht.

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt ist, formulierten die Schüler in den Reflexionsinterviews in der Regel zu jedem Arbeitsblatt Äußerungen, die auf das jeweilige schwierigkeits-erzeugende Merkmal hindeuten. Es stellt sich die Frage, inwiefern diese Äußerungen für sich genommen dahingehend interpretiert werden können, ob Schüler generell schwierigkeits-erzeugende Merkmale über ihre individuellen Hürden erkennen können und ob ihnen diese Erkenntnis beim Lösungsvorgang helfen kann. Tendenziell stach eine Aussage aus den Äußerungen der Schüler besonders heraus. Nahezu alle Schüler beklagten, sie könnten die Aufgaben nicht lösen, weil ihnen dazu erforderliche Formeln fehlten. Entsprechend des in Kapitel 2.2.5 dargestellten

Einflusses der Zeit zwischen Lern- und Bearbeitungszeitpunkt eines Themas kann diese Hürde für die Schüler damit begründet werden, dass der freie Fall im ersten Halbjahr behandelt wurde und damit zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Studie schon einige Wochen zurücklag. Um das Ergebnis nicht zu verfälschen, wurden die Schüler zudem nicht darüber informiert, was sie inhaltlich erwartet, damit sie nicht wie für eine Klausur lernen können. Demnach war der Wunsch nach einer Angabe von Formeln durchaus absehbar und hätte in der Konzipierung der Materialien berücksichtigt werden sollen. Dies müsste bei einer weiterführenden Forschung auf diesem Gebiet in die Materialien mit einfließen, da auf diese Weise eine schärfere Fokussierung auf das jeweilige Merkmal in den Aufgaben ermöglicht wird. Entsprechende Hilfestellungen, um alle anderen schwierigkeiterzeugenden Merkmale zu reduzieren, sowie deutlich kürzere Aufgabenstellungen, um dem Zeitproblem vorzubeugen, wären daher hilfreich für zukünftige Erhebungen.

Die Reflexionsinterviews boten neben den Expertenfragebögen eine weitere Möglichkeit der Validierung. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Äußerungen der Schüler, wie bereits erwähnt, nur interpretiert werden können, da diese keine eindeutigen Aussagen über die Merkmale getroffen haben. Es stellt sich demnach die Frage, ob die Schwierigkeiten beim Lösen der Aufgaben nur durch das vermutete Merkmal bedingt sind oder eventuell auch aus anderen Faktoren resultieren, wie beispielsweise sprachliche Unklarheiten in der Aufgabenstellung (vgl. Uhden 2016, S. 18). Die abschließende Reflexion in den Interviews enthielt zwar auch Fragen, die der Überprüfung der Validität dienen, wie beispielsweise nach Verbesserungsvorschlägen für die Formulierung der Arbeitsblätter (Arbeitsblatt 1 „Alltagsbezug“) oder der Vergleich mit dem Alternativarbeitsblatt 2, auf deren Grundlage man die Materialien optimieren könnte. Jedoch wurde nicht konkret aus diesem Grund danach gefragt, sondern um noch mehr Aussagen über das schwierigkeiterzeugende Merkmal zu erhalten.

Die untersuchten Merkmale und erzielten Ergebnisse lassen sich auch mit der vorgestellten Literatur belegen. Der Gebrauch von Mathematik wurde beispielsweise auch in der norwegischen Studie als (sehr) schwierig von den

Schülern beurteilt. Dabei wurde jedoch die Beschreibung von physikalischen Phänomenen mithilfe der Mathematik deutlich häufiger als schwierig eingeschätzt, als der Gebrauch von Mathematik zur physikalischen Problemlösung (vgl. Angell et al. 2004, S. 691). Demnach bedeutet die reine Anwendung von Mathematik, um Aufgaben zu lösen, also auszurechnen, für die überwiegende Mehrheit kein Problem. Die Schwierigkeit liegt hierbei in der mathematischen Beschreibung von Phänomenen, die aber in der Schule zu diesem Zeitpunkt nicht so eine große Rolle spielt: „However, pupils in our study did not see lack of mathematical skills as a serious problem for them in physics“ (ebd., S. 692). Wie die Auswertung des Lauten Denkens (s. Kap. 6.2) zeigt, deckt sich dieses Ergebnis auch mit den Aussagen der Schüler in dieser Erhebung. Sie beweisen in der Reflexion größtenteils, dass sie die p-q-Formel beherrschen und anwenden können, jedoch lediglich, weil sie mithilfe der Lösungen darauf aufmerksam gemacht werden, dass sie erforderlich ist. Das eigentliche Problem lösen sie damit trotzdem nicht erfolgreich.

Die Modellierung wurde von den Schülern deshalb so häufig als einfach angesehen, da sie (entsprechend der Literatur) meist gar nicht richtig definieren konnten, was man unter einem Modell in der Physik versteht. Dass dabei komplexere Betrachtungen eine Rolle spielen, war den meisten Schülern nicht bewusst, und sie freuten sich im Gegenzug darüber, dass sie mit Arbeitsblatt 4 erstmals keine „klassische“ Aufgabe vor sich hatten, wie sie sie aus dem Unterricht oder von den vorherigen Arbeitsblättern gewohnt waren. Ihre Aussagen zeigen größtenteils, dass die Aussicht auf ein Arbeitsblatt mit *„nichts zum Rechnen, einfach nur zum Überlegen“* vielen Schülern auf den ersten Blick den Eindruck verschafft, es sei eine einfache Aufgabe. Wie bereits erwähnt, decken sich jedoch die Verknüpfung des Modellbegriffs mit ihrem Vorwissen sowie die Probleme, den Begriff eindeutig und korrekt zu definieren, mit der Literatur (s. Kap. 2.2.4).

Das Merkmal der Fachsprache wurde entgegen der in der Literatur aufgestellten These, sie würde den Physikunterricht verkomplizieren, von den meisten Schülern als erleichternd aufgefasst. Besonders die Schüler, deren Halbjahresnote in Physik gut oder sehr gut war, erkannten das Potenzial von Fachbegriffen in einer Aufgabenstellung, daraus die benötigten Formeln her-

zuleiten. Die einfache Sprache auf dem Alternativarbeitsblatt 2 empfanden die Schüler dagegen als eher störend, kindlich und nur auf den ersten Blick leichter verständlich. Damit deckt sich das Ergebnis dieser Studie nicht mit der Literatur.

Die erste Forschungsfrage F1 (*Werden die in der Literatur vermuteten, schwierigkeiterzeugenden Merkmale auch von Schülern artikuliert, während sie physikalische Probleme lösen sollen?*) kann abschließend dahingehend beantwortet werden, dass die Schüler zwar Merkmale andeuten, die ihnen bei der Lösung der Probleme Schwierigkeiten bereiten, jedoch keines davon explizit. Stattdessen wird im Lauten Denken und später in den Reflexionsinterviews größtenteils der Mangel an Formeln dafür verantwortlich gemacht. Die erste Hypothese H1a (*Die schwierigkeiterzeugenden Merkmale lassen sich nur sehr schwer voneinander abgrenzen und können in einem Problem nicht vollständig isoliert voneinander untersucht werden.*) wird anhand der wenig befriedigenden Aussagen der Experten zu den Materialien bestätigt. Es ist demnach nicht gelungen, die Arbeitsblätter so eindeutig zu gestalten, dass ein schwierigkeiterzeugendes Merkmal dominiert und deutlich als solches erkannt wird. Dies führt dazu, dass die zweite Hypothese H1b (*Den Schülern fällt die Identifikation eines konkreten Merkmals bei der Lösung eines Problems schwer.*) ebenfalls als bestätigt angenommen werden kann. Wie die Aussagen der Schüler im Lauten Denken darlegen, können zwar Anhaltspunkte für eine Merkmalsidentifikation gefunden werden, jedoch bestätigen die Äußerungen im Großen und Ganzen, dass kein eindeutiges Merkmal für die Schwierigkeiten der Schüler verantwortlich ist, abgesehen möglicherweise von fehlenden (oder vergessenen) physikalischen Grundlagen. Daraus folgt, dass die zweite Forschungsfrage F2 dieser Arbeit (*Können Schüler die erkannten Merkmale dazu nutzen, diese Schwierigkeiten beim Lösen zu überwinden, indem sie zielgerichtet nach Unterstützung fragen?*) nur eingeschränkt beantwortet werden kann. Da die beabsichtigten Merkmale nicht in jedem Fall eindeutig erkannt wurden, sondern vor allem die fehlenden Formeln beklagt wurden, wird die Hypothese H2 (*Da die Schüler das konkrete Merkmal nicht eindeutig erkennen und artikulieren können, werden sie nicht nach einer konkreten Hilfe fragen.*) als bestätigt angesehen. Ab-

gesehen von Formeln wurde keine konkrete Hilfe bei den Interviewern erbeten, was auch auf den Physikunterricht übertragen werden kann.

Zuletzt sei noch erwähnt, dass die extrem niedrige Rücklaufquote (8 %) bei den Expertenfragebögen in der Vorstudie eventuell durch Maßnahmen hätte erhöht werden können. Obwohl durch die Aussicht, zu einer wichtigen physikdidaktischen Forschung beitragen zu können, sowie die Ergebnisse direkt bei einer der nächsten Tagungen präsentiert zu bekommen, eigentlich Anreize zur Teilnahme geboten wurden, kamen nur 2 von 25 ausgegebenen Fragebögen zurück. Die Dringlichkeit der Expertenmeinung hätte möglicherweise deutlicher betont werden müssen und auch eine Belohnung für die Mühe hätte eventuell für mehr Rücklauf gesorgt. Auch dies gilt es bei der weiterführenden Forschung oder einer Wiederholung der Studie zu berücksichtigen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit schwierigkeiterzeugenden Merkmalen in physikalischen Problemen. Zunächst wurden anhand der Literatur die Begriffe Problem und Problemlösen definiert und fachspezifisch auf den Physikunterricht bezogen. Anschließend wurde mit den ausgewählten schwierigkeiterzeugenden Merkmalen Alltagsbezug, Fachsprache, Mathematisierung, Modellierung sowie der Komplexität und anderen, erwähnenswerten Einflüssen, die theoretische Grundlage dieser Arbeit geschaffen. Anhand der vier erstgenannten Merkmale, basierend auf Merzlyn (2008), wurde die Studie erstellt, die für den empirischen Teil dieser Arbeit durchgeführt wurde. Als physikalischer Hintergrund diente das Thema des freien Falls, der in der Einführungsphase zur gymnasialen Oberstufe behandelt wird und sich als Teilgebiet der Mechanik sehr gut für die Untersuchung der Problemlösekompetenz eignete. Das qualitative Studiendesign bot eine Vorstudie zur Validierung der Materialien sowie eine gemischte Stichprobe von Schülern aller Leistungsstände in der Hauptstudie, die mithilfe des Lauten Denkens speziell konzipierte Probleme lösen sollten. Jedes dieser Probleme war auf eines der vier schwierigkeiterzeugenden

Merkmale konzentriert, auf das die Schüler beim Bearbeiten stoßen sollten und aufgrund dessen sie das Problem nicht lösen können sollten. Die Auswertung der Arbeitsphase erfolgt auf Basis des Lauten Denken, welches mithilfe eines Diktiergeräts aufgezeichnet wurde. Die anschließende Reflexionsphase ermöglichte es, mit jedem Schüler in Form eines leitfadensbasierten Interviews die Schwierigkeiten bei jedem Arbeitsblatt zu analysieren. Damit sollten individuelle Hürden identifiziert werden, um die in Kapitel 4 formulierten Forschungsfragen zu beantworten.

7.1 Weiterführende Forschung

Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten und analysierten Ergebnisse dieser Studie bereiten den Weg für eine weiterführende Forschung auf dem Gebiet des Umgangs mit Schülerschwierigkeiten. Zwar konnten mit der empirischen Forschung im Rahmen dieser Arbeit bereits interessante Erkenntnisse gewonnen werden, jedoch sind nach wie vor Fragen offen, die durch das Studiendesign und die verwendeten Materialien nicht beantwortet werden konnten. Doch auch die Forschungsfragen dieser Arbeit, die im vorangegangenen Kapitel 6.3 diskutiert wurden, konnten zum Teil nicht zur vollen Zufriedenheit beantwortet werden. Einerseits war die Stichprobe mit $n = 9$ Schülern auch für eine qualitative Studie recht klein. Mit einer größeren Stichprobe, möglicherweise von mehreren Schulen, ließe sich noch besser erforschen, wie sich die schwierigkeiterzeugenden Merkmale auf die Problemlösekompetenz von Schüler auswirken und ob bei einer größeren Anzahl an untersuchten Schülern mehr von ihnen es schaffen, die Hürden zu artikulieren.

Andererseits muss der Grund für die teilweise unbefriedigenden Ergebnisse auch in den Materialien vermutet werden. Da eine der meistgeäußerten Hürden der Schüler die fehlenden Formeln war, wäre es für zukünftige Untersuchungen hilfreich, mehr Formeln vorzugeben, damit die Schüler nicht bereits aufgrund dieses Mangels an einer Aufgabe scheitern. Durch mehr vorgegebene Hilfen wie Formeln, Hinweise oder Skizzen lässt sich die Schwierigkeit gezielter von einem bestimmten Merkmal erzeugen, wodurch der Einfluss dieses Merkmal besser untersucht werden kann. Damit die Kompliziertheit der Aufgaben nicht das eigentliche schwierigkeits-

erzeugende Merkmal überlagert, könnten sie in ihrem Umfang reduziert werden. Dies würde auch das Zeitproblem lösen und den Schülern die Möglichkeit geben, sich ohne Druck mit den Problemen zu beschäftigen. Eine Überarbeitung der Materialien für eine weiterführende Untersuchung ist demnach notwendig.

Wie die Wahrnehmung der Schwierigkeit von Physikunterricht mit einer kognitiven Aktivierung durch Lehrer zusammenhängt, wurde in einer früheren Examensarbeit untersucht (vgl. Fareed 2019). Wie sich dies auf die physikalischen Probleme auswirkt, die im Unterricht oder im Rahmen von Leistungstests behandelt werden, muss Bestandteil einer weiterführenden Forschungsfrage sein. Dabei wäre auch interessant herauszufinden, ob sich dabei Unterschiede zwischen den Schulformen ergeben und wie sich die Problemlösefähigkeit unter Einfluss der schwierigkeiterzeugenden Merkmale zwischen Jungen und Mädchen unterscheidet. Die Forschung auf diesem Gebiet ist daher noch lange nicht abgeschlossen und viele Fragen müssen weiterführend geklärt werden. Die Physikdidaktik wird sich in den kommenden Jahren weiter darum bemühen müssen.

7.2 Implikationen für den Physikunterricht

Basierend auf den Ergebnissen der hier vorgestellten Studie ergeben sich mögliche Implikationen für den Physikunterricht, um in Zukunft besser mit Schülerschwierigkeiten beim Lösen von physikalischen Problemen umgehen zu können. Die untersuchten schwierigkeiterzeugenden Merkmale bedingen in unterschiedlichem Maße die Problemlösefähigkeit der Schüler. Aufgrund der kleinen Stichprobe sind die Ergebnisse zwar nicht repräsentativ für die Gesamtheit der Schüler, jedoch lassen sich Tendenzen daraus ableiten, die sich auf die Unterrichtspraxis anwenden lassen und dabei helfen können, den Unterricht zu verbessern.

Das Ergebnis der Forschungsfrage F1 (*Werden die in der Literatur vermuteten, schwierigkeiterzeugenden Merkmale auch von Schülern artikuliert, während sie physikalische Probleme lösen sollen?*) deutet darauf hin, dass es den Schülern in dieser Studie schwerfiel, bestimmte Merkmale zu erkennen und daraufhin zu benennen. Aus diesem Grund lässt sich für den Physik-

unterricht folgern, dass Lehrkräfte ihren Schülern bereits im Problemlöseprozess unterstützend zur Seite stehen und ihnen Hilfe anbieten sollten, wenn sie Schwierigkeiten seitens der Schüler bemerken. Es ist demnach sinnvoll, mit den Schülern gezielt das Erkennen dieser Merkmale zu üben und sie dafür zu sensibilisieren, damit in Zukunft auch die zweite Forschungsfrage F2 (*Können Schüler die erkannten Merkmale dazu nutzen, diese Schwierigkeiten beim Lösen zu überwinden, indem sie zielgerichtet nach Unterstützung fragen?*) positiv beantwortet werden kann.

Darüber hinaus könnten Aufgaben im Physikunterricht von vornherein so konzipiert werden, dass die untersuchten schwierigkeiterzeugenden Merkmale möglichst reduziert werden und die Probleme sich rein auf ihren physikalischen Aspekt konzentrieren. Wie jedoch die in Kapitel 2 vorgestellten Studien zeigen, lässt sich die Physik nicht ohne weiteres von diesen Merkmalen trennen. Es ist somit nahezu unmöglich, Aufgabenstellungen so zu entwerfen, dass sie kein schwierigkeiterzeugendes Merkmal mehr enthalten, da jedes davon auf seine Weise den Kern des Physikunterrichts ausmacht.

8. Literaturverzeichnis

- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K. & A. Isnes (2004). Physics: Frightful, But Fun. Pupils' and Teachers's Views of Physics and Physics Teaching. *Science Education*, 88, 683–706.
- Behrendt, H. (2004). Kinematik. Langweilige Pflichtübung oder Chance für interessanten Physikunterricht? *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 83(15), 4–9.
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing Science to Life. A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Science Education*, 91(3), 347–370.
- Bennett, J., & Hogarth, S. (2009). Would YOU want to talk to a scientist at a party? High school students' attitudes to school science and to science. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1975–1998.
- Brandenburger, M., Mikelskis-Seifert, S. & Labudde, P. (2014). Einfluss der Kenntnisse in Mathematik auf das Problemlösen in Physik. In: Bernholt, S. (Hrsg.). *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in München 2013. Kiel: IPN, 294–296.
- Brandenburger, M. (2016). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden*. Berlin: Logos.
- Bybee, R. W. (2008). Scientific literacy, environmental issues, and PISA 2006: the 2008 Paul F-Brandwein lecture. *Journal of Science Education and Technology*, 17(6), 566–585.
- Demtröder, W. (2018). *Experimentalphysik I. Mechanik und Wärme*. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Digel, S. (2018). *Messung von Modellierungskompetenz in Physik. Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*. Dissertation, Universität Koblenz/Landau.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. 1. Aufl. Stuttgart u.a.: Kohlhammer.
- Dörner, D. (2006). Sprache und Denken. In: Funke, J. (Hrsg.). *Denken und Problemlösen*. Hogrefe: Verlag für Psychologie, 619–643.

- Dorsch, A. (2013). *Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben*. Berlin: Logos.
- Einstein, A. (1991). *Mein Weltbild*. Hrsg. von Carl Seelig. Frankfurt am Main, Berlin: Ullstein.
- Fareed, B. U. (2019). *Schülerwahrnehmung zur Schwierigkeit von Physikunterricht und der kognitiven Aktivierung durch die Lehrkraft*. Wissenschaftliche Hausarbeit, Universität Frankfurt.
- Fischler, H., Gebhard, U. & Rehm, M. (2018). Naturwissenschaftliche Bildung und Scientific Literacy. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.). *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, 11–29.
- Ford, K. W. (1989). Is physics difficult? *American Journal of Physics*, 57, 871–872.
- Frensch, P. A. & Funke, J. (1995). Definitions, Traditions, and a General Framework for Understanding Complex Problem Solving. In: Frensch, P. A. & Funke, J. (Hrsg.). *Complex Problem Solving. The European Perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 3–25.
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen. Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Berlin: Logos.
- Friege, G. & Lind, G. (2003) Allgemeine und fachspezifische Problemlösekompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 63–74.
- Fruböse, C. (2010). Der ungeliebte Physikunterricht. Ein Blick in die Fachliteratur und einige Anmerkungen aus der Praxis. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 63(7), 388–392.
- Funke, J. (2006). Komplexes Problemlösen. In: Funke, J. (Hrsg.). *Denken und Problemlösen*. Hogrefe: Verlag für Psychologie, 376–384.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742–752.
- Harp, S. F. & Mayer, R. E. (1998). How Seductive Details Do Their Damage. A Theory of Cognitive Interest in Science Learning. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 414–434.

- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education* 22(9), 1011–1026.
- Hepp, R. (2004). Mit dem freien Fall beginnen. Ein Vorschlag für Unterricht zum Thema „Beschleunigung“. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 83(15), 23–26.
- Hepp, R. & Krüger, A. (2004). Kinematik-Aufgaben: nur langweilige Rechnerei? Interessante Aufgaben stellen und Hilfen zur richtigen Lösung geben. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 83(15), 39–40.
- Hessisches Kultusministerium (Hrsg.) (2010). *Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang, Gymnasiale Oberstufe*. Wiesbaden; Zugriff online unter <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/go-phsik.pdf> (zuletzt 26.04.2019).
- Hessisches Kultusministerium (Hrsg.) (2016). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe – Physik*. Wiesbaden; Zugriff online unter <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kcgo-ph.pdf> (zuletzt 26.04.2019).
- Hoffmann, L. & Lehrke, M. (1985). *Eine Zusammenstellung erster Ergebnisse aus der Querschnitterhebung 1984 über Schülerinteressen an Physik und Technik vom 5. bis 10. Schuljahr*. Kiel: IPN.
- Höttecke, D. & Wodzinski, R. (2015). Diagnostizieren und Fördern. Hintergründe, Ansätze und Probleme von Diagnostik im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 147/148(26), 2–10.
- Hudson, M. T & McIntire, W. R (1977). Correlation between mathematical skills and success in physics. *American Journal of Physics* 45(5), 470–471.
- Jones, A. T. (1983). Investigation of students' understanding of speed, velocity and acceleration. *Research in Science Education*, 13, 95–104.
- Jung, W. (1985). *Versuche mit der Methode des „lauten Denkens“ bei physikalischen Problemen*. Forschungsbericht, Universität Frankfurt am Main.
- Kauertz, A. (2008). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben*. Berlin: Logos.
- Kiehl, S. (2013). *Subjektive Theorien von Lehrkräften bezüglich fremdsprachenintegriertem Physikunterricht*. Wissenschaftliche Hausarbeit, Universität Kassel.

- Kircher, E. (2010). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In: Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 735–762.
- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In: Mey, G. & Mruck, K. (Hrsg.). *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 476–490.
- Krüger, D., Kauertz, A. & Upmeyer zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.). *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, 141–157.
- Kucan, L. & Beck, I. L. (1997). Thinking Aloud and Reading Comprehension Research: Inquiry, Instruction, and Social Interaction. *Review of Educational Research*, 67(3), 271–299.
- Lehner, M. (2012). *Didaktische Reduktion*. Bern: Haupt.
- Leisen, J. (1999). Modellbildungssysteme. Didaktische und methodische Aspekte. *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, 48(2), 1–3.
- Leisen, J. (2004). Kinematik ohne Dynamik? *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 83(15), 10–11.
- Leisen, J. & Berge, O. E. (2005). Kurze Rede langer Sinn. Das Verhältnis von Verstehen und Fachsprache. *Unterricht Physik*, 87(16), 26–27.
- Leisner, A. (2005). *Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. Eine Evaluationsstudie in der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos.
- Löffler, P. & Kauertz, A. (2015). Modellanwendung in kontextualisierten Problemlöseaufgaben. In: Bernholt, S. (Hrsg.). *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014. Kiel: IPN, 648–650.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 12., überarb. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz.

- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter? Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 5–96.
- Merzyn, G. (2010). Physik – ein schwieriges Fach? *Praxis der Naturwissenschaften Physik* 59(5), 9–12.
- Mey, G. & Mruck, K. (2010). Interviews. In: Mey, G. & Mruck, K. (Hrsg.). *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 423–435.
- Müller, R. (2006). Kontextorientierung und Alltagsbezug. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.). *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen Scriptor, 102–118.
- Newell, A. & Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- OECD (2014). *PISA 2012 Results (Volume V). Creative Problem Solving: Students' Skills in Tackling Real-Life Problems*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2016). *PISA 2015 Results (Volume I). Excellence and Equity in Education*. Paris: OECD Publishing.
- Ornek, F., Robinson, W. R. & Haugan, M. P. (2008). What makes physics difficult? *International Journal of Environmental & Science Education* 3(1), 30–34.
- Parchmann, I. & Kuhn, J. (2018). Lernen im Kontext. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.). *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, 193–207.
- Pospiech, G., Uhden, O. & Geyer, M.-A. (2015). Modell der mathematischen Modellierung in der Physik. In: Bernholt, S. (Hrsg.). *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014. Kiel: IPN, 199–201.
- Ragout de Lozano, S. & Cardenas, M. (2002). Some Learning Problems Concerning the Use of Symbolic Language in Physics. *Science & Education*, 11, 589–599.
- Rincke, K. (2010). Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 235–260.

- Rincke, K. & Leisen, J. (2015). Sprache im Physikunterricht. In Kircher, E., Girdwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). *Physikdidaktik – Theorie und Praxis*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 635–655.
- Rost, M. & Tiemann, R. (2016). Modellbildung als Mittel der Erkenntnisgewinnung – Eine Reviewstudie. In: Maurer, C. (Hrsg.). *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015. Regensburg: Universität Regensburg, 443–445.
- Roth, T. (1986). *Sprachstil und Problemlösekompetenz – Untersuchungen zum Formwortgebrauch im „Lauten Denken“ erfolgreicher und erfolgloser Bearbeiter „komplexer“ Probleme*. Dissertation, Universität Göttingen.
- Salle, A. (2015). Über die Bedeutung von Gesten beim Lauten Denken. In: Caluori, F., Linneweber-Lammerskitten, H. & Streit, C. (Hrsg.). *Beiträge zum Mathematikunterricht*. Münster: WTM, 780–783.
- Smith, M. U. (1991). A View from Biology. In: Smith, M. U. (Hrsg.). *Toward a unified theory of problem solving*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1–19.
- Stawitz, H. (2010). *Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*. Berlin: Logos.
- Sternberg, R. J. (1995). Conceptions of expertise in complex problem solving. A comparison of alternative conceptions. In Frensch, P. A. & Funke, J. (Hrsg.). *Complex problem solving. The European Perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 295–321.
- Szabone Varnai, A. & Vogelsang, C. (2018). Modellieren lernen mit digitalen Werkzeugen. In: Meßinger-Koppelt, J. & Maxton-Küchenmeister, J. (Hrsg.). *Naturwissenschaften digital. Toolbox für den Unterricht*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung, 44–47.
- Taasoobshirazi, G., & Carr, M. (2008). A Review and Critique of Context-Based Physics Instruction and Assessment. *Educational Research Review*, 3(2), 155–167.
- Taşar, M. F. (2010). What part of the concept of acceleration is difficult to understand: the mathematics, the physics, or both? *ZDM Mathematics Education*, 42, 469–482.

- Trump, S. & Borowski, A. (2012). Mathematikkompetenz beim Lösen von Physikaufgaben. Evaluierung und Elaboration eines Kompetenzmodells der Mathematik für die Physik der Sekundarstufe II. *phydid B Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht. Theorieentwicklung und Problemanalyse*. Dissertation, Universität Dresden.
- Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 13–24.
- Vogt, P. (2010). *Werbeaufgaben im Physikunterricht. Motivations- und Lernwirksamkeit authentischer Texte*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Völzke, K. (2012). *Lautes Denken bei kompetenzorientierten Diagnoseaufgaben zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung*. Kassel: kassel university press.
- Weerda, J. (1982). *Untersuchungen zum Modellbegriff in der Chemie. Eine empirische Untersuchung bei Schülern*. Frankfurt am Main, Bern: Lang.
- Weidle, R. & Wagner, A. C. (1982). Die Methode des Lauten Denkens. In: Huber, G. L. & Mandl, H. (Hrsg.). *Verbale Daten. Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der Erhebung und Auswertung*. Weinheim, Basel: Beltz, 81–103.
- Weinert, F. E. (2001). Perspektiven der Schulleistungsmessung – mehrperspektivisch betrachtet. In: Weinert, F. E. (Hrsg.). *Leistungsmessungen in Schulen*. 3., aktualisierte Aufl. 2014 Weinheim, Basel: Beltz, 353–365.
- Williams, C. et al. (2003). Why aren't secondary students interested in physics? *Physics Education*, 38, 324–329.

9. Anhangsverzeichnis

9.1 Materialien.....	II
9.2 Auswahl schriftlicher Schülerantworten.....	XII
9.2.1 Antworten zu Arbeitsblatt 1.....	XII
9.2.2 Antworten zu Arbeitsblatt 2.....	XIV
9.2.3 Antworten zu Arbeitsblatt 3.....	XV
9.2.4 Antworten zu Arbeitsblatt 4.....	XVII
9.3 Transkript der Reflexionsinterviews.....	XVIII
9.3.1 Schüler 1	XVIII
9.3.3 Schüler 2	XXI
9.3.3 Schülerin 3	XXIV
9.3.4 Schülerin 4	XXVII
9.3.5 Schülerin 5	XXXI
9.3.6 Schülerin 6	XXXIII
9.3.7 Schülerin 7	XXXVI
9.3.8 Schüler 8	XXXVII
9.3.9 Schüler 9	XL

9.1 Materialien

Die Materialien, welche in der Arbeitsphase der Hauptstudie zum Einsatz kamen², sind auf den folgenden Seiten zu finden. Es handelt sich um die vier Arbeitsblätter mit deren Lösungen sowie die Alternative zum Arbeitsblatt 2 („Fachsprache“). Alle Materialien sind in Kapitel 5.2 ausführlich beschrieben. Als Inspiration und Vorlage für die Arbeitsblätter dienten die im Folgenden aufgeführten Quellen:

Brinkmann, C. (o. J.). *Aufgaben zum freien Fall. Physik Klasse 10*. Zugriff online unter <https://123mathe.de/physik-aufgaben-zum-freien-fall> (zuletzt 10.05.2019).

Leitner, E. & Finckh, U. (Hrsg.) (o. J.). *LEIFI Physik. Standardaufgaben zum freien Fall*. Hamburg: Joachim Hertz Stiftung. Zugriff online unter <https://www.leifiphysik.de/mechanik/freier-fall-senkrechter-wurf/aufgabe/standardaufgaben-zum-freien-fall> (zuletzt 10.05.2019).

Leitner, E. & Finckh, U. (Hrsg.) (o. J.). *LEIFI Physik. Tiefe eines Brunnens*. Hamburg: Joachim Hertz Stiftung. Zugriff online unter <https://www.leifiphysik.de/mechanik/freier-fall-senkrechter-wurf/aufgabe/tiefe-eines-brunnens> (zuletzt 10.05.2019).

Szabone Varnai, A. & Vogelsang, C. (2018). Modellieren lernen mit digitalen Werkzeugen. In: Meßinger-Koppelt, J. & Maxton-Küchenmeister, J. (Hrsg.). *Naturwissenschaften digital. Toolbox für den Unterricht*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung, 44–47.

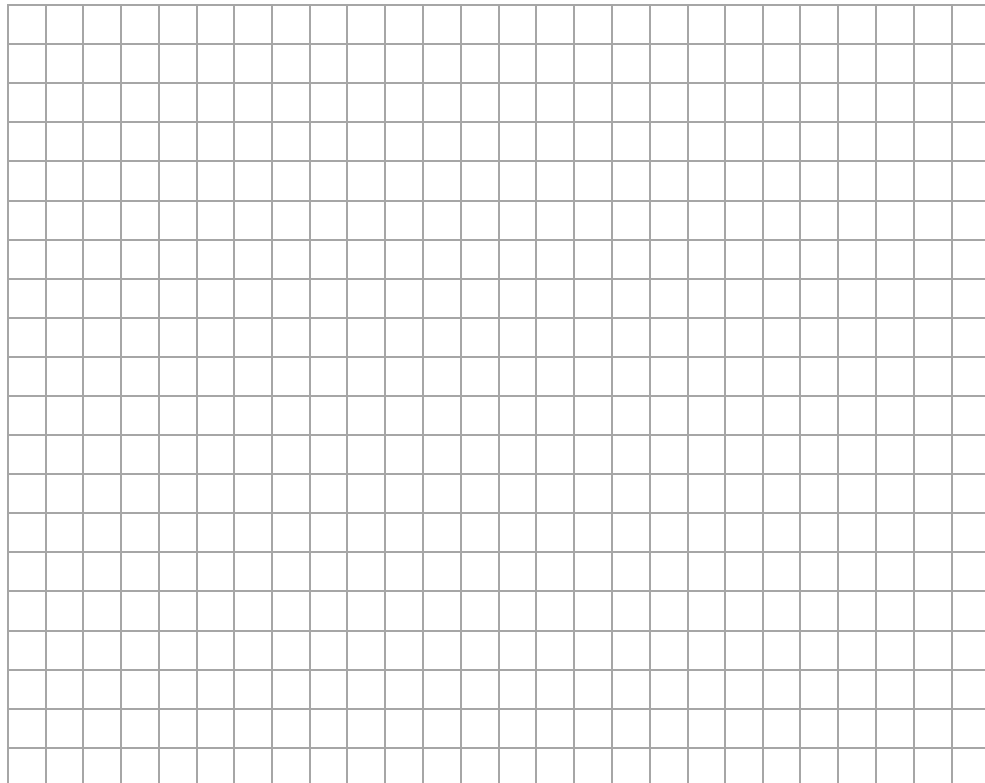
Wessels, H. (2005). *Kurs Dynamische Systeme I. Modelle mit komplexeren Zusammenhängen*. Neustadt a. Rbge.: Gymnasium Neustadt. Zugriff online unter <http://gym-neu.dyndns.org/~hws/kurse/DynaSy2.html> (zuletzt 10.05.2019).

² Im Sinne der Einheitlichkeit wurden die Materialien (Seitenränder und Schriftart) an das Layout der Arbeit angepasst.

Freier Fall eines Körpers

Aufgaben: Ein Körper wird aus einer Höhe von $y_0 = 20\text{ m}$ losgelassen und fällt dann frei, d.h. allein unter dem Einfluss der Erdanziehungskraft und ohne Berücksichtigung von Reibungskräften zum Boden. Rechne die folgenden Aufgaben mit $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Orientiere dich zunächst mit einer Skizze, um die Terme aufzustellen.

- a) Berechne die Höhe y_1 des Körpers zum Zeitpunkt $t_1 = 1\text{ s}$.
- b) Berechne den Zeitpunkt t_2 , zu dem sich der Körper in der Höhe $y_2 = 10\text{ m}$ befindet. Leite hierzu zuerst einen allgemeinen Term mit der Formel für den freien Fall her.
- c) Berechne die Fallzeit t_F des Körpers, d.h. die Zeitspanne vom Loslassen des Körpers bis zu seinem Auftreffen auf dem Boden. Leite hierzu zuerst einen allgemeinen Term her.
- d) Berechne die Geschwindigkeit v_{y1} des Körpers zum Zeitpunkt $t_1 = 1\text{ s}$.
- e) Berechne den Zeitpunkt t_3 , zu dem der Körper eine Geschwindigkeit von $v_{y3} = -15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ besitzt. Leite hierzu zuerst einen allgemeinen Term her.
- f) Berechne die Geschwindigkeit v_{yF} des Körpers beim Aufprall auf den Boden.



Freier Fall eines Körpers

Aufgaben: Ein Körper wird aus einer Höhe von $y_0 = 20 \text{ m}$ losgelassen und fällt dann frei, d.h. allein unter dem Einfluss der Erdanziehungskraft und ohne Berücksichtigung von Reibungskräften zum Boden. Rechne die folgenden Aufgaben mit $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Lösungen:

a) Zeit-Orts-Gesetz: $y(t) = y_0 - \frac{1}{2} g \cdot t^2$

$$y_1 = y(t_1) = y_0 - \frac{1}{2} g \cdot t_1^2 = 20 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1 \text{ s})^2 = 15 \text{ m}$$

Der Körper befindet sich nach 1 s in einer Höhe von 15 m.

b) Zeit-Orts-Gesetz nach t auflösen:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot (y_0 - y)}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (20 \text{ m} - 10 \text{ m})}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 1,4 \text{ s}$$

Der Körper befindet sich auf einer Höhe von 10 m nach etwa 1,4 s.

c) In die Formel aus Aufgabenteil b) die Höhe $y_F = 0 \text{ m}$ einsetzen:

$$t_F = \sqrt{\frac{2 \cdot (y_0 - y_F)}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (20 \text{ m} - 0 \text{ m})}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 2,0 \text{ s}$$

Die Fallzeit des Körpers beträgt 2,0 s.

d) Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v_y(t) = -g \cdot t$

$$v_{y1} = v_y(t_1) = -g \cdot t_1 = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ s} = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Der Körper hat nach 1 s eine Geschwindigkeit von $-10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

e) Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz nach t auflösen:

$$t = -\frac{v_y}{g} = -\frac{-15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,5 \text{ s}$$

Der Körper hat eine Geschwindigkeit von $-15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nach 1,5 s.

f) Fallzeit aus Aufgabenteil c) in Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz einsetzen:

$$v_{yF} = v_y(t_F) = -g \cdot t_F = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,0 \text{ s} = -20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Der Körper hat beim Aufprall eine Geschwindigkeit von $-20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Code:

Datum:

Mechanik – Kinematik – Freier Fall

Arbeitsblatt 2 alternativ

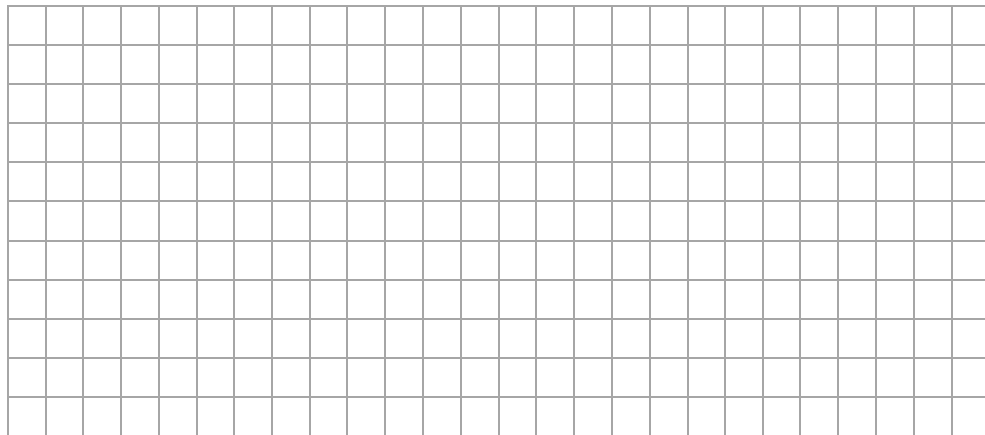
Ein Stein wird fallen gelassen

Aufgaben:

1. Wenn ein kleiner Stein aus einer niedrigen Höhe fallen gelassen wird, können wir so tun, als gäbe es keine Luft, die den Fall bremst. Dann fällt der Stein immer schneller zum Boden.

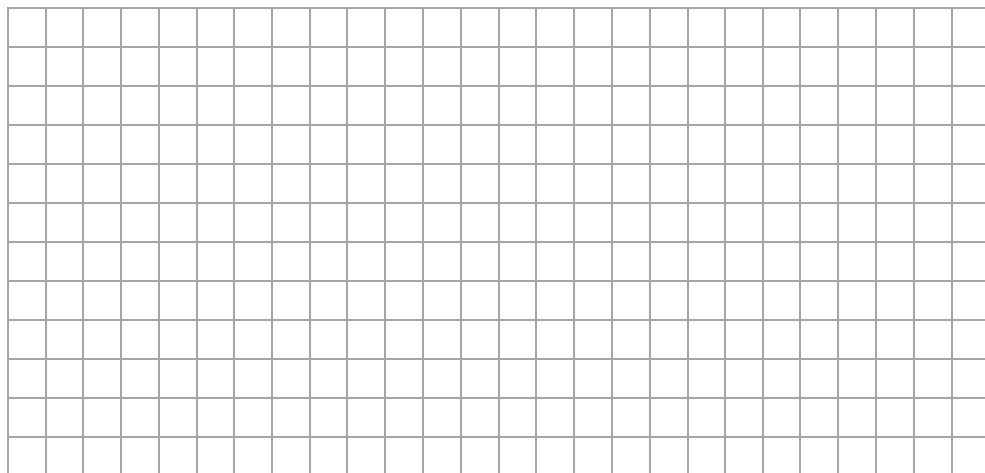
a) Wie lange dauert es, bis der Stein $25 \frac{m}{s}$ schnell ist?

b) Wie lange dauert es, bis der Stein $5 m$ tief gefallen ist?



2. Wenn wir bedenken, dass die Luft den Stein abbremst, wird der Stein so lange schneller, bis er irgendwann immer gleichbleibend schnell fällt. Wann das passiert, hängt von mehreren Dingen ab: welche Form und Größe der Stein hat und wie viel er wiegt, wie die Luft zusammengesetzt ist, in der er fällt, und an welchem Ort er fallen gelassen wird.

Wie schnell ist der kugelrunde Stein (er wiegt ein halbes Kilo und ist $10 cm$ breit), wenn er nach seinem Fall in der Luft am Boden aufschlägt?



Freier Fall mit und ohne Luftwiderstand

Aufgaben:

1. Wenn sich Körper mit geringer Ausdehnung im freien Fall aus kleiner Höhe befinden, kann der Luftwiderstand der Einfachheit halber vernachlässigt werden. Wir betrachten den Fall daher ohne Luftreibung.

- a) Nach welcher Zeit t hat er die Geschwindigkeit $\vec{v} = 25 \frac{m}{s}$ erreicht?
 b) Nach welcher Zeit t hat er den Fallweg $s = 5 m$ zurückgelegt?

2. Mit Luftreibung wird die Beschleunigung $\vec{a}$ immer kleiner, bis eine Geschwindigkeit $\vec{v}$ erreicht ist, bei der die Beschleunigung $\vec{a} = 0$ ist. Luftwiderstand $\vec{F}_L$ und Gewichtskraft $\vec{F}_G$ des Körpers sind gleichgesetzt. Die Geschwindigkeit des Körpers ist konstant, es handelt sich um eine gleichförmige Bewegung: $\vec{v} = const.$

Welche Endgeschwindigkeit $\vec{v}_{end}$ hat ein kugelförmiger Körper ($c_W = 0,45$, Radius $r_{Kugel} = 5 cm$, Masse $m_{Kugel} = 500 g$), der im Medium Luft fallen gelassen wird?

Lösungen:

1. a) Der Körper erreicht nach $t = 2,55 s$ die Geschwindigkeit $\vec{v} = 25 \frac{m}{s}$:

$$\vec{v} = \vec{a} \cdot t \Leftrightarrow t = \frac{\vec{v}}{\vec{a}} = \frac{\vec{v}}{\vec{g}} = \frac{25 \frac{m}{s}}{9,81 \frac{m}{s^2}} \approx 2,55 s$$

- b) Der Körper benötigt für den Fallweg $s = 5 m$ eine Zeit von $t = 1,01 s$:

$$s = \frac{1}{2} \vec{g} \cdot t^2 \Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2s}{\vec{g}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 m}{9,81 \frac{m}{s^2}}} \approx 1,01 s$$

2. Die Endgeschwindigkeit $\vec{v}_{end}$ errechnet sich über

$$\vec{v}_{end} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot \vec{g}}{c_W \cdot \rho \cdot A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,5 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{0,45 \cdot 1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00785 m^2}} = 46,40 \frac{m}{s}$$

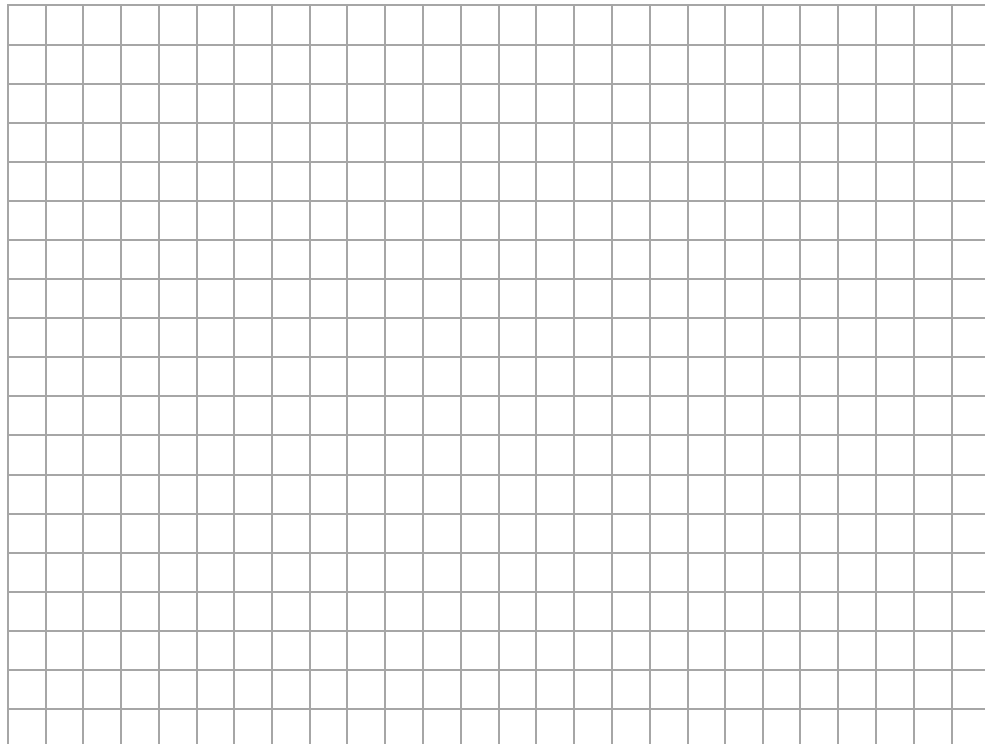
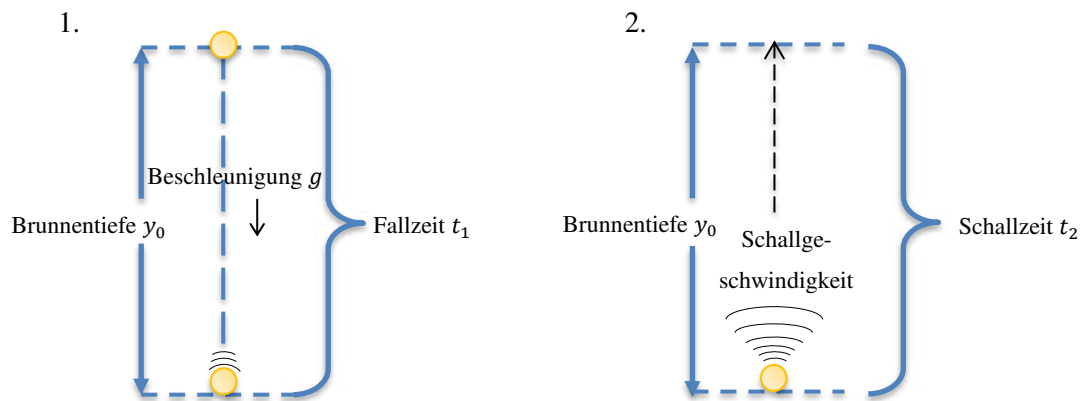
Der Körper erreicht den Boden demnach mit einer Endgeschwindigkeit von $\vec{v}_{end} = 46,40 \frac{m}{s}$.

Die Tiefe eines Brunnens

Aufgabe: Zur Bestimmung der Tiefe eines Brunnens lässt jemand eine Münze in den Brunnen fallen. Er hört das Auftreffen auf den Boden $1,5\text{ s}$ nach dem Loslassen der Münze. Berechne die Tiefe des Brunnens.

Hinweise: Schallgeschwindigkeit in Luft: $v_s = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, Luftwiderstand vernachlässigbar, Ortsfaktor $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, Gesamtdauer des Vorgangs: $t_{\text{ges}} = t_1 + t_2$.

Betrachtete Bewegungen: 1. beschleunigte Bewegung (freier Fall), 2. gleichförmige Bewegung (Schallausbreitung)



Die Tiefe eines Brunnens

Aufgabe: Zur Bestimmung der Tiefe eines Brunnens lässt jemand eine Münze in den Brunnen fallen. Er hört das Auftreffen auf den Boden 1,5 s nach dem Loslassen der Münze. Berechne die Tiefe des Brunnens.

Lösung:

1. Die Münze fällt zum Brunnenboden:

Es handelt sich um eine Bewegung des freien Falls mit der Beschleunigung $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$. Für die Brunnentiefe folgt aus dem Weg-Zeit-Gesetz:

$$y_0 = \frac{1}{2} g \cdot t_1^2 \quad (1)$$

2. Das Schallsignal bewegt sich vom Boden des Brunnens nach oben zum Betrachter:

Es bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit $v_s = 340 \frac{m}{s}$. Damit folgt für die Brunnentiefe:

$$y_0 = v_s \cdot t_2 \quad (2)$$

Aus den Formeln (1) und (2) folgt:

$$y_0 = \frac{1}{2} g \cdot t_1^2 = v_s \cdot t_2 \Leftrightarrow \frac{1}{2} g \cdot t_1^2 - v_s \cdot t_2 = 0 \quad (3)$$

Beide Vorgänge spielen sich in der Zeit $\Delta t = 1,5 \text{ s}$ ab. Daher gilt:

$$t_1 + t_2 = \Delta t \Leftrightarrow t_2 = \Delta t - t_1 \quad (4)$$

Einsetzen von Formel (4) in (3) und auflösen mittels p-q-Formel:

$$\frac{1}{2} g \cdot t_1^2 + v_s \cdot t_1 - v_s \cdot \Delta t = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{-v_s \pm \sqrt{v_s^2 + 2 \cdot g \cdot v_s \cdot \Delta t}}{g}$$

Das Minuszeichen vor der Wurzel würde zu einem negativen Ergebnis für t_1 führen, was physikalisch keinen Sinn ergibt. Daher gilt:

$$t_1 = \frac{-v_s + \sqrt{v_s^2 + 2 \cdot g \cdot v_s \cdot \Delta t}}{g}$$

Zusammen mit Formel (1) folgt:

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{1}{2} g \cdot \left(\frac{-v_s + \sqrt{v_s^2 + 2 \cdot g \cdot v_s \cdot \Delta t}}{g} \right)^2 \\ y_0 &= \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(v_s^2 - 2 \cdot v_s \cdot \sqrt{v_s^2 + 2 \cdot g \cdot v_s \cdot \Delta t} + v_s^2 + 2 \cdot g \cdot v_s \cdot \Delta t \right) \\ y_0 &= \frac{v_s}{g} \cdot \left(v_s - \sqrt{v_s^2 + 2 \cdot g \cdot v_s \cdot \Delta t} + g \cdot \Delta t \right) \end{aligned}$$

Durch Einsetzen der gegebenen Werte ergibt sich:

$$y_0 = \frac{340 \frac{m}{s}}{9,81 \frac{m}{s^2}} \cdot \left(340 \frac{m}{s} - \sqrt{\left(340 \frac{m}{s} \right)^2 + 2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 340 \frac{m}{s} \cdot 1,5 \text{ s} + 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 1,5 \text{ s}} \right) = 10,58 \text{ m}$$

Der Brunnen ist 10,58 m tief.

Code:

Datum:

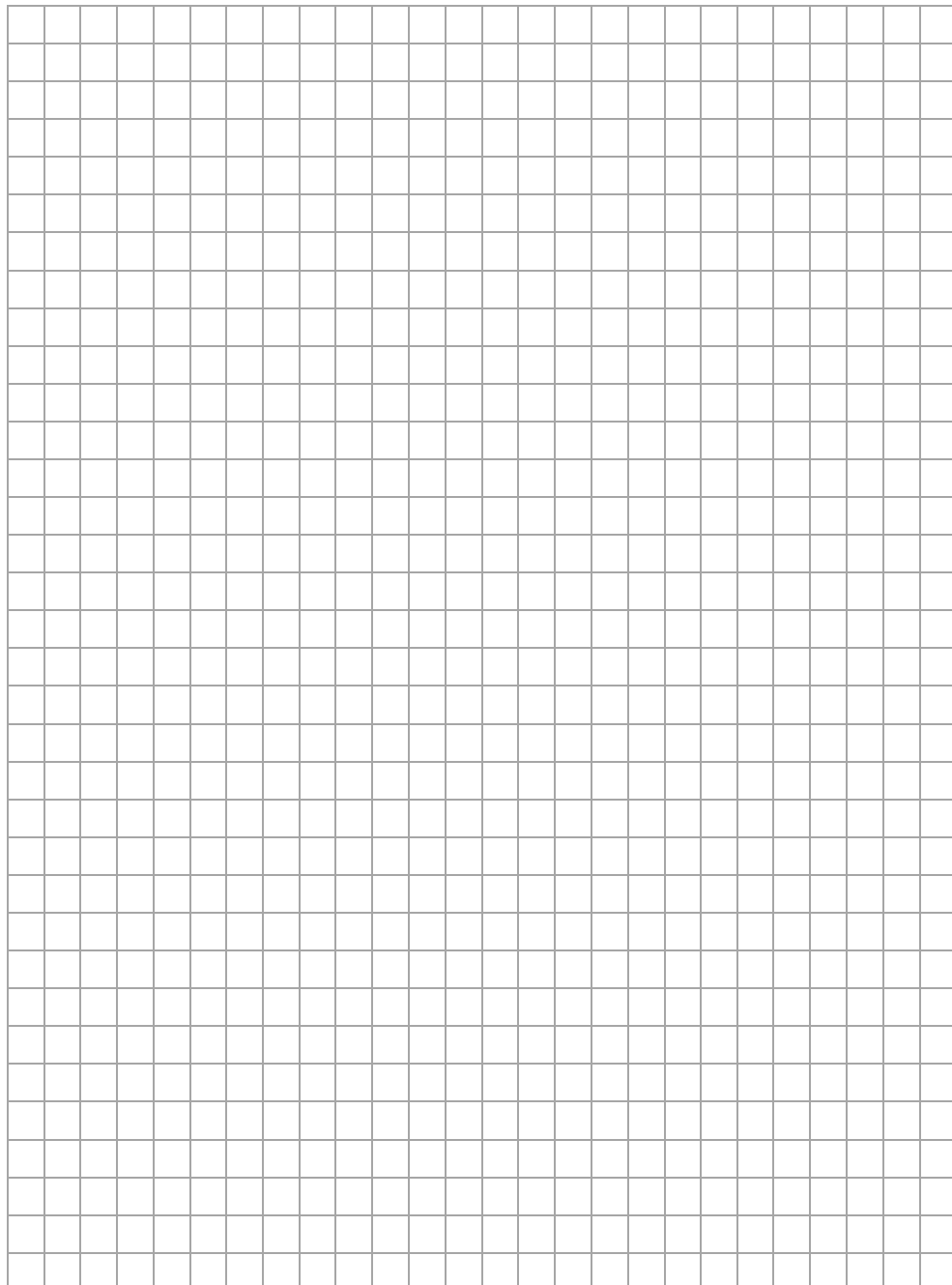
Mechanik – Kinematik – Freier Fall

Arbeitsblatt 4

Die Größe eines Fallschirms

Aufgabe: Wie groß muss ein Fallschirm sein, damit der Fallschirmspringer den Sprung unverletzt übersteht?

Mach dir Gedanken darüber, welche Größen die Überlegung beeinflussen und wie diese qualitativ im Zusammenhang stehen. Anhand welcher Variablen kann diese Fragestellung untersucht werden? Welche Idealisierungen nimmst du für deine Modellierung an?



Die Größe eines Fallschirms

Aufgabe: Wie groß muss ein Fallschirm sein, damit der Fallschirmspringer den Sprung unverletzt übersteht?

Mach dir Gedanken darüber, welche Größen die Überlegung beeinflussen und wie diese qualitativ im Zusammenhang stehen. Anhand welcher Variablen kann diese Fragestellung untersucht werden? Welche Idealisierungen nimmst du für deine Modellierung an?

Lösung:

Um die Frage zu beantworten, wie groß der Fallschirm sein muss, um eine sichere Landung zu gewährleisten, müssen zuerst die Größen gesammelt werden, welche die Endgeschwindigkeit v_{end} beeinflussen. Diese sollte bei der Landung maximal $5 \frac{m}{s}$ betragen, das entspricht einem Sprung aus 1,5 m Höhe ohne Fallschirm. Weiterhin sind die Masse m des Fallschirmspringers, die Erdbeschleunigung g , die Luftdichte ρ_{Luft} und der sogenannte Widerstandsbeiwert c_W von Bedeutung.

Um die Fläche A des Fallschirms zu bestimmen, empfiehlt sich eine Eingrenzung über die minimal mögliche Größe bei maximaler Endgeschwindigkeit. Die Größen stehen im folgenden qualitativen Zusammenhang:

$$v_{end} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho_{Luft} \cdot A \cdot c_W}}$$

Diese Formel muss nun nach der Fläche umgestellt werden und die bekannten, angenommenen und erforderlichen Größen eingesetzt werden, um die Fläche zu berechnen:

$$A = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho_{Luft} \cdot c_W \cdot v_{end}^2}$$

mit

- Masse eines Mannes mit Fallschirm $m \approx 90 \text{ kg}$
- Erdbeschleunigung $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$
- Luftdichte $\rho_{Luft} = 1,29 \frac{kg}{m^3}$
- Widerstandsbeiwert eines Fallschirms $c_W = 1,33$

Information:

Bei der Modellierung physikalischer Größen unterscheiden wir drei Kategorien:

1. Die zentrale Größe, die in ihrer zeitlichen Veränderung betrachtet wird, heißt Zustandsgröße oder Bestandsvariable.
2. Die Veränderung der Zustandsgröße pro Zeitintervall wird durch die Änderungsrate bzw. den Fluss beschrieben.
3. Daneben können andere Größen oder Konstanten die Werte beeinflussen. Sie heißen Einflussgrößen.

In unserem Fall ist die Fallhöhe eine Zustandsgröße. Die Geschwindigkeit gibt die Änderungsrate für den Weg, bzw. den Fluss dieser Zustandsgröße an. Die Geschwindigkeit ist aber gleichzeitig auch eine Zustandsgröße mit der Beschleunigung als Änderungsrate!

Der Ortsfaktor ist die entscheidende Einflussgröße.

9.2 Auswahl schriftlicher Schülerantworten

9.2.1 Antworten zu Arbeitsblatt 1

$$x = s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + 0,2 \cdot g$$

$$\sqrt{\frac{s-0,2}{g}} = t$$

$$\sqrt{\frac{20-0,2}{9,81}} \quad b) \quad t^2 = \sqrt{\frac{2s}{g}}$$

$$c) \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{9,81}}$$

$$d) \quad v =$$

$$a) \quad s = \frac{g}{2} t^2$$

$$s = \frac{10 \frac{m}{s^2}}{2} \cdot 7^2$$

$$s = 5 \frac{m}{s^2} \cdot 7$$

$$s = 35$$

Nach 7 Sekunden ist das Objekt 35m hoch

$$b) \quad 10m = \frac{10 \frac{m}{s^2}}{2} \cdot t^2$$

$$10m = 5 \frac{m}{s^2} \cdot t^2 \quad | : 5 \frac{m}{s^2}$$

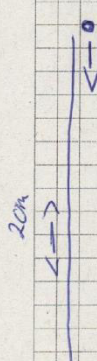
$$2s^2 = t^2$$

$$\sqrt{2} = t$$

$$1,41 = t$$

Nach 1,41 Sekunden ist das Objekt noch 10m hoch

$$\sqrt{2 \cdot s \cdot g} = \sqrt{2 \cdot 20 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} = 20$$



A vertical line with a downward arrow at the top and a horizontal arrow pointing to the right labeled "20m".

a) $y_0 = 20\text{m}$ $y_1 = ?$ $t_1 = 1\text{s}$ $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\frac{20\text{m}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \sqrt{2} \approx 1,25$

$t_1 = 1\text{s}$ Höhe des Körpers $\approx 1,25\text{m}$

b) $a = \text{Beschleunigung}$ 20m

$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $t = 1\text{s}$ 20m 10m

$g = \text{Ortsfaktor} = 10$

① $20\text{m} / 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1\text{s}$

$20\text{m} : 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$1\text{s} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

② $a = v \cdot s \cdot z^2$

③ $a = g \cdot \frac{v^2}{z^2}$

④ km/h $z = 1\text{s} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$1\text{s} = 2\text{m}$

a) $y_0 = 20\text{m}$ $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$g = 10 \frac{20}{1\text{s}^2}$

$g = 200$

b) $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $y_2 = 10\text{m}$

20m $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $\Delta h = 10\text{m}$

b) $t_2 = 2\text{m} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ 10m

≈ 10

c) $h = 20\text{m}$ $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$m =$

$t_f = m \cdot g \cdot h(20\text{m})$

d) $\downarrow$ speed $v_{y1} = m \cdot g \cdot 1\text{s}$

e) weiß nicht wann beschleunigung negativ

9.2.2 Antworten zu Arbeitsblatt 2

Aufgabe 1:

a) $v = 20 \cdot 7$
 $25 \frac{m}{s} = 10 \frac{m}{s^2} \cdot 7 \quad | : 70 \frac{m}{s^2}$
 $2,5 s = 7$
b) $s_m = \frac{10 \frac{m}{s^2}}{2} \cdot 7^2$
 $s_m = 5 \frac{m}{s^2} \cdot 7^2 \quad | : 5$

$7^2 = 7^2 \quad | \sqrt{}$
 $7 = 7_1$
 $7 = 7_2$

a) $t = m \cdot g \quad ? \checkmark$
 $t = m \cdot g \cdot 5m$

a) $t = \frac{s}{v} \quad t = 25 \text{ s}$
b) $t = \frac{s}{v} \quad t = \frac{s}{v}$

a) $t = ? \quad v = 25 \frac{m}{s}$
 $v = \frac{s}{t} \quad v \cdot t = s \quad \frac{s}{v} = t \quad v = a \cdot g \cdot t \quad | : t \quad t = \frac{0 \cdot 10}{25 \frac{m}{s}}$
 $\frac{v}{t} = \frac{a \cdot g}{1 \cdot v}$
b) $s = 5m \quad t = ? \quad s \cdot g = t \quad s = \frac{10}{1005} = 50 \frac{m}{s}$

a) $s = a \cdot t^2$
 $102 = \frac{1}{2} \cdot t^2 \quad | \cdot 2 \quad 1,005 = t$
b) $s = 5,81m = \frac{1}{2} \cdot t^2 \quad | : \frac{1}{2} \quad 1,005 = t$

a) $v = 75 \frac{m}{s} \quad \text{Körper in freiem Fall ohne Luftwiderstand}$
a) $\frac{v}{g} = t$
b) $t = 15 \frac{v}{g}$

Aufgabe 2:

a) $F_G = a \cdot m$
 $F_G = 70 \frac{m}{s^2} \cdot 0,5 kg$
 $F_G = 5N$
 $5N = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 7,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 20 \frac{cm}{s} \cdot v^2$

$F_L = \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot 5cm \cdot v^2$
 $F_G = m \cdot g$
 $F_G = 0,5 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$

$$2) \begin{matrix} a=0 \\ \text{konstant} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vec{F}_L \\ F_g \end{matrix}$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$\vec{F}_L = \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A \cdot \vec{v}_{\text{end}}^2$$

$$\vec{v}_{\text{end}}^2 = \sqrt{\frac{0,5 c_w \cdot \rho \cdot A}{F_L}} = \sqrt{0,5 \cdot 0,45 \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\vec{F}_L = \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A \cdot \vec{v}_{\text{end}}^2 \quad | : \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A$$

$$\frac{F_L}{\frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A} = \vec{v}_{\text{end}}^2$$

$$\frac{F_L}{\frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 1,29 \cdot A} = \vec{v}_{\text{end}}^2$$

$$\text{geg: } 1,5 \text{ s} = t \quad \text{ges: } h$$

$$v_s = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

9.2.3 Antworten zu Arbeitsblatt 3

Nr. 1.

$$1,5 \text{ s} = 14,715 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta t = t_1 + t_2$$

$$\Delta t = 1,5 \text{ s} + (?) \cdot 9,81$$

$$1. \text{ Münze + ges. = Höhe} \quad \times \quad \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\times} \quad \text{Schallzeit}$$

$$\times \quad \downarrow \quad t_1 \quad t_2$$

$$340, \quad$$

$$a) \begin{matrix} 1,5 = t \\ 9,81 = g \end{matrix} \quad \Delta t = t_1 + t_2$$

$$1) v_s = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Luftwiderstand} \times$$

$$s = \frac{v}{t} \quad a = \text{Beschleunigung}$$

$$a \cdot g = s$$

$$2) 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

→ Nach 1,5s Münze auf dem Boden

$$1,5 = t_1 + t_2$$

$$1,5s = \underbrace{(t_1)} + 340 \frac{m}{s}$$

$$x_{1,2} = \frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

$$t = 1,5s \quad H?$$

$$H = g \cdot t \Rightarrow 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 1,5s = 14,715m \approx 15m$$

$$t = v \cdot s \Rightarrow 340 \frac{m}{s} \cdot 14,715m = 5003,1$$

$$\Delta t = t_1 + t_2 \quad 14,715 + 5003,1 = 5017,815$$

$$\Rightarrow 83 \quad 18 + 23 \text{ min}$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

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

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}}$$

$$t_2 = \frac{s}{v}$$

$$-\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

$$1,5s = t_1 + t_2$$

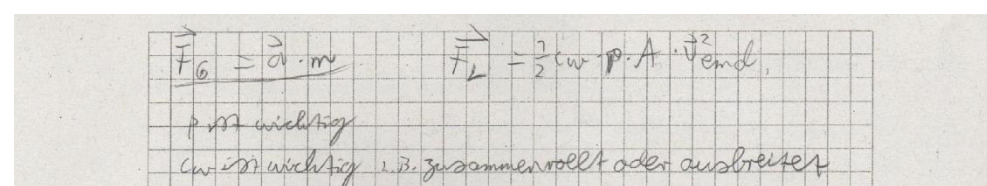
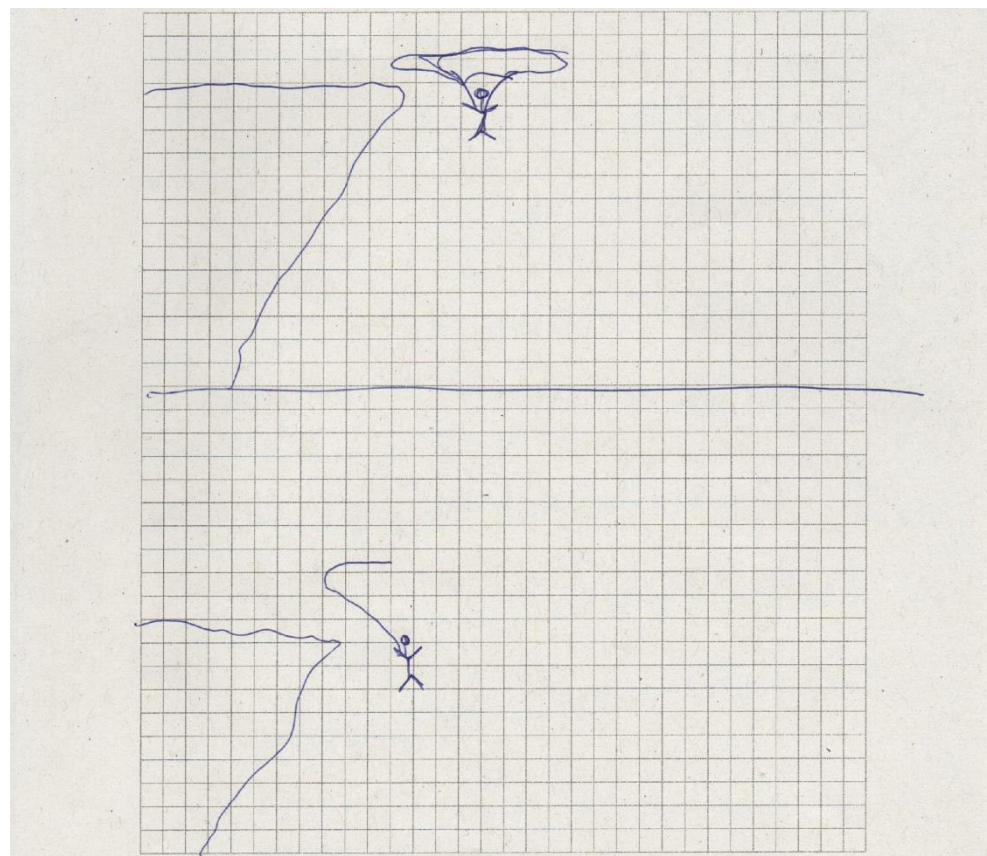
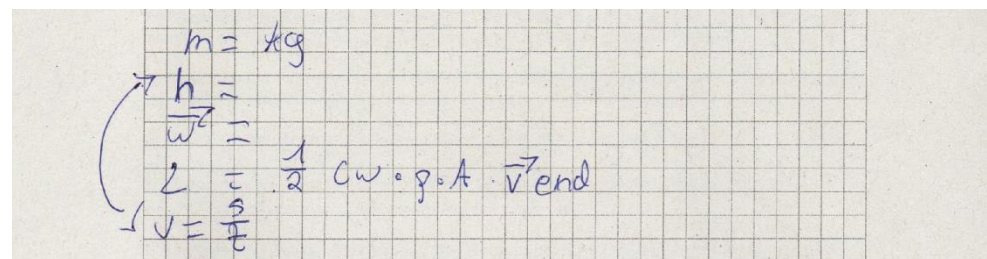
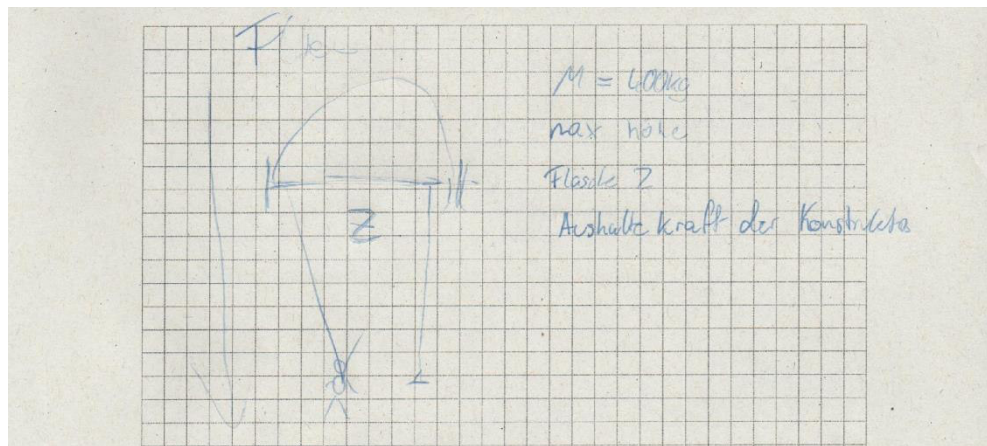
$$v = \frac{s}{t}$$

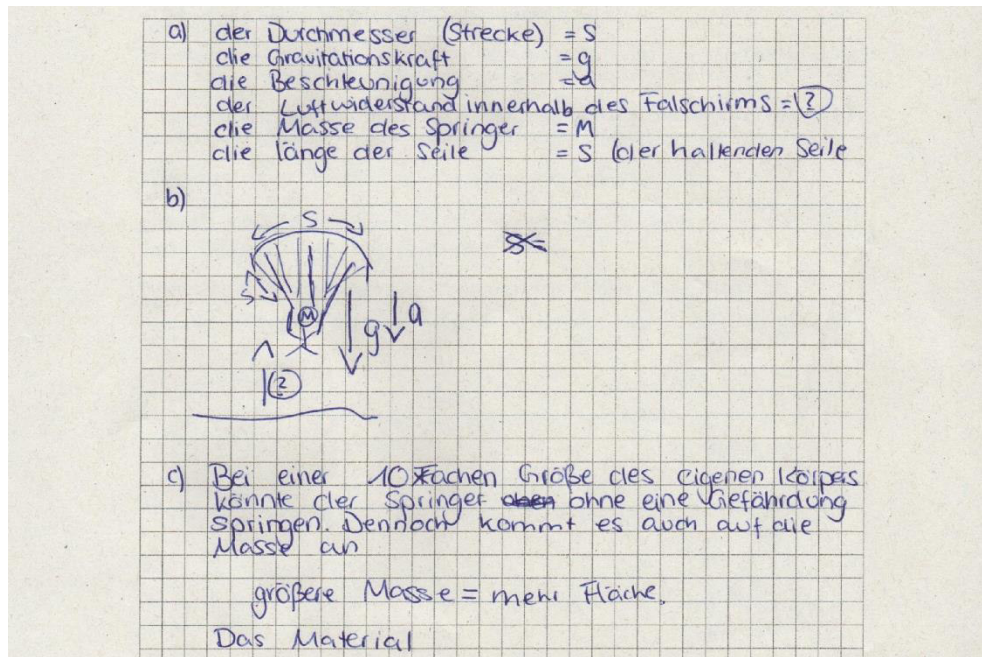
$$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

$$s = \frac{9,81 \frac{m}{s^2}}{2} \cdot t^2$$

$$-\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

9.2.4 Antworten zu Arbeitsblatt 4





9.3 Transkript der Reflexionsinterviews

9.3.1 Schüler 1

> [Lösungen zu den Arbeitsblättern werden angeboten]

> ja also ich will mir hier [bei Arbeitsblatt 1] die c angucken und die f dann auch...

> [auf die Frage, wo es „hakte“] die Höhe ist y_F ... ich hab ja die Höhe 0 Meter eingesetzt...
 [wird darauf hingewiesen, dass sich die 0 Meter auf eine Wegdifferenz beziehen, während seine Strecke y_F 20 Meter wären] also man muss 20 dann hier nehmen als Strecke? Auf dem Boden hat er ja dann 20 Meter... also hätte man dann 20... das wäre dann 4 ja, oder? Und dann die Wurzel aus 4, also 2 dann? 2 Sekunden? Also da hat er dann die Strecke 0 Meter, ich hab quasi ausgerechnet am Zeitpunkt wo er dann losgelassen wurde... ja dann wäre ja die eine... die mit der Geschwindigkeit wäre dann auch möglich gewesen...

> [auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit] am schwierigsten und am leichtesten... also da war jetzt vom Rechenaufwand, würd ich sagen, das mit dem Brunnen am schwierigsten, wenn ich mir jetzt nochmal angucke wie es geht, dann versteh ich es auch wieder... aber jetzt im Moment weiß ich es gerade nicht, also ich weiß, dass es dann am Ende jetzt auf die p-q-Formel hinausläuft... dass man dann Nullstellen berechnet, weil die Geschwindigkeit hat man ja jetzt hier... also das fand ich jetzt vom mathematischen Aufwand her am schwierigsten... ähm... [nach Erhalt der Lösung für Arbeitsblatt 3] ah ja, hätte man da... das auf zwei Zeiten aufteilen... es gibt ja das s ist gleich $a/2$ mal t^2 und ja auch noch s ist gleich $a/2$ mal t ... nee, s ist gleich $v/2$ mal t ... hätte man das benutzen müssen?

> [Ranking]: Mathe... das ist jetzt das schwierigste... das leichteste, ich würde sagen das erste oder das zweite... genau, in der ersten hat es eigentlich nur an der einen gehangen, und hier [auf dem zweiten] war das hier... hat es mich hier mit dem Luftwiderstand ein bisschen

verhauen, aber ich würde sagen, das erste das einfachste, außer bei der c, das hab ich da nicht ganz verstanden, aber jetzt im Nachhinein verstehe ich das... und dann kommt das [zweite], also quasi $1 - 2 - 4 - 3$... also das vierte, das war so... also ich fand es nicht direkt schwer, aber man musste so nachdenken, von was jetzt was abhängt und was von was die Ursache ist...

> [auf die Frage nach Methoden] inwiefern Methoden? ... ja also ich versuche, mir halt anfangs immer so ein bisschen aufzuschreiben, was jetzt gegeben ist und was gesucht ist... also das hab ich jetzt in diesem Fall nicht gemacht, einfach aus Zeitgründen, aber mir im Kopf so ein bisschen, eigentlich schreibe ich da immer „gegeben/gesucht“ hin... und dann versuche ich mir ne Formel dafür zu finden, und die schreibe ich mir da meistens erst hin... dann gucke ich jetzt, wie ich die Formel brauche, nach was ich... ob ich jetzt nach der Beschleunigung suche, nach der Strecke, nach der Zeit... dann stell ich mir die vorher immer um und dann setze ich meine Werte erst ein, weil ich find das so rum einfacher als wenn ich erst die Werte einsetze und dann umstelle... und dann versuche ich das halt so zu lösen... [Hinweis auf Umstellung der Formel für den Luftwiderstand] ach ja genau, da wollte ich es erst einsetzen und dann umstellen

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1] hmm... also ich fand das generell nicht so mega schwierig, weil das viel eigentlich so mit Einsetzen... also man musste dann die Formel wissen und dann musste man die mal umstellen, also ich hab ja diesen einen kleinen Schusselfehler gemacht mit der negativen, also dass es die negative Beschleunigung hat und keine positive, weil das ja nach unten fällt... also fand ich jetzt dann, weil ich es nicht direkt verstanden habe, die c am schwierigsten, weil ich da das mit der Strecke nicht beachtet habe, dass er ja, wenn er jetzt am Boden ist, 20 Meter dann gefallen sein muss...

> [auf die Frage nach einer anderen Formulierung] also ich fand die sehr verständlich auf dem ersten Arbeitsblatt, also es war eigentlich gegeben, was... also wurde gut gefragt, was jetzt verlangt wurde... ähm... die c war halt so eine kleine Interpretationsfrage... ich hab es halt anders interpretiert als die Aufgabe... oder, ich hab es anders aufgegriffen... ähm... ich weiß nicht, wenn man jetzt da hin schreibt: „beachte, dass der Stein 20 Meter gefallen sein muss, um auf dem Boden zu sein“, ob das dann zu nah an der Lösung ist, weil das ist dann ja der Schritt, den man eigentlich selbst erkennen sollte, um diese Aufgabe zu lösen, und diesen Schritt hab ich da ja quasi nicht erkannt... also da bei der c diesen kleinen Schritt zusätzlich dann noch zu identifizieren

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2] ich hab es dann ja versucht, anders zu lösen... hier hatte ich auch ein Ergebnis raus... das Umstellen dieser langen Formel... weil das ist ja alles mit mal, und man macht eigentlich mit geteilt, und ich wusste dann nicht, kann man dann... das alles unter einen Bruch schreiben, oder? Also man kann dann... ja also ich wusste jetzt nicht, ob ich das alles in den Nenner schreiben muss oder ob ich jetzt noch mal einen neuen Bruch machen muss... weil ich hatte... also ich hätte nicht hier noch einen zusätzlichen Bruchstrich machen müssen? Weil die sind ja alle

mit mal? ... aber ich hab ja trotzdem jetzt eine falsche Endgeschwindigkeit raus... [*Hinweis auf Denkfehler bei Radius und Querschnittsfläche*] ja... ach man muss die Fläche... ah das ist ja... Fläche ist ja, vom Kreis, ist ja π mal r^2 ... okay... ja daran hab ich auch nicht gedacht... und dann bin ich hier auch sehr durcheinander gekommen, da hatte ich ja auch sehr viele unterschiedliche Einheiten dann... und dann wusste ich auch nicht mehr, wie man die jetzt alle verkürzt... also ich wusste es am Ende... ja und dann kürze ich das Quadrat und das Kubik, das kürzt sich weg, und dann hier Masse und Kilogramm, das kürzt sich dann... aber wie kommt man denn dann am Ende auf m/s? Dann hat man doch hier am Ende noch das Kilogramm durch Meter, wie geht das denn jetzt weg? Weil die müssten sich ja alle eigentlich verkürzen, sonst hat man hier ja das kg/m übrig... [*betrachtet Formeln*] ah okay, ich kann das hier aus dem Nenner hochholen, okay... wie spricht man das $[kg/m^3]$ aus? Gibt es da eine einfachere Bezeichnung für? Ah also dass ich mich da mit der Querschnittsfläche getäuscht hatte, kam ich nicht weiter...

> [*auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2*]

> [*liest Aufgabe 2 alternativ vor*] ist das aus einer niedrigeren Jahrgangsstufe? Also ich wusste auch nicht... also das ist erstmal, auf den ersten Blick, einfacher geschrieben... also ich wusste erst nicht, was geringere Ausdehnung ist... aber das hab ich dann mit dem Lesen auch begriffen... ich denke mal, das ist jetzt die Frage, ob das einfach verständlicher ist, als das hier [*Arbeitsblatt 2*]... ich könnte mit beiden was anfangen, ich finde aber ehrlich gesagt das hier [*Arbeitsblatt 2*] besser, weil es da... da weiß man direkt: v = Geschwindigkeit, t = Zeit, da weiß man direkt: Strecke ist gesucht. Und hier [*alternatives Arbeitsblatt 2*], „wie lange dauert es...“, da muss man erstmal drauf kommen, dass das jetzt die Geschwindigkeit ist, dann muss man darauf kommen, dass das hier die Zeit... also da fehlt so ein bisschen was. Also das hier [*alternatives Arbeitsblatt 2*] ist vielleicht ein bisschen einfacher verständlich, aber hier hat man mehr direkt aus der Aufgabenstellung heraus... [*liest Teil 2 des alternativen Arbeitsblatts, vergleicht die Formulierungen*] ah, das ist ja, vor allem der erste Satz, ist ja das gleiche, beschrieben... also das hier [*Arbeitsblatt 2*] ist halt physikalischer beschrieben und das hier [*alternatives Arbeitsblatt 2*] ist halt allgemeinsprachlicher, würde ich sagen... also hier fehlt halt diese Formel [*für den Luftwiderstand*] komplett, also ohne die Formel hätte ich keine Ahnung... auch ohne dieses... hier steht ja auch, wofür das steht dann, und wenn man jetzt... also ich wüsste hier [*alternatives Arbeitsblatt 2*] jetzt nicht direkt, mit was ich rechnen sollte. Also hier [*Arbeitsblatt 2*] weiß man direkt: das hier hab ich, damit muss ich rechnen, aber das hier [*alternatives Arbeitsblatt 2*] guckt man sich erstmal an, und dann... aber das ist vielleicht... was jetzt die Ausgangssituation ist, ist hier verständlicher, dass man einen Stein hat, dann wird der nicht mehr schneller, und dann hängt davon und davon ab... aber hier [*Arbeitsblatt 2*] wird einem direkt vorgegeben, was man jetzt hat und mit was man rechnen soll...

> [*auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3*] da hat so ein bisschen der Weg zum Ziel gefehlt... wie auch immer... [*ich wusste das mit der p-q-Formel*] aber auch nur, weil wir das mal in der Schule halt gemacht haben, die Aufgabe...

> [auf die Frage nach dem Umstellen von Formeln im Allgemeinen] ja, also weil das jetzt hier [Arbeitsblatt 2] ein bisschen längere waren... also bei den kurzen, wo man nur zwei oder drei Glieder hatte, da ging das eigentlich...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf Arbeitsblatt 4] wenn man irgendwas erstellt oder sowas, ein Modell erstellt? Also wenn man jetzt zum Beispiel irgendwas fallen lässt, dann hat man ja den Luftwiderstand... also wenn man jetzt ein kleines Objekt hat, das eine hohe Masse und geringe Dichte hat zum Beispiel, dann hat es ja viel weniger Luftwiderstand als wenn man jetzt ein Blatt Papier hat, da ist es dann eher vernachlässigbar... [Hätte man jetzt hier etwas vernachlässigen können?] Sicherlich... [Was hätte man auf gar keinen Fall vernachlässigen dürfen?] den Luftwiderstand? Was man jetzt vielleicht vernachlässigen könnte, ich weiß nicht, hier dass jede Person, die springt, ne andere Gewichtskraft hat... [die Fluglage] spielt jetzt ja gar nicht so eine große Rolle wegen dem Fallschirm... was war das A nochmal? Die Querschnittsfläche? Aber... und damit ist die Querschnittsfläche des Fallschirms gemeint? Ich hab halt die ganze Zeit nur auf die Person geachtet, die springt, und nicht auf den Fallschirm direkt... dann hätte man die [Formel für den Luftwiderstand] quasi nach A umstellen müssen? Und dann einfach v end vorgeben?

> [auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote] 13 [war damit zufrieden]

> [auf die Frage nach der Beliebtheit des Physikunterrichts] beliebt. Also ich nehme Physik-LK

> [auf die Frage nach der Schwierigkeit] schwierig ist ja immer so relativ... also klar ist es anspruchsvoll, manche Aufgaben sind anspruchsvoll und auch kompliziert, aber es ist alles lösbar und es ist ja auch meistens so, wenn ich jetzt mal eine Lösung nicht weiß... aber dann sagt mir jemand die Lösung, wie es funktioniert, und dann versteh ich es auch meistens immer, dann ist es nicht so, „boah, ich blicke jetzt überhaupt nicht durch“, aber es gibt Aufgaben, wo man mir dann jetzt sagt, „du musst das machen, dann machst du das, dann das, dann hast du das Ergebnis“, dann ist es auch für mich nachvollziehbar

> [auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld] eher weniger begeistert...

> [auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note] also für andere ist es überhaupt nicht schlimm... oder... nee, also dann hat es halt seine Ursachen, dann hat man nicht richtig gelernt oder hat halt kein Verständnis für das Thema jetzt, dann muss man halt gucken, was man falsch gemacht hat... was man anders machen muss nächstes Mal

9.3.3 Schüler 2

> [auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit] am leichtesten, dann fang ich hier gleich mal mit an, das war glaub ich dann der Fallschirmspringer [Arbeitsblatt 4], weil damit hatte ich natürlich gar keine Größen, mit denen ich arbeiten musste, das heißt, ich konnte gerade meine... einfach nur so eine... okay. Fallschirmspringer am leichtesten, dann die Tiefe des Brunnens [Arbeitsblatt 3] würde ich auf den zweiten Platz setzen, dann wieder ein

bisschen schwerer... ähm... ja, doch, Fall des Steins [*Arbeitsblatt 2*] noch ein bisschen schwerer, und am schwersten fiel mir der freie Fall eines Körpers [*Arbeitsblatt 1*]

> [*auf die Frage nach Methoden*] ...ja, erstmal, als allererstes herausfinden, mit was arbeite ich eigentlich alles, erstmal die Größen markieren... dann selber so kleine Mini-Arbeitsaufträge im Arbeitsauftrag quasi unterstreichen, markieren... dann für mich selber alles noch mal formulieren, das mache ich immer sowas, um mir selbst quasi das Verständnis herzuholen, was will diese Aufgabe jetzt eigentlich von mir, was soll ich danach erreicht haben... und dann erstmal... eigentlich, hab ich jetzt ein bisschen vernachlässigt, eigentlich schreibe ich mir dann ein bisschen erstmal alle Größen auf ein Blatt, damit ich weiß... okay, das ist jetzt meine Werkzeugkiste, damit arbeite ich jetzt, jetzt muss das nur noch richtig zusammensetzen... das ist so das Arbeitsschema

> [*auf die Frage nach generellen Schwierigkeiten bei Formeln oder physikalischen Zusammenhängen*] also, auswendig kannte ich die Gravitationskonstante und generell so den leichten Umgang mit den ganzen Formeln... was ich mir nicht weiter angeschaut habe, war freier Fall eines Steins, mit dem Luftwiderstand, die kannte ich einfach alle nicht... im Grunde hab ich eigentlich, glaub ich, ein relativ gutes Physikverständnis, eigentlich immer verstanden, was der Kontext der Frage ist, was die von mir jetzt wollen... ich hab jetzt verstanden, die wollen jetzt von mir, mit welcher Geschwindigkeit der aufprallt, nach welcher Zeit und so, ich glaub dass ich das eigentlich relativ gut erfasst habe... also so Verständnisprobleme an sich eher weniger... aber dann geht's halt groß los, mit dem... wann muss man welche Formel einsetzen, dann ist auf einmal ein Minus in der Formel, wo kommt das rein... und da fängt es dann halt an zu bröckeln...

> [*auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1*] was mir aufgefallen ist, wo ich relativ lange für gebraucht hab, dass ich gar keine Masse hab und so auch nicht die Aufgabe bis zum Ende lösen kann, also dass ich kein variablenfreies Ergebnis kriegen kann, also dass da immer noch irgendwo ein x stehen würde, oder ein m stehen würde... wo ich dann nicht mehr weiß... also ich würde nicht auf ein gescheites Ergebnis kommen

> [*auf die Frage nach einer anderen Formulierung*] Wenn das ein Arbeitsauftrag wäre in der Schule? Dass da eine Masse angegeben wird, also genaue Daten, die vorgegeben sind, das und das... oder, dass ich drin stehen hab, keine Ahnung, dass jetzt ein Holzklotz angegeben ist, den ich fallen lasse, welche Ausmaße hat der vielleicht... das ist ja zum Beispiel auf 10 mal 10 mal 10 cm, und ein cm^2 hat die Masse von so und so, dass ich mir das vielleicht dann sogar herrechnen muss, was ja dann auch einfach ist... also feste Angaben, mit denen ich arbeiten kann

> [*auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2*] also beim ersten, da hab ich thematisch eigentlich verstanden, nur da fehlt mir auch wieder die Masse des Körpers, weil ich wusste, dass ein Körper runterfällt, wusste aber nicht, was er wiegt... das heißt, da musste ich erstmal überlegen, wie ich da weiter vorgehe, und dann hab ich das auch nur grob angegeben... den zweiten Teil hab ich gar nicht bearbeitet, aus Zeitgründen

erstmal, und weil mir dann das mit dem Luftwiderstand und dem Querschnitt und alles zu kompliziert wurde... ja da hab ich einfach abgebrochen, weil mir das dann zu viel mit den ganzen Formeln da wurde

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3] mein Problem war wieder, ich wusste nicht, was die Münze wiegt, das ist jetzt nur ne relative Masseangabe, nichts festes, mit dem ich rechnen kann... dadurch fiel es mir halt schwer, da Werte zu finden, beziehungsweise einen Ansatz zu finden, hey, wie lange braucht jetzt die Münze da runter... das konnte ich nicht ordentlich ausrechnen... und weil ich da auch keinen Wert hatte, konnte ich auch nicht die Gesamtzeit, wo ich dann den Schall bei mir wieder wahrnehme, davon die Zeit abziehen, die [die Münze] braucht, beziehungsweise ich hätte da nicht gewusst, wie gehe ich da ran, ich hab eine große Zahl, das braucht [die Münze] da runter... nee, ich hätte da ausrechnen können, wie lange er bis runter braucht, dann hätte ich eh die Gesamtzeit gehabt, und dann hätte ich eh schon da stehen gehabt als dritten Teil, wie lang die Schallwellen brauchen, bis er oben ist... also im Grund hab ich es verstanden, aber da fehlten mir auch wieder die Angaben und das hat mich selber verwirrt...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf Arbeitsblatt 4] im Grunde ist das glaube ich keine Aufgabe, wo man hätte rechnen sollen, sondern eigentlich nur mal seine Gedanken... nur Gedanken runterzuschreiben, welche Faktoren ich da einbringen muss, und ich glaube deswegen hatte ich da eigentlich keine großen Probleme, das zu lösen, da nicht gerechnet werden sollte, sondern das einfach eine reine physikalische Logikaufgabe ist, was da mit reinspielt... Ein Modell? Ein Weg, etwas darzustellen, das auf verschiedene Sachen anwendbar ist... beispielsweise jetzt in der Atomphysik das Atommodell, ich weiß jetzt nicht genau wer das gemacht hat... das ist auf alles anwendbar, und sowas ist ja auch einfach ein Modell, das repräsentativ für viele Zwecke wie eine Mitte darstellt... [Wann ist es zulässig, bestimmte Größen zu vernachlässigen?] Wenn sie einen geringen, kaum messbaren Einfluss auf die Rechnung haben... ja

> [auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote] 7 Punkte [Warst du damit zufrieden?] muss ich sogar ja sagen, weil ich schriftlich 2 hatte, ich hab überhaupt nicht für die Arbeit gelernt, und hatte 11 Punkte mündlich, von daher kann ich mich nicht beschweren... ich finde, Physik ist eher so ein mündliches Fach, von daher war ich da im Endeffekt schon zufrieden, weil ich halt schriftlich nix geleistet habe

> [auf die Frage nach der Beliebtheit des Physikunterrichts] doch eigentlich eines meiner Lieblingsfächer, das ist ein Logikfach, was du halt auf das Leben, auf dein Umfeld quasi anwenden kannst, das ist so ein bisschen die Lehre des Lebens... das nicht so, sondern halt... es ist halt ein bisschen, damit bist du jeden Tag konfrontiert, da ist es auch interessanter, welche Kräfte wirken, wenn du was machst, wie viele einzelne Kräfte irgendwas schon beeinflussen können... dadurch ist Physik, finde ich, ein sehr wichtiges Fach, und auch ein sehr interessantes Fach

> [auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld] das ist sehr unterschiedlich, einige Freunde wählen Physik ab, ein anderer studiert gerade Physik... also das ist wirklich

weit gespalten... ich glaub, da stehe ich ziemlich in der Mitte, ich will Physik weitermachen, ich hätte es vielleicht sogar als Leistungsfach genommen... in meiner Freizeit hab ich auch relativ viel mit Physik zu tun, daher ist es auch ein wichtiges Fach

> [*auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note*] da ich an mich selber einen relativ hohen Anspruch an Physik hab, zumindest an das Verstehen, weniger an das perfekte... da jetzt eine Formel hin zu stellen, sondern einfach einen Vorgang zu verstehen, warum das passiert, dass das jetzt so ist... finde ich es mir gegenüber selber unangenehm, wenn ich da jetzt nicht die Leistung, die ich selbst von mir erwarte, erreiche... das andere ist, wenn andere ne schlechte Note in Physik haben, dann finde ich das nicht schlimm, weil jeder hat seine starken Fächer, ich glaub in Physik bin ich auch stärker als andere, und dadurch ist das einmal so gesehen nicht schlimm... andererseits ist Physik auch so ein... ich sag jetzt nicht Problemfach, sondern... entweder du raffst es und dann auch ziemlich durchgehend, oder du hast halt da den Wurm drin und es geht einfach nicht, du brauchst da ewig um ein bisschen was zu verstehen und dann geht es schon mit dem nächsten Thema weiter, und dann hängst du einfach...

9.3.3 Schülerin 3

> [*auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit*] ähm, also das allererste Arbeitsblatt fand ich glaub ich mit am schwersten... nicht, weil schwere Aufgabenstellung vorlag, ich glaub das Problem ist einfach, dass ich nicht alle Formeln beherrsche oder dass ich auch weiß, dass die meisten Schüler nicht immer alle Formeln genau im Kopf haben, und das macht es dann immer ein bisschen schwerer, und irgendwie kam da so viel Input, dass ich manchmal nicht richtig wusste, okay, was muss ich jetzt rechnen... dann fehlen mir manche Variablen, oder beziehungsweise Werte... okay, dann das zweite Arbeitsblatt fand ich auch bisschen schwerer, weil es bisschen dem ersten geähnelt hat, das dritte... egal ob die Lösungen jetzt richtig oder falsch sind, da konnte ich irgendwie wenigstens ein bisschen probieren, was zu machen, das ging einigermaßen, und bei dem vierten Arbeitsblatt, das fand ich noch bisschen leichter, weil man sich nicht nach irgendwelchen richtigen Richtlinien... so, man musste sich nicht an irgendwas halten, sondern man konnte selbst überlegen

> [*Ranking*]: ich glaub eigentlich genau nach der Reihenfolge, also 1 – 2 – 3 – 4

> [*auf die Frage nach Methoden*] ähm... ich hab probiert, irgendwie logisch zu denken und die Formeln irgendwie umzustellen, also ich hab einfach probiert, was man mit den Werten machen kann, ja...

> [*auf die Frage nach bekannten Formeln*] generell, ähm... ich hoffe, dass ich sie richtig konnte... Geschwindigkeit, dann Zeit und halt der Weg, aber da bin ich auch nicht hundertprozentig sicher, und der freie Fall und die Formel dafür ist mir wirklich nicht eingefallen... also die hätte ich gebraucht, die konnte ich aber nicht, und dann, Luftwiderstand konnte ich jetzt auch nicht, aber das wurde ja auch vorgegeben, und ich hab das meiner Meinung nach... die Formeln, die ich eigentlich wirklich gebraucht habe, ähm...

also Geschwindigkeit, je nachdem dann halt die Umformung... und den freien Fall, also freien Fall konnte ich eben nicht

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1] also eigentlich schon bei der a, ich hab ja dann nochmal probiert, auf die anderen Aufgaben einzugehen, ich hab ja dann nochmal mit der d angefangen, bin dann aber auch mehr oder weniger direkt am Anfang gescheitert, weil ich den Weg nicht wusste, ich hatte ja nur die Zeit gegeben, die Geschwindigkeit war gesucht, und ich wusste nicht, welche Zeit ich benutzen soll, also... das waren die Aufgaben, wo ich dachte, ich könnte die bewältigen, die a und die d, aber da bin ich dann ja auch dran gescheitert... hmm... ich glaub, was heißt Merkmal... ich glaub, das war eher dieses Berechnen von Sachen, wo ich meiner Meinung nach nicht alle Werte gegeben hatte, so... ich glaub das war allgemein schwer, ich kann da gar nicht richtig auf einen genauen Punkt eingehen

> [auf die Frage nach einer Verbesserung] vielleicht noch ein Wert mehr, wenn der gebraucht ist... oder zumindest Ansätze vielleicht zu ner Gleichung, also wie ich was ausrechnen kann... man muss nicht alles vorgeben, aber zumindest so ein paar... die einen da so ein bisschen auf den... die da helfen können, wenn man mal den Faden verliert oder generell Schwierigkeiten hat... also ich glaube, generell was zu den Termen

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2] bei der 1 war es genau dasselbe eigentlich wie bei dem ersten Arbeitsblatt, also auch dass ich irgendwie nicht auf die Werte gekommen bin, und bei der zweiten war es auf einmal wieder ein bisschen zu viel Verwirrung, weil das für mich wieder ein bisschen zu viel Input war, mit dem Luftwiderstand, Gewichtskraft, dann war da ne Formel, die ich dann irgendwie doch nicht gebraucht hab, und auf die hab ich mich, also auf die hab ich die ganze Zeit geguckt und das war irgendwie... also ich finde, man überliest da irgendwie was in den Aufgaben, weil man sich so extrem auf andere Sachen dann konzentriert, dass man die eigentliche Aufgabe dabei fast vergisst, und das dann bei mir so geendet hat, dass es da eigentlich nicht zum richtigen Weg geführt hat...ich glaub, dieses Mal war es, weil es vielleicht einfach zu viel war? Also besonders bei der 2, hierzu gibt es wahrscheinlich wieder ne ganz einfache Lösung, aber bei der 2 stand mir einfach zu viel da, also das war zu viel Information dann noch mit Dichte des Mediums, hier unten kamen Sachen, die ich nicht zuordnen konnte, weil das irgendwie... meiner Meinung nach, ich dachte die ganze Zeit, das wäre die richtige Gleichung gewesen, aber das war ja gar nicht die Gleichung, die ich letztendlich benutzen musste, dann hat mich das alles so durcheinander gebracht, auch mit Radius, Masse, wo ich dachte, wo soll ich das überhaupt einsetzen... ja

> [auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2] ich denk halt hier die ganze Zeit, dass ich mit 9,81 eigentlich arbeiten muss, ich glaub generell beim freien Fall muss man das ja immer benutzen... ähm, [das alternative Arbeitsblatt] ist meiner Meinung nach einfacher geschrieben, also ich glaube sowas würde ich eher für so eine jüngere Klasse, also für ne kleinere Klasse benutzen, die Formulierung hier... aber ich würd jetzt immer noch nicht wissen, wo ich die Information richtig hernehmen soll, und... also hier [alternatives

Arbeitsblatt] würde ich zum Beispiel sagen, ich finde hier die Formulierung an sich einfacher geschrieben, also ich finde vielleicht für die Aufgabe [2.2] ist die Formulierung hier besser, ist einfacher, jedoch wird hier auch gesagt, dass der Stein von der Luft abgebremst wird, und dafür bräuchte ich ja auch wieder den Luftwiderstand, der steht hier ja zum Beispiel nicht drauf... aber trotzdem würde ich es einfacher finden, wenn zum Beispiel noch die Formel da stehen würde

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf *Arbeitsblatt 3*] ich dachte am Anfang, dass ich nicht sooo viele Probleme habe, ich hab hier mehr oder weniger... ja, ich hab ja eher improvisiert und hab gehofft, dass das richtig ist... mir ist es dann schwer gefallen, da plötzlich mit dieser Fallgeschwindigkeit was zu machen, weil ich da ja noch nie was gemacht hab, obwohl es trotzdem ne Geschwindigkeit ist, also das ändert ja nichts an der Formel an sich, und dachte dann auch erst, es wäre richtig, weil ich ja v und s in irgendeiner Art und Weise gegeben hatte... v war ja angegeben auf dem *Arbeitsblatt* und s hab ich dann einfach von der Aufgabe davor genommen, also ich hab ja gehofft, dass es richtig ist, und das *Arbeitsblatt* fand ich an sich nicht so schwer, aber ich weiß jetzt auch nicht, ob es jetzt dem entsprach, was jetzt da eigentlich stehen sollte... [Lösungen werden angeboten] aha... ja, also zum Beispiel bei der 1 und die Brunnentiefe, hab ich fast richtig gemacht, aber ich hab die $\frac{1}{2}$ vor der 9,81 vergessen... dann die 2... also hätte ich auch richtig gemacht, bei mir war jetzt eben das Problem, dass mein Ergebnis, also dass die Brunnentiefe ja bei mir eh schon falsch war, dadurch bin ich dann auch bei der 2 auf ein falsches Ergebnis gekommen, also... und ich hätte die nicht... muss man die gleichsetzen? Ja, ich glaub schon... also... das, was danach kam, das hab ich dann auch nicht gemacht, ich hab dann noch t_1 und t_2 zusammengerechnet, weil ich dachte, ich muss die so zusammenrechnen... also an sich hab ich den Anfang richtig gemacht, ich hatte nur eben die 0,5 vergessen, somit hat sich dann auch das komplette Ergebnis danach verfälscht

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf *Arbeitsblatt 4*] ich fand es ein bisschen einfacher, weil man generell so nachdenken konnte, das Problem ist... ich war die ganze Zeit so unsicher, weil auf der einen Seite war es für mich total logisch, dass der Fallschirm irgendwie groß oder klein sein muss, aber auf der anderen Seite dachte ich dann wieder, das kann gar nicht sein, also ich hab mir die ganze Zeit eigentlich selbst widersprochen... und das fiel mir einfach so schwer, weil ich mich gar nicht so reinversetzen konnte, also ich konnte es mir selbst irgendwie nicht richtig vorstellen, wie es ist... damit hatte ich glaub ich die meisten Schwierigkeiten, dass ich mir selbst widersprochen hab, weil ich selbst nicht wusste, wo ich überhaupt ansetzen sollte [zu Modellen] vielleicht etwas, mit dem man eine Aktion oder eine bestimmte Sache nachstellen kann? Also zum Beispiel, wenn ich jetzt so ein kleines Hütchen nehmen würde und das dann einfach von oben fallen lassen würde, das wäre ja im Prinzip wie ein Fallschirm, also die Luft würde da ja jetzt auch reinströmen und vielleicht abbremsen dementsprechend, damit es langsamer auf den Boden fällt und nicht einfach auf den Boden schlägt, wie das Männchen das ohne Fallschirm tun würde... das würde ich als Modell sehen [Frage nach

Vereinfachungen] ich finde, in realen, oder generell, dass man in Aufgaben eher so reale Situationen benutzen sollte, als... mit dem Brunnen kann man sich das zum Beispiel leicht vorstellen, mit dem Fallschirm an sich auch, da hatte ich jetzt zwar Probleme, aber ich finde es immer besser, so Alltagssituationen oder Sachen, die wirklich passieren können, in Aufgaben mit reinzunehmen, weil da kann man sich wenigstens was drunter vorstellen... wenn mir jetzt jemand nur ne Gleichung vorsetzt, und sagt, ja, rechne das und das, dann hab ich keine Vorstellung dazu und wenn ich zum Beispiel ein Ergebnis rausbekomme, und ich kenne die Höhe und ich weiß, wie es in Wirklichkeit wäre, dann kann ich mir auch von alleine denken, das kann gar nicht sein... [*Frage nach Vernachlässigungen von Größen*] wenn sie nicht relevant sind? Macht das Sinn? Oder, ich finde man sollte... also an sich sollte man keine Größen vernachlässigen, weil manchmal braucht man ja auch andere Größen, um erstmal auf ne andere Formel zu kommen oder auf ein anderes Ergebnis, was man dann für die eigentliche Aufgabe braucht, aber ich finde, manchmal ist es zu umständlich, erstmal zweimal um die Ecke zu denken, bevor ich erstmal mit der richtigen Aufgabe anfangen kann, weil ich finde, auf diesen Wegen kann immer so viel passieren, zum Beispiel jetzt, wie bei mir es war, wo ich die Formel nicht wusste, aber wenn ich erstmal zwei Sachen machen muss, um auf das richtige Ergebnis zu kommen, kann halt auf diesem Weg so viel passieren, dass ich am Ende trotzdem nicht auf das richtige Ergebnis kam, obwohl ich auf dem richtigen Weg war... da finde ich, könnte man so Sachen vernachlässigen

> [*auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote*] 7 Punkte [*war damit zufrieden*]

> [*auf die Frage nach der Schwierigkeit von Physikunterricht*] auf jeden Fall... ich kann es nicht richtig einschätzen, ich finde nicht wirklich, dass Physik schwierig ist, ich finde das ist eher vom Verständnis schwierig, als überhaupt die Aufgaben zu rechnen, weil im Prinzip ist es auch nur Zahlen in Formeln einsetzen... ich finde, wie gesagt, erstmal diesen Weg zu finden, ist für mich immer so ein bisschen schwerer

> [*auf die Frage nach der Beliebtheit*] ähm... steht jetzt eigentlich mit Spanisch komplett unten, wird ja jetzt auch abgewählt... also ich glaub, da kann ich jetzt auch für mehrere Leute sprechen, dass Physik weit unten ist, oder... als letztes...

> [*auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld*] also wir haben es jetzt alle abgewählt... ich glaube das spricht für sich... [*lacht*]

> [*auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note*] wenn ich ehrlich bin, würde ich Physik gerne manchmal verstehen, weil es ja trotzdem doch so mit dem Leben, eigentlich mit dem Aufbau von so ziemlich allem zu tun hat, aber ich finde, generell, also unabhängig von Physik, ist es jetzt nicht schlimm, eine schlechte Note zu haben, oder auch mal nicht so gut in einem Fach zu sein, dafür hat man ja manchmal Qualitäten in anderen Fächern

9.3.4 Schülerin 4

> [*auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit*] das zweite war am schwierigsten, weil da einfach auch Größen waren, die ich vorher jetzt noch nicht gesehen hab, oder so... weil bei der Nr. 2 steht hier ja das mit dem Widerstandsbeiwert und so... und ich wusste damit

jetzt wirklich nichts anzufangen, oder wo das vorkommt in der Formel und da ich die Größen noch nie gehört hab, wusste ich jetzt wirklich nicht, wie ich das irgendwie in Verbindung setzen soll... das war wirklich das schlimmste... am leichtesten das vierte... ja, also... weil es so eher am freiesten war, weil es einfach Fragen waren, wo man keine vorgegebenen Sachen, sag ich jetzt mal, hatte... also man hatte ne Situation, und man sollte sich die Größen selbst raussuchen und dann konnte man halt... wenn ich jetzt persönlich., weil wenn da jetzt noch andere Größen sind, die ich aber jetzt nicht weiß, dann wäre ich aber durch die nicht verwirrt und weiß so, okay, die muss ich jetzt nicht einbringen, weil ich weiß ja nicht, wie... und dann ist es leichter, auch wenn man es, wie gesagt, schon schreiben kann... und hier konnte ich mir auch eine Zeichnung machen, was mir auf jeden Fall geholfen hat, die Größen halt dann in Verbindung zu setzen... bei den anderen ist es halt, wenn das vorgegeben ist, dann weiß man nie... also ich weiß, ich muss die benutzen, aber ich weiß nicht, wie ich die in Verbindung zu den anderen setzen soll und wie ich das da ausrechnen soll, weil da halt nichts gegeben ist, außer die Zahlen...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1] ja, also das war bei der e, da wusste ich dann gar nicht mehr weiter, weil prinzipiell hatten wir das im Unterricht zwar durchgenommen, das Thema, aber das war einfach irgendwie alles weg, weil wir so viel hatten, dass ich nicht wusste, ob ich jetzt mit der Beschleunigung das ausrechnen sollte, ohne Beschleunigung... welche Formel da irgendwie wieder gefragt ist... ja, das war dann die Aufgabe... dass ich wirklich nicht wusste, wie ich dann weitermachen soll, also dass ich die Formel überhaupt nicht, irgendwie, so umstellen konnte dass es mir passt, weil es sind zwar, sozusagen, Dinge gegeben, aber dann hatte ich trotzdem immer noch das a, zum Beispiel, von der Beschleunigung übrig, die ich ja auch nicht gegeben hatte, und dann wusste ich nicht, wie ich die wiederum ausrechnen soll... und dann war das so viel auf einmal, dass das dann nicht mehr ging, und bei den anderen Aufgaben, die ähneln sich ja auch... da soll man ja auch die Geschwindigkeit berechnen, bei der d, zu dem Zeitpunkt... im Prinzip hätte ich auch die anderen Aufgaben nicht geschafft [lacht]

> [auf die Frage nach einer Verbesserung] ja, wenn ich zum Beispiel noch eine Formel gegeben hätte, wie ich a ausrechnen kann, oder a gegeben hätte, das hätte mir geholfen, weil ich das nicht hätte ausrechnen müssen, und dann direkt in die Formel einsetzen könnte, und dann hätte ich die Formel halt eher anwenden können, aber... ja, so Hilfssachen, wie zum Beispiel ne Formel daneben, oder was genau gefragt ist, weil ich dann nicht weiß, okay, jetzt gerade ist zwar gefragt, dass ich die Höhe und die Zeit ausrechnen soll, aber zum Beispiel, welche Kräfte da wirken, weiß ich halt in dem Moment nicht, und was ich alles ausrechnen kann und was ich mir selbst erschließen [muss]...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2] das war bei der zweiten Aufgabe, also die ersten Aufgabe hab ich eigentlich ganz gut verstanden, aber das war dann bei der zweiten, das war dann, da wusste ich von vornherein nicht, was ich hier machen soll... also hier ist zwar dann eine Formel gegeben, und die soll anscheinend helfend sein, aber da ich die Größen zuvor noch nie gesehen hab, also bis auf ein paar, aber ich hatte

noch nie mit denen gerechnet gehabt, da wusste ich jetzt nicht, wie ich die anwenden soll, beziehungsweise wie ich die umstellen darf und wie nicht... und wie ich auf die eine Formel komme und wie nicht, weil man weiß ja, wenn ich die Strecke will, weiß ich, ich mach das mit π und mit dem Radius ausrechnen, dann hab ich s gegeben, aber ich wusste jetzt nicht, wie ich auf p oder auf A oder auf c_w komme... also das hätte ich jetzt nicht gewusst, deshalb... da fehlen mir dann auch die Formeln und... ach... die erste Aufgabe, die ähnelt Aufgaben aus dem Unterricht, das hatten wir gemacht, bzw. das hatten wir angeschnitten, den freien Fall, aber das mit der zweiten, das ist... also das kann sein, dass wir auch was mit kugelförmigen Körpern gehabt haben, aber nicht in dieser ausführlichen Form und nicht mit den Formeln, also wir haben wenn dann nur den Radius oder so ausgerechnet, um dann die Zentripetalkraft auszurechnen, aber die zweite Aufgabe nicht...

> [auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2] okay, das sind im Prinzip eigentlich dieselben Aufgaben, nur erklärter... also weil im Prinzip ist ja die Aufgabe 1 wie die auf dem [alternativen] Arbeitsblatt, aber man kann sich das auch nochmal besser vorstellen, wie der Körper fällt, und dadurch kann man das besser auch in Bezug auf die zweite Aufgabe setzen, und hier, bei der zweiten Aufgabe ist halt auch eher erklärt, was gegeben ist, was gesucht ist, und was eigentlich da geschieht, und bei der zweiten Aufgabe auf dem richtigen Arbeitsblatt ist das halt einfach nur in Formeln, in Beschleunigung und so angegeben, also in Größen... und dann sehe ich da nur Größen und Formeln, aber ich weiß nicht, wo vorne und hinten ist... also fürs Verständnis hätte [mir das schon mehr geholfen]

> [Lösungen zu den Arbeitsblättern werden angeboten] die nehme ich mir mal mit...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3] also da war es so, dass ich bei dem zweiten gegebenen Punkt mit der Schallgeschwindigkeit nicht mehr weiter wusste, weil wir das halt, wie gesagt, im Unterricht nicht so gemacht hatten, und ich nicht wusste, wie ich die Formel jetzt so ausrechnen soll, dass ich die dann mit der Beschleunigung des fallenden Körpers und auch mit der Höhe irgendwie in Verbindung setzen sollte, also da war ich wirklich aufgeschmissen... bei dem ersten ist das... also, ging es, weil es im Prinzip wie bei Arbeitsblatt 2 war, als der Stein sozusagen dann gefallen ist, das war ja nichts anderes, aber als dann die Schallgeschwindigkeit kam, da wusste ich wirklich nicht, was da eigentlich los ist, weil ich... nee, ich hatte keine Ahnung, ich wusste nicht, was ich anwenden sollte, und das waren dann zu viele Formeln, die ich im Kopf hatte, aber ich wusste nicht, welche Formel für was ist, das ist so... ja

> [auf die Frage nach dem Umstellen von Formeln im Allgemeinen] oh je, das kann man schlecht sehen, aber ja... das ging

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 4] da fiel mir eigentlich, wenn dann, die b schwerer, weil ich da eigentlich, irgendwelche Variablen untersuchen sollte und in Zusammenhang stellen sollte, aber die a und die c , die gingen dann ohne Probleme, als ich einfach nur die Größen ausfindig machen sollte und dann erklären sollte und dann sagen sollte, was ich da jetzt, für die Modellierung sozusagen, anwenden muss, aber als ich dann halt, wo ich die Formeln rausschreiben sollte, war ich dann ein

bisschen überfordert, weil ich nicht wusste, welche Formeln es überhaupt alles gibt, also ich wusste jetzt nicht, ob ich zum Beispiel s und g in ne Formel setzen kann oder ob das dann nicht geht, also ich hab da keinen Zusammenhang gesehen und ich wusste nur, dass der Luftwiderstand da ist, dass die Gravitationskraft da ist, aber sonst.. wusste ich nicht, wie ich die Formeln erstellen soll, weil ich die noch nie gesehen hab dann... [*Modell in der Physik:*] also ich würde sagen, ein Modell ist etwas, um etwas sozusagen zu veranschaulichen, bzw. ein Modell ist ein Prinzip, eine... ich weiß gar nicht, wie ich es erklären soll... also zum Beispiel, wenn man in der Biologie dann ein Skelett hat, ist das sozusagen ein Modell dafür, um das zu erklären, also Dinge zu erklären... und deshalb, zum Beispiel wäre das Modell dann hier dieser Fallschirm an sich, mit einer kleinen Person oder so dran, dann wäre das so das Modell... [*Vernachlässigungen:*] nein, weil man hat ja im Prinzip dann ja nur das Modell, und da steht ja... da ist ja kein Blatt daneben, wo die Formeln dann draufstehen, die Formeln muss ich mir ja sozusagen selbst erschließen dann, und auch die Informationen, die ich da habe, sind ja immer noch nicht alle, die ich benötige, also trotzdem müsste man... also wenn man ein Modell hat, müsste man trotzdem noch verschiedene Dinge untersuchen... ja, wenn vielleicht das jetzt nichts wirklich sinnvolles ist, also zum Beispiel... nein, eigentlich nicht [*lacht*] im Prinzip, man kann ja auch nicht sagen, die Gravitationskraft... man kann sagen, okay, ich gebe sie jetzt nicht an in dem Arbeitsblatt, weil es klar ist, dass die Gravitationskraft wirkt, dann weiß ich ja auch, okay, wenn etwas fällt, dann ist die Erdanziehung da... also wenn man das dann sozusagen unterschlägt in dem Text, dann ist das schon möglich, aber im Prinzip sind die Kräfte ja eigentlich immer da, also so direkt kann man das nicht unterschlagen, wenn dann, so in einem Text...

> [*auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote*] 8 oder 9 Punkte [*war damit nicht besonders zufrieden*] also ich hab in dem Halbjahr eigentlich ganz gut mitgearbeitet, deshalb hätte ich mir da vielleicht mündlich mehr erhofft, aber an sich... war ich damit schon zufrieden, weil ich mich in dem Moment... war ich damit zufrieden, weil andere Leute hatten schlechtere Noten als ich...

> [*auf die Frage nach dem Stellenwert des Physikunterrichts bei sich selbst und im Umfeld*] eigentlich ist es mir schon sehr wichtig, weil es auch in Mathe hilft, sage ich mal, also das ist so, wenn man Physik verstanden hat, dann ist Mathe total leicht, sage ich jetzt mal so, weil ich finde, Physik ist nochmal die Steigerung von Mathe und... ähm... das hilft mir auf jeden Fall... das hat eigentlich einen sehr hohen Stellenwert, weil es viele Dinge vereint, das hilft auch eigentlich in Biologie, weil, wenn man da jetzt nicht unbedingt so mit Zellen jetzt was macht, aber mit anderen Themen, kann man das auch in Verbindung setzen, und ich find Physik ist jetzt eigentlich schon wichtig, bei mir hat es schon eigentlich einen großen Stellenwert, aber es gibt Fächer, die mir für die Zukunft wichtiger sind [*im Umfeld:*] ja, also das ist jetzt nicht so, dass man sagt... also die sagen jetzt nicht, Physik ist total schlimm, ich will es nicht mehr haben, es ist eher die Einstellung, okay, wir haben jetzt Physik, okay, wir machen das jetzt und dann gehen wir da wieder raus und dann passt das, aber es ist auch nicht

so dass man sagt, wow, Physik, das ist eigentlich sehr neutral, also wir haben jetzt keine Abneigung gegenüber Physik...

> [auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note] also ich ärgere mich schon, weil, also ich ärgere mich eigentlich bei jedem Fach, das ist immer so dass ich mich dann ärgere und dann sehr unzufrieden bin damit, und dann ist es auch bei Physik so, weil ich finde, Physik ist genau so ein Fach wie... da ist es eher bei anderen Fächern, wo ich mir denke, okay, hätte besser sein können, aber... andere Fächer sind wichtiger, aber bei Physik ist es schon... da ärgere ich mich schon, weil ich mir denke, eigentlich... wie bei dem einen Arbeitsblatt, wo jetzt das veranschaulicht wurde mit dem Stein, da denke ich mir... jetzt ergibt das alles Sinn, und wenn man das dann nachher nochmal alles durchgeht, die Arbeit, denkt man sich dann wirklich, da hätte man jetzt bessere Arbeit leisten können, also das ist schon ärgerlich dann... [wenn ich etwas nicht verstehe], dann denke ich mir... wirklich, also dann zweifel ich teilweise wirklich an meiner Intelligenz, weil ich mir wirklich denke, ich hab ja eigentlich die Formeln gelernt, aber dann, wenn es drauf ankommt, kriege ich es halt nicht hin... prinzipiell denke ich mir dann trotzdem, ich hab es gelernt und jetzt weiß ich nicht wie ich es anwenden soll... im Unterricht hab ich es super verstanden, weil es erläutert wurde, aber wenn ich dann in einer Arbeit sitze, dann weiß ich wirklich nicht mehr, was ich anwenden soll, was eigentlich gefragt ist, und dann ärger ich mich auch in der Klausur...

9.3.5 Schülerin 5

> [auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit] also ich fand das erste am schwersten, weil mir da halt bei jeder Aufgabe die Formel gefehlt hat, wenn ich Formeln gehabt hätte, hätte ich es vielleicht eher hinbekommen, aber ich weiß nicht, irgendwie so... ich bin nicht so flüssig mit denen, und dann... ich glaub die a hätte ich dann noch hinbekommen, und vielleicht noch eine... bei den anderen müsste ich dann schon eher nachdenken... [mit gegebenen Formeln?] nein, weil da gab es noch das mit dem Stein... der freie Fall eines Steins, Arbeitsblatt 2... weil ich halt davon noch nichts gehört hab, also das war jetzt neu für mich, dieses p und cw, das hab ich jetzt noch nicht gehört, und Endgeschwindigkeit hab ich jetzt auch noch nie berechnet, also wir hatten halt nur v, aber nicht... also nur die Geschwindigkeit, aber nicht die Endgeschwindigkeit, also da war ich dann auch bisschen verwirrt... also ich glaub, Arbeitsblatt 1 hätte ich dann einigermaßen hinbekommen, auch nicht alle Aufgaben, aber eher als dann Arbeitsblatt 2... aber da hing es auch nur bei der 2, die 1 hätte ich lösen können... am leichtesten Arbeitsblatt 4... weil wir das auch im Unterricht schon öfter gemacht haben, dass er uns halt gezeigt hat, wie man sich Formeln herleitet, und somit konnte ich mir auch denken, was da jetzt alles ein Faktor spielt, um eine Gleichung aufzustellen... die Gleichung aufstellen konnte ich jetzt nicht, aber ich wusste zumindest schon mal, welche Größen man dabei braucht... [auch mit gegebenen Formeln] hätte ich das trotzdem am leichtesten gefunden

> [auf die Frage nach Methoden] okay, also ich hab mir die Aufgabe erstmal durchgelesen, und dann hab ich halt geguckt, was für Größen gegeben sind, und dann hätte ich, wenn ich

Formeln gehabt hätte, hätte ich geguckt, was für Formeln ich dafür anwenden kann, und wo ich was einsetzen kann oder umwandeln müsste, um halt auf das Ergebnis zu kommen

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1] die Formeln... ich weiß nicht, irgendwie ist mir das alles so ein bisschen schwierig gefallen... [nicht weitergekommen] bei der a... das war so das Hauptproblem... die e, ich weiß nicht, was dieses v_y ist...

> [auf die Frage nach einer Veränderung] Formelsammlung [hätte es mir leichter gemacht], ich denke mal, mir würde es reichen, wenn ich eine Formel habe, wo halt die Variablen drinstehen, zum Beispiel wenn die Höhe gegeben ist und die Zeit, und die Geschwindigkeit zum Beispiel, dann hätte ich das so umstellen können

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2] bei Aufgabe 1 die Formeln, und bei Aufgabe 2 konnte ich halt mit den Variablen nicht so viel anfangen, weil ich die halt noch nie davor hatte, und dann war ich auch verwirrt wegen der Maßeinheit von der Dichte, und wie ich das dann umwandeln muss, dass überall die gleiche Maßeinheit ist... dass die Variablen alle unbekannt waren, da wusste ich nicht, was ich damit machen soll

> [auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2] also bei der 1... ähm... fänd ich sogar die erste Aufgabe leichter auf dem normalen, weil wir das auch immer... also da ist auch die Variable gegeben, dadurch hätte ich auch die Zeit t , also müsste ich mir keine Gedanken drüber machen, ich weiß dass 25 m/s die Geschwindigkeit ist, aber finde ich irgendwie schöner formuliert, wenn man das so beschreibt [wie auf dem normalen Arbeitsblatt], also die 2 auf dem Alternativarbeitsblatt kommt mir einfacher vor, weil ich da diese komplizierte Formel nicht habe, allerdings müsste ich mir die ja dann selbst erschließen...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3] ich hab geschrieben, was gegeben ist und was gesucht ist, und da hat mir auch wieder die Formel gefehlt...

> [auf die Frage nach dem Umstellen von Formeln im Allgemeinen] nee, eigentlich find ich das nicht so schlimm... ist ja einfach nur mal oder geteilt...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf Arbeitsblatt 4] ich fand es eigentlich nicht so schwer... also wenn das richtig ist, was ich da gemacht habe... also an sich fand ich es jetzt nicht so schwer. Ich musste halt nachdenken, aber... [Modell in der Physik:] nein, weiß ich nicht... [Vereinfachungen:] uff... nee, also ich weiß, dass wir es schonmal gemacht haben, aber ich... nee

> [auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote] 10 Punkte [war damit zufrieden] ja, doch... da ich vielleicht Physik abwähle, war ich zufrieden

> [auf die Frage nach der Beliebtheit des Physikunterrichts] also ich glaube, es liegt sehr am Lehrer... weil, ich hatte mal einen anderen Lehrer, und da hat mir das gar keinen Spaß gemacht, da habe ich nicht so den Durchblick gehabt, aber bei ihm komme ich gut mit im

Unterricht, da kann man gut mitmachen... ist jetzt nicht so, dass ich mir denke... ihh, Physik... trotzdem kein Lieblingsfach, aber macht Spaß

> [auf die Frage nach der Schwierigkeit] ich finde sogar, es liegt so mit Mathe gleichauf, also ich habe nicht so Probleme bei Mathe, aber es ist halt immer so mit Formeln und so...

> [auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld] meine Mutter versteht nichts davon, aber mein Stiefvater, der hat sich damit jahrelang beschäftigt und so, deshalb, falls ich Fragen hab, frage ich ihn auch, und dann kann er mir das erklären... [bei den Freunden] die wählen eigentlich größtenteils Physik ab

> [auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note] also generell hätte ich gerne gute Noten, und deshalb finde ich es natürlich auch nicht... also ich hatte 8 Punkte geschrieben, und ich war bei 12 Punkten mündlich, und deshalb war das dann schon... also es hat mich dann schon gestört, dass ich nur 8 Punkte hatte, weil ich dachte, die Arbeit lief gut, aber durch die mündliche Note hat es sich dann wieder ausgeglichen, also war dann doch okay

9.3.6 Schülerin 6

> [auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit] also ich fand alle wirklich schwer, aber ich würde wirklich sagen, am leichtesten ist mir Arbeitsblatt 1 gefallen, weil da waren einfach die ganzen Sachen schon angegeben, also da waren echt viele Sachen angegeben, und hätte ich halt die Formeln gewusst, hätte ich das halt echt gut damit lösen können... am schwersten war Arbeitsblatt 4 und Arbeitsblatt 2, also bei der Nummer 2, weil da musste man auch schon so ziemlich viel so von selbst herleiten, und dann waren halt so teilweise auch diese... Luftwiderstand, was wir halt nie gemacht haben, und dieses cw, Widerstandsbeiwert, was das halt alles so erschwert hat, und beim letzten, das war einfach... du hattest gar keine Angaben und das war einfach... man musste sich so selber überlegen, welche Formel könnte mit was zusammenhängen... das war halt echt... viel Denken und so Vorstellungskraft und ja

> [auf die Frage nach Methoden] also ich hab sie erstmal immer durchgelesen, dann hab ich mir die wichtigen Sachen markiert, da wo es halt nichts zu markieren gab, halt nicht... ähm... dann hab ich halt versucht, mich an Formeln zu erinnern, die was damit zu tun hatten, oder an ähnliche Sachen, die wir im Unterricht hatten... ja, und dann war es, wenn ich gar keine Idee mehr hatte, was ich machen sollte, war es dann einfach auf gut Glück losprobiert

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1] ich bin da nicht weitergekommen, weil ich mich nicht mehr an die Formel für den freien Fall erinnere, also es ist an der Formel gescheitert... eigentlich waren es die Formeln, und unbekannte Formeln

> [auf die Frage nach einer Verbesserung] also ich fand eigentlich, das Arbeitsblatt an sich war eigentlich sehr gut, sowas ähnliches hatten wir auch mal im Unterricht, aber davor wäre es eigentlich schön gewesen, wenn man sich kurz nochmal die Formeln durchgegangen hätte... aber das [die erforderlichen Formeln] hätte ich nicht auf dieses Arbeitsblatt gemacht,

das hätte ich davor so gemacht, [ein Extrablatt] aber wo nur die Formeln draufstehen, die man wirklich braucht, wäre eigentlich viel zu einfach, also da muss ja irgendwo so ein bisschen noch der Reiz dran sein... die Formelsammlung find ich eigentlich ganz schön

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2] ich bin nicht weitergekommen, weil ich nicht wusste, welche... also da haben mir einfach Angaben gefehlt, also ich wusste nicht, bei welcher Höhe ich das jetzt machen sollte, und das war dann fehlende Information [die mich verunsichert hat]... das mit der Luftreibung hatten wir noch nie, weil wir das eigentlich auch immer weggelassen haben

> [auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2] also das hier ist irgendwie jugendlicher gestaltet, also es ist auch irgendwie... nicht so physikalisch, wissenschaftlich verfasst, sondern... „können wir so tun als gäbe es keine Luft“, bei dem anderen war es so „kann der Luftwiderstand der Einfachheit halber vernachlässigt werden“, also es ist einfach so... ansprechender, von der Sprache her... ja okay, und der zweite Teil, „dann fällt der Stein immer schneller zu Boden“, war jetzt bisschen unnötig meiner Meinung nach... ja, weil das ist schon klar, wenn es keine Luft gibt, die den Fall abbremst, fällt der Stein halt zu Boden... ja, das ist halt alles generell einfacher gestellt, und das ist halt... man weiß genau, worauf man hinausgehen soll, also vor allem bei der b ist das am meisten aufgefallen [auf dem normalen Arbeitsblatt] da heißt es: „hat er den Fallweg $s = 5 \text{ m}$ “ und, bei der anderen b, beim Alternativarbeitsblatt, steht da einfach „ist der Stein 5 Meter tief gefallen“, also das ist einfach verständlicher gemacht... [und bei der zweiten Aufgabe] hä... also das habe ich jetzt erst verstanden, was die eigentlich damit sagen wollten, ich hab das bei dem anderen Arbeitsblatt gar nicht so verstanden, vor allem waren da noch viel zu viele Formeln, also... nee, also die Formeln wären ja gut gewesen, wenn man wüsste, was das alles ungefähr ist... ja okay, „kugelrunde“, ich hätte vielleicht schon bei dem anderen Arbeitsblatt dieses „kugelförmige“ übernommen, „kugelrund“ ist dann schon zu jugendlich irgendwo... nee, das hätte man... also, die Klammer von „er wiegt ein halbes Kilo und ist 10 cm breit“ hat man auch beim anderen verstanden, also Radius ist gleich... hä, 5 cm? Radius? Also irgendwie ist da jetzt... beim einen ist es 10 cm breit, beim anderen 5 cm... ah okay, Radius ist [der halbe] Durchmesser, okay verstehe...die Alternative [hätte ich lieber bearbeitet]

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3] alle Aufgaben [konnte ich nicht lösen], es lag auch einfach daran, ich hatte die Formel, aber irgendwie wusste ich da nicht genau, was ich machen sollte, also irgendwie wusste ich nicht, wie ich das anwenden sollte...

> [auf die Frage nach dem Umstellen von Formeln im Allgemeinen] gar nicht gut... nee, das liegt auch daran, also, wegen Mathe und so... das ist alles nicht so gut... ja, also irgendwie wusste ich jetzt nicht, was das t_2 , also was das zweite t sein sollte... und generell, wir sind halt gewöhnt, dass wir, wenn wir irgendwie was nicht wissen, dass es direkt dann erklärt wird

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf Arbeitsblatt 4] also es fiel mir schwer, an genau der Stelle, dass du halt alle, also mir kamen halt echt viele Formeln und Sachen in den Kopf, was damit zu tun haben könnte, aber dann

einfach diesen Zusammenhang, wie ich das umformen soll, um dann irgendwie diese Aufgabe bearbeiten zu können, weil da waren halt einfach gar keine Größen angegeben, und man musste halt irgendwie alles selbst machen, und das war halt dann... kompliziert [*Modell in der Physik*.:] also ein Modell schon, aber Modellieren... also ein Modell, ich kenn es aus Chemie, in Chemie haben wir so kleine... so Teilchenmodelle, und dann wird es gezeigt, wie so ein Teilchen aufgebaut ist oder so... aber aus Physik so... kenn ich eigentlich jetzt so kein Modell, da machen wir eher so Experimente, um die Sachen so zu verstehen [*Vereinfachungen und Vernachlässigungen*.:] den Luftwiderstand... also das machen wir immer [*in der Schule*] eigentlich, wir vernachlässigen immer eigentlich den Luftwiderstand, aber sonst... Reibung vernachlässigen wir auch voll oft, eigentlich fast immer...

> [*auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote*] 8 Punkte [*war damit nicht sehr zufrieden*] ich dachte ich hätte eigentlich 10 gehabt, aber... also bei mir ist halt eigentlich immer die mündliche Note das Beste, also wenn es dann immer so um Sachen geht, die man zuhause erarbeitet hat, vorzutragen, also Hausaufgaben vorlesen, so Sachen wo man sich dann selber so vorbereiten und erarbeiten konnte, nur halt wenn so ein neues Thema angefangen wurde, wo man halt noch nichts davon gehört hat, und das nicht konnte, war es halt schwer am Anfang, mitzukommen, dann musste man halt immer alles so nacharbeiten... also wenn ich das dann zuhause nacharbeite, fällt es mir meistens auch leichter...

> [*auf die Frage nach der Beliebtheit des Physikunterrichts*] ich finde Physik hängt halt ziemlich viel mit Mathe zusammen, und Mathe ist halt, also jetzt bei mir, und auch so bei anderen, also vielen anderen Leuten, nicht so beliebt, und da man halt die ganze Zeit so logische Zusammenhänge schließen muss von Sachen, die man sich so nicht vorstellen kann, weil manchmal kommen dann so richtig große Größen oder so richtig kleine Größen, die man sich eigentlich selber nicht vorstellen kann, das ist halt kompliziert, und Physik zählt halt eigentlich eher zu den unbeliebteren Fächern, also weil die meisten es halt auch abgeben, aber das ist auch sehr lehrerbedingt

> [*auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld*] wir wählen das alle zusammen ab, ja... mein Vater, also ich denke Physik ist eher sowas, was... okay, das soll jetzt nicht sexistisch klingen, aber... die meisten Männer können besser Physik als Frauen irgendwie... weil mein Vater kann richtig gut Physik und meine Mutter nicht so... mein Papa hilft mir dann immer, wenn ich Hilfe brauche

> [*auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note*] es ist halt, wenn man sich Mühe gegeben hat bei der Aufgabenlösung und so, dann ist es halt so, wenn man dann eine schlechte Note in Physik hat, dann ist es halt so... deprimierend, also nicht deprimierend, aber so traurig... also unangenehm jetzt nicht, weil, ich meine, es ist halt Physik... [*lacht*] es ist so, bei mir haben meine Eltern gesagt, du musst dir klar werden, welche Fächer du kannst, und welche Fächer du nicht so kannst, und du sollst halt den Fokus auf die Fächer legen, die du kannst, anstatt auf die, die du nicht kannst... so, um es halt so auszugleichen

9.3.7 Schülerin 7

> [auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit] am schwersten das mit dem Brunnen, Arbeitsblatt 3, am einfachsten war glaube ich das mit dem Stein, also Arbeitsblatt 2... im Prinzip waren die jetzt alle eigentlich nicht schwer, zum Beispiel, wäre das jetzt ne Klausur, dann würde ich vor der Klausur auf jeden Fall lernen, ich hätte die Formeln fest in meinem Kopf, aber so unvorbereitet fehlt... also man hat dann halt so diese Basis nicht, sage ich jetzt mal, aber sonst sind die glaube ich schon machbar und lösbar, mit Formeln... 1 war okay, obwohl... doch, 1 war in Ordnung, und 4 war halt anders als diese anderen Aufgaben, da man halt keine Werte hat, sondern man musste halt sich Gedanken darüber machen, was man jetzt da so einbezieht, und das ist dann vielleicht auch ein bisschen schwieriger, weil man dazu neigt, vielleicht auch unnötige Größen mit einzubeziehen, weil man denkt, es gibt so viele Größen beim freien Fall und ich beziehe die jetzt mal alle mit ein, je mehr desto besser, denkt man sich vielleicht... obwohl vielleicht letztendlich nur zwei oder drei entscheidende Größen jetzt wichtig wären...

> [auf die Frage nach Methoden] also immer durchlesen, ähm... dann sich sozusagen im Kopf ne Struktur machen, was... welcher Wert jetzt zu welcher Größe gehört, zum Beispiel hab ich das gesagt bei dem hier [Arbeitsblatt 2] waren ja so viele Angaben auf einmal, was jetzt erläutert wird, und man muss halt erstmal so einen Überblick sich selbst verschaffen, was jetzt dazu gehört und sich das irgendwie einordnen, obwohl es eigentlich schon geordnet ist, aber so viele Buchstaben auf einmal sind irgendwie...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1] ja, [ob diese Formel überhaupt richtig ist] ja, die verschiedenen Zeitpunkte, weil die Sache ist, wäre das jetzt ne Arbeit und mir würde die Formel fehlen, dann hätte ich die ganze Aufgabe nicht, weil die nachfolgenden Aufgaben beziehen sich ja irgendwie auf die a, und die b... ich muss ja erstmal noch t_2 ja irgendwie wissen und dann wird hier ja nach t_3 gefragt... dass es aufeinander aufbaut

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2] ich hatte das Gefühl, dass mir hier ein Wert fehlt, um das irgendwie einzusetzen, weil ich hatte nur einen Wert gegeben und ich brauche mindestens zwei... dachte ich jetzt so... also man musste sich das jetzt alles merken, man durfte da jetzt nichts verwechseln und so... also einfach mehrfach lesen

> [Lösungen zu den Arbeitsblättern werden angeboten] ah, also v ist gleich a durch t... und dann einfach umstellen

> [auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2] hmm... mir fällt auf, dass bei der alternativen Aufgabe im Text einbezogen wird, dass es ein kleiner Stein ist, hier [auf Arbeitsblatt 2] steht es zwar in der Überschrift, aber dann in der Aufgabe selbst steht „ein Körper mit geringer Ausdehnung“, ähm... vielleicht dient das bei der Alternative mehr für die Vorstellung, damit man sich das besser vorstellt, wenn man jetzt einen genauen Körper vor sich hat, weil ich meine, das könnte alles Mögliche sein... also die Alternative ist auf jeden Fall leichter gestellt... die hier [Arbeitsblatt 2] ist in so ner Fachsprache, sage ich

jetzt mal... zum Beispiel der Luftwiderstand, und hier steht „es gebe keine Luft“... im Prinzip werden bei der alternativen Version die Fachwörter einfacher erklärt, umschrieben... [würde die alternative Version die Lösung erleichtern?] es kommt drauf an... im Prinzip weiß man ja, was Luftwiderstand bedeutet, ich sag jetzt mal, das ist wie so ne Aufgabe für Neuntklässler, also so für jüngere auf jeden Fall

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3] oh Gott, wenn ich das schon sehe [die Lösung], weiß ich, wieso ich Physik abwählen werde... [lacht] also p-q-Formel... ja, die kann ich... [notiert p-q-Formel] das war ja gar nicht so schlimm eigentlich...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf Arbeitsblatt 4] ein Modell, wie so ne Skizze? Okay... also selbstgewählte v end...

> [auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote] 12 Punkte [war damit sehr zufrieden]

> [auf die Frage nach der Beliebtheit des Physikunterrichts] unbeliebt... ich finde es halt kompliziert

> [auf die Frage nach der Schwierigkeit] ist schwierig

> [auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld] alle eher so... Physik abwählen

> [auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note] ja, unangenehm... dazu habe ich auch eine Vorgeschichte... in der 7. Klasse hatte ich ein super Zeugnis, ne 1 in Mathe, und dann hatten wir plötzlich, mitten im Halbjahr, einen Lehrerwechsel, und der Lehrer kannte uns alle nicht, dann hatten wir den für eine kurze Zeit und mussten dann eine Arbeit schreiben, und die Arbeit hab ich total verhauen, 5 minus, dementsprechend ne 5 im Zeugnis, und dann hab ich mich so angestrengt, auf eine gute Note zu kommen, und bin dann auf eine 1 gekommen und war dann Klassenbeste... will auf gar keinen Fall da stehen bleiben, das ist dann so ein Antrieb für mich sozusagen... [in Physik] die Eltern überlassen mir das mehr, so mit der Schule und meinen, nächstes Mal wird es dann besser sein... also ich sag mal so, weil meine Eltern sind jetzt nicht so die Naturwissenschaftler... würde ich jetzt in Mathe ne schlechte Note mit nach Hause bringen, dann wäre es vielleicht dramatischer als jetzt in Physik, dann denken sie, okay, Physik, so... nee, nicht unangenehm

9.3.8 Schüler 8

> [auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit] also ich finde die letzte Aufgabe mit dem Fallschirm war am einfachsten, da war nichts mit Zahlen gegeben, und auch nichts zum Rechnen, einfach nur zum Überlegen, was man halt für sinnvoll erachtet, das fand ich relativ einfach, jetzt weiß ich nicht ob es dann auch richtig war, aber so vom Gefühl halt einfach... also am einfachsten ist es eigentlich immer, wenn nicht so viele Sachen gegeben sind und auch nicht so viele Sachen gefragt sind, zum Beispiel die Tiefe des Brunnens war jetzt ein bisschen komplexer, weil man nicht nur eine Sache mit einbeziehen musste, sondern zwei verschiedene Situationen, und die dann zusammen in eine Gleichung, oder Rechnung halt mit reinbringen... ähm... ich denke, das [erste Arbeitsblatt] fand ich noch ein bisschen einfacher, weil da waren nur m/s, also ne Höhe angegeben, und ne Geschwindigkeit, und hier

drüben [auf Arbeitsblatt 2] wurde noch nach der Zeit gefragt, zusätzlich... Zeit, Geschwindigkeit und Höhe

> [auf die Frage nach Methoden] also wie ich ja vorhin schon gesagt habe, schreibe ich mir erstmal alles auf, was ich gegeben hab, dann überleg ich für mich selber, was macht Sinn, was wo einzusetzen, was will ich überhaupt haben, dann überleg ich mir das erstmal alles in Worten und nicht in der Formel quasi, überleg mir immer, zum Beispiel, Strecke ist gleich bla bla bla, überleg mir da nicht den Buchstaben, sondern echt Strecke oder was die Formel dann halt bedeuten soll, ähm...

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1, Lösung wird angeboten] ähm, besonders schwierig fand ich, es war ne Höhe gegeben, und es war noch ne Gleichung gegeben, die eine Geschwindigkeit angibt, also 10 m/s^2 , und es wurde nach einer anderen Höhe gefragt und nach einem Zeitpunkt, aber davor war quasi von einem Zeitpunkt nie die Rede, sondern nur von einer Höhe und der Geschwindigkeit, und jetzt muss ich halt aus den beiden genannten Dingen... muss ich halt schauen, auf welcher Höhe es zu einem gewissen Zeitpunkt ist, das heißt aus ner Geschwindigkeit und ner Höhe muss ich dazwischen quasi irgendwas herausfinden, irgendein Wert in der Mitte ungefähr...

> [auf die Frage nach einer Veränderung] ähm... allgemein zu der Aufgabe jetzt hier? Natürlich ist es immer schön, wenn man mehr Werte hat oder ne Skizze da nebendran, das finde ich, erleichtert das immer sehr stark, weil man sich das dann bildlich vorstellen kann, und kann sich vielleicht auch an die Skizze Werte dranschreiben, um sich das zu veranschaulichen

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 2] ja, da ist zum Beispiel auch nicht gegeben, die Gleichung die hier quasi in den Lösungen verwendet wird, v ist gleich a mal t , die ist hier halt allgemein nicht gegeben, die müsste man sich selbst aus ner Formelsammlung raussuchen, oder halt auswendig wissen, damit man halt damit rechnen kann, und wenn es da stehen würde, wüsste man auch direkt, was man halt machen muss, und wenn es da nicht steht, muss man erstmal überlegen...

> [auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2] na ja, die Alternative ist irgendwie ein bisschen kindlicher geschrieben, nicht mit so vielen Fachwörtern, einfache Alltagssprache, die man auch versteht, wenn man noch nie irgendwas von Physik gehört hat... [würde es helfen?] ja, finde ich schon einfacher, so auch bei der a, zum Beispiel, steht bei dem normalen Arbeitsblatt „nach welcher Zeit t hat er die Geschwindigkeit v ist gleich 25 m/s “, und [auf dem alternativen Arbeitsblatt] steht einfach „wie lange dauert es, bis der Stein 25 m/s schnell ist“... denke schon, vielleicht, ja, halt auch mit der Voraussetzung, dass ich die Formel weiß dafür, die v ist gleich a mal t ... nee... das stimmt zwar, dass hier dann t und v gegeben ist, auch als Buchstaben an sich, und hier nirgendwo ne Aussage über Zeit ist, es ist nirgendwo die Rede von Zeit einfach, deswegen ist... ich weiß nicht, es hat beides Vor- und Nachteile, so ein Gemisch aus beiden wäre vielleicht optimal, um die Aufgabe am besten zu lösen, halt einfache Wortwahl, aber trotzdem ein paar

Fachwörter, wie Zeit, und dazugehörig den Buchstaben zur Zeit, zum Beispiel in dem Fall t, dazu hinzuschreiben

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3] ja, das Problem war, ich hab... mir war klar, dass t_1 und t_2 zusammen 1,5 Sekunden sind... also quasi die Zeit...wie sich das aufteilt, und mir ist halt klar, dass die Münze langsamer fällt, also das dauert länger, bis die Münze unten aufkommt, als die Schallwellen zurückkommen, quasi... der Schall ist schneller als die Münze... das wusste ich schon mal... deswegen musste ich noch wissen, wie tief der Brunnen ist, oder wie hoch der Brunnen halt ist, um zu schauen, ähm... wie lange der Schall von unten bis oben braucht, sagen wir mal, der Brunnen ist 20 Meter hoch, dann muss ich halt schauen, in wie vielen Sekunden der Schall 20 Meter weit gekommen ist... [Lösung wird besprochen] die p-q-Formel! Ja, die kann ich [notiert und erklärt p-q-Formel] vor dem Quadrat darf nichts stehen

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf Arbeitsblatt 4] ein Modell ist... würde ich jetzt mal behaupten, quasi visualisiert, und so zusammengestückt... aber ich weiß nicht, wie ich das mit Worten beschreiben soll, also es muss ja aus diesem Text etwas modelliert werden, also man braucht irgendwas, womit man dann was anfangen kann... [den Luftwiderstand vernachlässigen?] nee, das würde ja gar keinen Sinn machen, weil es ist ja danach gefragt, wie er halt auf den Boden kommt, ohne sich wehzutun, und dafür ist halt wichtig der Luftwiderstand...

> [auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote] 4 oder 5 oder sowas... wird auch nach der Mittelstufe gefragt? Das wäre besser, in der Mittelstufe hatte ich ne 1... [war damit nicht zufrieden] ja, ich hab auch mündlich absolut gar nichts gemacht, und... sagen wir so, in der Mittelstufe war das halt ein ganz anderes Niveau, halt viel einfacher natürlich, und... weiß ich nicht, da war das irgendwie viel aktiver der Unterricht, gefühlt... das liegt jetzt nicht [am Lehrer], sondern das liegt allgemein an der Oberstufe, das ist halt ein anderes Niveau...

> [auf die Frage nach der Beliebtheit des Physikunterrichts] eigentlich immer gerne gemacht, aber da ich jetzt Bio-LK nehmen will und dafür Biochemie brauche, muss ich leider dann wahrscheinlich Physik abwählen... obwohl ich Physik eigentlich echt gerne behalten hätte, und ich hab echt auch überlegt, auch wenn das Zeugnis jetzt vielleicht nicht so gut war, ich weiß ja dass ich es besser kann, aus der Mittelstufe, ob ich vielleicht Physik-LK mir mal anschau, aber weil ich einen Kumpel hab, der Physik-LK hat, und der meinte, das wird fast nur noch Mathe und nur Formeln hin- und herstellen, und alles... und der meinte, das wird mega schwer, und dann bin ich ein bisschen zurückgetreten davon...

> [auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld] der Großteil absolut gar nicht physik-affin, aber ein paar... wenn sich welche für Physik interessieren, dann stark

> [auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note] ja, stört mich halt schon auch selber, wenn ich mir das Zeugnis ansehe, und anschau: vorher war ich viel besser, ne 1 im Zeugnis... ja... ist halt schon traurig, quasi, weil die wissen auch, dass ich in Physik immer gut war, und wenn die dann halt auch nur minimal schlechter geworden sind, und ich von ganz gut zu ganz schlecht quasi... ist halt umso lustiger für die anderen quasi [lacht]

9.3.9 Schüler 9

> [auf die Frage nach dem Ranking der Schwierigkeit] diese Tiefe des Brunnens, da hatte ich mich damals schon bei meiner ersten Klausur mit beschäftigt, wo ich es aber nicht hinbekommen hab... ja [das war am schwersten], ähm... ich würde sagen, Arbeitsblatt 1 und 2 [waren am leichtesten], wenn man da ne Formelsammlung hat, dann glaube ich, kriegt man die ganz gut hin... [Arbeitsblatt 4] mittel, weil man nicht rechnen muss

> [auf die Frage nach Methoden] also normalerweise lese ich mir das erstmal durch, dass ich es verstehe, danach vielleicht immer erst Gedanken, schreibe ich mir auf... gucke, wenn ich ne Formelsammlung hab, welche Formeln man dafür gebrauchen könnte... also normalerweise gucke ich einfach in der Formelsammlung, da steht das alles

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 1, Lösung wird angeboten] ich glaube, einfach das Fehlen der Formeln...

> [auf die Frage nach einer Veränderung] ja, dass die Formeln da mit draufstehen

> [auf die Frage nach dem Vergleich mit der Alternative zu Arbeitsblatt 2] ähm... das [alternative Arbeitsblatt] ist auf jeden Fall leichter geschrieben, weil da so Wörter wie „geringe Ausdehnung“ oder sowas da nicht erwähnt werden... da wird halt auch von einem Stein geredet, und nicht von einem Körper... und weil es halt nicht so kompliziert angegeben ist, mit c_w , p , A , v end... [würde es leichter fallen?] hätte ich jetzt wahrscheinlich die Formeln, dann... ich glaube, vielleicht schneller [die Formeln aufstellen], aber am Ende... die Fragestellung jetzt nicht, also damit komme ich zurecht, mit dem [unteren] jetzt auch, es ging nur darum... das hier [alternatives Arbeitsblatt] kann man leichter lesen, ja... weil man das vielleicht schneller dann versteht... gut, das ist jetzt... [„es gibt keine Luft“] hätte ich jetzt nicht so geschrieben, aber ja... ich glaube, so Wörter wie Luftwiderstand, das versteht man schon... hmm, ich komme eigentlich schlechter damit zurecht... na ja, denke ich mir geradem weil... ja

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal auf Arbeitsblatt 3, Lösung wird besprochen] ja... p-q-Formel... [notiert Formel]

> [auf die Frage nach dem schwierigkeiterzeugenden Merkmal und Modellen auf Arbeitsblatt 4] ich glaube, schwierig fand ich... ja, es ist ja nicht viel an Größen gegeben, oder an Orientierungshilfen... und auch nichts, woran man sich orientieren könnte, vielleicht ein Tipp oder sowas... was ist so gesucht... bringt einen nicht sehr viel weiter... Modell? Nee... [Vernachlässigungen:] also meistens lässt man ja den Luftwiderstand weg... [hier im Modell] würde es auf jeden Fall einen Unterschied machen... achso...

> [auf die Frage nach der Halbjahreszeugnisnote] ich glaube, ich stand zwischen zwei Noten... 12 [war damit zufrieden] ja, ziemlich...

> [auf die Frage nach der Beliebtheit des Physikunterrichts] also ich wähl es ab, aber... ja, ich meine, es geht... also ich mag es eigentlich schon, nur dass es gefühlt halt Mathe, plus noch mehr ist, so dass es jetzt ein bisschen ein Risikospiel ist, es weiter zu nehmen

> [auf die Frage nach dem Stellenwert von Physik im Umfeld] ich glaube, jeder hat Physik abgewählt... [lacht]

> [*auf die Frage nach der Bedeutung einer schlechten Note*] ist mir jetzt allgemein nicht unangenehm... gut, [*zu Hause*] wäre es jetzt nicht so gut... [*in Physik*] war ich eigentlich immer ganz gut drin... war halt themenabhängig

10. Rechtsverbindliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwandt und die Stellen, die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift der Verfasserin