

Universität Würzburg
Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
Fakultät für Physik und Astronomie

**Schriftliche Hausarbeit
im Rahmen der ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien**

**Schülerexperimente im LehrplanPlus -
Beispiele für eine mögliche Realisierung**

Eingereicht von
Ludwig, Uli

Abgabe: Oktober/2019

Gutachter: Dr. S. Lück

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Einführung	5
2. Kompetenzorientierter Unterricht.....	6
2.1 Bildungsstandards	6
2.2 Der LehrplanPlus.....	9
3. Das Experiment.....	10
3.1 Das Experiment im Allgemeinen.....	10
3.2 Das Experiment in der Schule	10
3.2.1 Gegenüberstellung des Schüler- und des Demonstrationsexperiments	11
3.2.2 Ziele, Schwierigkeiten und Hilfestellungen bei der Umsetzung des Schülerexperiments	13
3.2.3 Das Schülerexperiment in Verbindung mit der Gruppenarbeit	16
3.3 Ein Modell für experimentelle Kompetenz.....	17
4. Ausgewählte Schülerexperimente	19
4.1 Dichteabschätzung kleiner Körper	19
4.1.1 Sachanalyse	19
4.1.2 Lehrplanverortung des Themengebietes Dichte.....	20
4.1.3 Experiment zur Dichteabschätzung kleiner Körper	20
4.1.4 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht	23
4.1.5 Analyse des vorgestellten Schülerexperiments	24
4.2 Einführung der spezifischen Wärmekapazität	26
4.2.1 Sachanalyse	26
4.2.2 Lehrplanverortung des Themengebietes spezifische Wärmekapazität	28
4.2.3 Experiment zur Einführung der spezifischen Wärmekapazität	28
4.2.4 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht	35
4.2.5 Analyse des Schülerexperiments	36
4.3 Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs.....	39
4.3.1 Sachanalyse	39
4.3.2 Lehrplanverortung des Themengebietes waagrecht Wurf.....	42
4.3.3 Experiment zur Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs.....	43
4.3.4 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht	50
4.3.5 Analyse des Schülerexperiments	51

5. Schuldurchführung zur Einführung der spezifischen Wärmekapazität	54
5.1 Ausgangssituation	54
5.2 Durchführung und Beobachtungen	54
5.3 Schülerfeedback	58
5.4 Verbesserungsmöglichkeiten	58
6. Zusammenfassung und Ausblick	60
7. Literaturverzeichnis	61
8. Anhang	65
8.1 Erläuterung der Facetten und Niveaustufen des Modells für experimentelle Kompetenz	65
8.2 Arbeitsblatt zur Dichteabschätzung kleiner Körper	67
8.3 Messwerte und Materialien zum Wärmekapazitätsexperiment	69
8.3.1 Aufgenommene Messwerte	69
8.3.2 Graphausschnitt zum Ablesen von $Q_{w,ab}$	72
8.3.3 Arbeitsblatt zur Einführung der spezifischen Wärmekapazität	73
8.3.4 Schülerfragebogen	75
8.4 Materialien zum Waagrechten Wurf	76
8.4.1 Arbeitsblatt Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs	76
8.4.2 Kurzanleitung zum Videoanalyseprogramm Tracker	78
8.4.3 Kurzanleitung zum Erzeugen von Diagrammen in Excel	81
8.4.4 Daten der Versuchsauswertung	81
9. Erklärung nach §29 LPO-I	83

1. Einführung

Mit der Einführung des neuen LehrplanPlus zum Schuljahr 2017/2018 an den bayerischen Gymnasien ergeben sich insbesondere für die Lehrkräfte einschlägige Neuerungen: So ist der Einsatz von meist mehreren Schülerexperimenten pro Schuljahr verpflichtend in den Lehrplan integriert worden. Da es sich auch um Experimente handelt, welche früher als Demonstrationsversuch behandelt wurden, ist teilweise Einfallsreichtum gefragt, um diese, auch unter der Berücksichtigung von materiellen Aspekten, gewinnbringend als Schülerexperimente realisieren zu können

Diese Arbeit soll nun einen Versuch bilden, anhand von drei ausgewählten Beispielen eine mögliche Umsetzung im Unterricht aufzuzeigen. Ziel ist es dabei, dass es den Lehrkräften durch das Lesen dieser Arbeit möglich ist, vorgestellte Experimente ohne Unklarheiten aufzugreifen bzw. sich den Chancen oder auch Schwierigkeiten eines Einsatzes bewusst zu sein. Bei den vorgestellten Schülerexperimenten handelt es sich um Umsetzungsvorschläge, die die geforderten Kompetenzerwartungen, gewinnbringende Ergebnisse sowie materielle Aspekte bestmöglich miteinander vereinbaren sollen.

Nachdem zu Beginn dieser Arbeit das Modell der Bildungsstandards und das Konzept des daraus resultierenden LehrplanPlus vorgestellt wird, geht der Blick erst vom Allgemeinen auf das Schulexperiment und danach genauer auf das Schülerexperiment über, in dem u.a. Vorzüge oder aktuelle Probleme, die mit dieser Experimentierform einhergehen, beleuchtet werden.

Der anschließende Praxisteil soll den Kernteil dieser Arbeit bilden, nämlich das Vorstellen von drei konzipierten Schülerexperimenten. Neben den möglichen Einsätzen im Schulunterricht werden die Experimente dazu auf potenzielle Schwierigkeiten wie auch Chancen analysiert bzw. die Herangehensweise begründet. Die in einem Praxistest erhaltenen Erfahrungen zu einem der drei Experimente bilden den thematischen Abschluss dieser Arbeit.

Im Anhang finden sich zu jedem der vorgestellten Experimente Arbeitsmaterialien in Form von Vorschlägen für begleitende Arbeitsblätter.

Vereinfachend wurde für Schülerinnen und Schüler bzw. Lehrerinnen und Lehrer nur die Begriffe Schüler und Lehrer verwendet.

2. Kompetenzorientierter Unterricht

Da sich die Experimente auf den LehrplanPlus beziehen, wird dieser sowie das Modell der Bildungsstandards, auf dessen dieser konzipiert wurde, im Folgenden erläutert.

2.1 Bildungsstandards

Das unterdurchschnittliche Abschneiden deutscher Schulen in internationalen Vergleichsstudien wie PISA („Programme for International Student Assessment“) oder TIMSS („Trends in International Mathematics and Science Study“) zu Beginn der Jahrtausendwende ist durch die damalige Medienpräsenz sicherlich den meisten Menschen dieses Landes in Erinnerung geblieben. Als Folge dessen beschloss die Kultusministerkonferenz der Bundesländer (KMK) das Einführen der bundesweiten Bildungsstandards. Für den Mittleren Schulabschluss wurden zu den 2003 beschlossenen Standards für die Fächer Deutsch, Mathematik und die erste Fremdsprache 2004 Standards für die Naturwissenschaften Physik, Biologie und Chemie schließlich ergänzt, die zum Schuljahr 2005/2006 eingeführt wurden.

Bildungsstandards werden durch Kompetenzen ausgedrückt, die die Schüler bis zum Ende einer angegebenen Jahrgangsstufe erworben haben sollen, in welchen pädagogische oder gesellschaftliche Zielvorstellungen berücksichtigt werden. Durch diese bundesweiten, verbindlichen Anforderungen lassen sich schließlich bundeslandübergreifende Leistungsprüfungen durchführen. (vgl. (Müller, 2010))

Jedoch ist anzumerken, dass durch die Einführung der Bildungsstandards kein „standardisierte[r], einheitlicher Unterricht in einem der Bundesländer“ entstehen soll. (Kircher, 2015 S. 93)

Der Kompetenzbegriff handelt nach Weinert dabei neben den (erlernbaren) Fähig- und Fertigkeiten auch von der Bereitschaft, diese zum Lösen von Problemen auch einzusetzen, also über das bloße Fachwissen hinausgehend. (vgl. (Weinert, 2001 S. 27f))

Die für das Fach Physik festgelegten Kompetenzbereiche Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung werden im Folgenden erläutert. (vgl. (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005 S. 7ff)).

Der Kompetenzbereich des Fachwissens „beinhaltet Wissen über Phänomene, Begriffe, Bilder, Modelle und deren Gültigkeit sowie funktionale Zusammenhänge und Strukturen“. (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005 S. 8). Hierbei wurde zusätzlich eine Unterteilung in vier Basiskonzepte vollzogen, in

welche sich sämtliche Unterrichtsinhalte thematisch kategorisieren lassen: Materie (z.B. Körpereigenschaften, Atomare Betrachtung), Wechselwirkung (z.B. Kraftwirkungen, Strahlung), System (z.B. Gleichgewichtszustände, Stromkreise) und Energie. Diese Zuordnung soll das Aufbauen eines geordneten Wissensbestands bewirken bzw. vereinfachen, welcher eine essenzielle Voraussetzung für das Beschäftigen mit physikalischen Problemstellungen darstellt.

Der Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung bezieht sich auf das Nutzen von Modellen bzw. von Methoden wie beispielsweise das Experiment. Hierbei lassen sich fünf Arbeitsweisen nennen, welche beim Prozess der Erkenntnisgewinnung stattfinden:

Dem Begriff „Wahrnehmen“ werden zum einen das Erkennen und Beschreiben von Problemstellungen oder Phänomenen zugeschrieben, aber auch die Kenntnis über den eigenen Wissenstand ist in dieser Kategorie beheimatet. Werden Inhalte zu bereits bestehendem Wissen zu- bzw. eingeordnet, fallen diese Tätigkeiten unter „Ordnen“. Das Aufstellen von Hypothesen geschieht beim „Erklären“. Diese lassen sich mithilfe von Experimenten auf ihre Gültigkeit hin untersuchen bzw. bewerten, was unter „Prüfen“ zu verstehen ist. Die Arbeitstechnik „Modelle bilden“ beinhaltet schließlich noch, neben dem Verallgemeinern, dem Formalisieren oder dem Abstrahieren von Zusammenhängen, auch die in der Schule so bedeutungsvollen Idealisierungen von Gegebenheiten bzw. das Vollziehen von Transferleistungen.

Die Kommunikationskompetenz geht weit über das angemessene Benutzen von Alltags- sowie der Fachsprache hinaus. Um das eigene Wissen erweitern zu können, ist es unabdingbar, Informationsmedien korrekt zu nutzen bzw. sich eigenständig Informationen aus Graphiken, Tabellen oder auch Fachtexten erschließen zu können. Das sachgemäße Dokumentieren von Ergebnissen aus Experimenten gehört ebenfalls dazu. Des Weiteren beinhaltet diese Kompetenzkategorie ein angemessenes Verhalten und das Einbringen von eigenen Standpunkten in einer Diskussion, oder aber auch einen sinnvollen Umgang mit den Präsentationstechniken der heutigen Zeit.

Der letzten Kompetenzkategorie, die der Bewertung, fällt besonders heutzutage eine herausragende Rolle zu. Gerade im Hinblick auf weitreichende, viel diskutierte Entscheidungen sind des Öfteren Unwahrheiten im Umlauf, um Teile der Bevölkerung auf eine Seite zu ziehen. Diese Kompetenz schließt das Unterscheiden von nicht naturwissenschaftlichen Aussagen gegenüber physikalisch belegten mit ein, aber auch das Beurteilen von Sachverhalten aus unterschiedlichen, teils gegenüberstehenden, Perspektiven heraus ist ein Kernpunkt beim Bewerten.

Die gerade erläuterten Kompetenzbereiche lassen sich also einer inhaltlichen- (Fachwissen) und einer Handlungsdimension (Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung) zuschreiben. Jedoch ist es unabdingbar, dass der Kompetenzerwerb dimensionsübergreifend gleichzeitig und dazu in kontextueller Gebundenheit geschieht.

Zu jedem der oben genannten Kompetenzbereiche wurden durch die KMK Regelstandards festgelegt, die die Schüler beim Absolvieren des Mittleren Schulabschluss erreicht haben sollen, mit dem bei vielen Schülern der Physikunterricht endet. So sollen die Regelstandards laut Mikelskis eine „grundlegende physikalische Bildung“ bei den Schülern bewirken, die „zur Bewältigung praktischer Lebensanforderungen befähigt“. (Mikelskis, 2010 S. 51)

Die für das Experimentieren im Physikunterricht zugehörigen Standards finden sich natürlich unter dem Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung und werden nun aufgeführt:

„Die Schülerinnen und Schüler [...]

- E6 stellen an einfachen Beispielen Hypothesen auf
- E7 führen einfache Experimente nach Anleitung durch und werten sie aus
- E8 planen einfache Experimente, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse
- E9 werten gewonnene Daten aus, ggf. auch durch einfache Mathematisierungen
- E10 beurteilen die Gültigkeit empirischer Ergebnisse und deren Verallgemeinerung“

(Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005 S. 11)

Das Einführen der Bildungsstandards stieß jedoch nicht nur auf Befürwortung: So werden die hastige und ohne Rücksprache mit anderen Institutionen getätigte Einführung bzw. die teils zu hohen Anforderungen der Regelstandards genannt. Kircher kritisiert den „Mythos“ der oben beschriebenen Arbeitsweisen zum Prozess der Erkenntnisgewinnung, dass man durch Durchlaufen dieser festen Schritte von einem Phänomen schließlich auf das Bilden von Modellen oder Theorien gelangt. Weiterhin ist die Gefahr zu nennen, dass der Unterricht einzig an guten Resultaten in Vergleichstests ausgelegt wird. (vgl. (Kircher, 2015 S. 100), (Schecker, et al., 2007))

2.2 Der LehrplanPlus

Durch die Einführung der Bildungsstandards mussten natürlich Anpassungen an den Schullehrplänen erfolgen, da viele dieser weit vor der Reform konzipiert wurden und somit die Kompetenzaneignung in der heutigen Form natürlich keine Berücksichtigung fanden. Mit dem LehrplanPlus, der ab dem Schuljahr 2017/2018 neben Mittelschulen, Realschulen auch an den bayerischen Gymnasien in Kraft trat, wurde ein Lehrplan erstellt, welcher wie kein anderer zuvor auf die Orientierung des Kompetenzmodells ausgelegt ist. Dieser soll nun im Folgenden ausschnittsweise vorgestellt werden.

Im Kompetenzprofil der Jahrgangsstufe werden für jedes Fach grundlegende Kompetenzziele aufgezählt, welche jahresumfassend aufgebaut und am Ende erreicht sein sollten. Beispielsweise wird hier für die 12te-Jahrgangsstufe in Physik u.a. das Anwenden von verschiedenartigen Methoden zur Erkenntnisgewinnung genannt.

Die Fachlehrpläne einer Jahrgangsstufe werden in thematisch gegliederte Lernbereiche unterteilt, wobei sich zu jedem Lernbereich geäußerte Kompetenzerwartungen wiederfinden, welche eine genauere Beschreibung der grundlegenden (Jahres-) Kompetenzerwartungen darstellen, sowie die dazugehörigen -inhalte, welche schließlich den Ausgangspunkt für die Gestaltung des Unterrichts bilden. (vgl. (ISB, 2015))

Für den Physikunterricht an bayerischen Gymnasien bedeutet die Umstellung zum LehrplanPlus eine größere Anzahl an Experimenten, die von den Schülern selbst getätigt werden sollen. Diese Umgestaltung soll die Weiterentwicklung der experimentellen Kompetenz bewirken, welche ja, wie bereits oben erläutert, einen essenziellen Bestandteil der Erkenntnisgewinnungskompetenz darstellt. Zudem werden hierbei z.B. mit dem (möglichen) Nutzen von Computertechnologie für das Experimentieren ebenso die fächerübergreifenden Aspekte des neuen Lehrplans untermauert, wie hier zur Informatik. Diese Schülerexperimente sind durchgehender Bestandteil der fachlichen Inhalte von der siebten (Physik als Teil des *Natur und Technik* - Unterrichts) bis zu elften Klasse des bayerischen Gymnasiums.

Dazu werden unter anderem fächerübergreifende - bzw. Alltagskompetenzen wie Teamfähigkeit, mithilfe von Projektarbeiten, die in der zehnten und elften Jahrgangsstufe verankert sind, gefördert. Selbstverständlich können auch Schülerexperimente, falls sie in Partner- oder Gruppenarbeit vollzogen werden, hierzu beitragen. (vgl. (ISB, 2019))

Abschließend ist es noch wichtig anzumerken, dass durch die bevorstehende (Rück-) Umstellung auf das neunjährige Gymnasium, kurz G9, erneute Lehrplanänderungen

bevorstehen werden.

Unter 4. werden mögliche Realisierungsvorschläge der angesprochenen Schülerexperimente anhand von drei exemplarisch ausgewählten Beispielen vorgestellt.

3. Das Experiment

Nach dem Experiment im Allgemeinen, widmet sich dieses Kapitel mit dem Experiment in der Schule.

3.1 Das Experiment im Allgemeinen

Die Bedeutung des Wortes „Experiment“ kann sich je nach Berufsgruppe unterscheiden. So verbindet ein wissenschaftlicher Arbeiter eines Forschungsinstituts mit einem Experiment vermutlich den Wunsch nach neuen Erkenntnissen in Forschungsfragen, währenddessen ein Lehrer wohl als Erstes an das Schulexperiment bzw. den Schulversuch denkt, mit dem er seinen Schülern bereits bestehendes Weltwissen nahebringen möchte. Laut Berger lässt sich jedoch eine Trennung zwischen dem „Experiment in der naturwissenschaftlichen Forschung“ und dem „Versuch im didaktischen Sinne“ im Schulalltag nicht erreichen, weshalb auch in dieser Arbeit die Begriffe „Experiment“ und „Versuch“ gleichbedeutend gehalten werden. (vgl. (Berger, 2012 S. 29))

In den folgenden Abschnitten wird nun auf das Schulexperiment und seine Bedeutung für den Unterricht eingegangen.

3.2 Das Experiment in der Schule

Bleichroth betont die bedeutende Stellung des Unterrichtsexperiments mit seiner Aussage, dass das Experiment als „das wichtigste, den Physikunterricht geradezu kennzeichnende Unterrichtsmedium anzusehen“ sei. (Bleichroth, 1999 S. 248)

Tesch fand mittels einer Video-Studie zudem heraus, dass im deutschen Physikunterricht das Experiment mitsamt seiner Vor- und Nachbereitung circa zwei Drittel der Unterrichtszeit einnimmt. (vgl. (Tesch, et al., 2004 S. 59))

Dem Experiment wird also eine immense Bedeutung im Physikunterricht beigemessen. Da stellt sich automatisch die Frage nach den Gründen hierfür. Welche Ziele möchte man mit dem Einsatz des Experiments im Unterricht der Physik erreichen?

Laut Girwidz stellt das Experiment im Physikunterricht eine Verbindung von der Realität und der dazugehörigen Theorie dar. So lassen sich zum einen durch Experimente

Arbeitsweisen aufzeigen, die die Erkenntnisgewinnung überhaupt erst ermöglichen; zum anderen dient es dazu, Gesetzmäßigkeiten in der Praxis aufzuzeigen, denn „[...] physikalische Effekte lassen sich verbal nicht annähernd so eindrucksvoll und anschaulich darstellen wie in einem Versuch“. (Girwidz, 2015 S. 229)

Insbesondere für Lehrer stellen zudem die Vermittlung von Fachwissen, das Entstehen von physikalischen Vorstellungen bzw. von Grunderfahrungen oder die Interessens- und Motivationsaktivierung wichtige Zielsetzungen des Schulexperiments dar. (vgl. (Karaböcek, et al., 2015 S. 3))

Girwidz klassifiziert insgesamt 14 didaktische Zielvorstellungen. Neben den bereits oben genannten Zielen erwähnt er hier auch das Prüfen von Schülervorstellungen, das Aufzeigen der Bedeutung von Physik im Alltag oder das Kennenlernen der historisch besonders bedeutsamen Experimente und deren Auswirkungen auf den Menschen, wie beispielsweise die Entdeckung des natürlichen radioaktiven Zerfalls. (vgl. (Girwidz, 2015 S. 229))

Im Physikunterricht lassen sich zwei Experimentierformen unterscheiden. Es gibt zum einen den Demonstrationsversuch und zum anderen den Schülerversuch. Nach einer grundlegenden Gegenüberstellung des Demonstrations- und des Schülerexperiments im Folgenden wird anschließend das Schülerexperiment näher betrachtet.

3.2.1 Gegenüberstellung des Schüler- und des Demonstrationsexperiments

Während beim Demonstrationsversuch der Lehrer als Vorführer und die Schüler eher als passive Beobachter fungieren, erfährt der Schüler beim Schülerexperiment eine Rolle, in der er physikalischen Phänomenen „unmittelbar“ begegnet. (Bleichroth, 1999 S. 250ff)

Muth betont jedoch, dass sich die Schülerrolle in beiden Formen des Unterrichtsexperiments verändern lässt: So können Schüler beim Lehrerversuch auch einen aktiven Part einnehmen, indem sie beispielsweise Messergebnisse ablesen oder die Schüler selbst an der Planung des Versuchs miteinbezogen werden. Bei Schülerexperimenten lässt sich die Eigenständigkeit der Schüler durch die Arbeitsaufträge seitens der Lehrkraft beeinflussen. (vgl. (Muth, 2018 S. 18), (Bleichroth, 1999 S. 253))

Ob ein Unterrichtsexperiment als Schüler- oder Lehrerversuch behandelt werden soll, hängt neben didaktischen auch von anderen Faktoren ab: So spielt es selbstverständlich eine entscheidende Rolle, ob die vorhandenen örtlichen Gegebenheiten ein Schülerexperiment überhaupt zulassen, ob also beispielsweise genügend Platz für die Versuchsaufbauten vorhanden ist oder die benötigten Materialien überhaupt in ausreichender Anzahl zur

Verfügung stehen. Zudem ist es wichtig einzuschätzen, ob der zeitliche Rahmen oder auch die Schülergruppe mit ihrem Verhalten selbst die jeweilige Experimentierform möglich machen. (vgl. (Berger, 2010 S. 154f))

Der Demonstrationsversuch eignet sich natürlich dahingehend, dass Experimente durchgeführt werden können, welche aufgrund von Gesetzesvorlagen als Schülerversuche verboten sind. Ebenfalls ist anzumerken, dass das Fehlerrisiko beim Versuchsaufbau oder der Versuchsdurchführung bei Lehrerversuchen geringer als bei Schülerexperimenten ausfällt. (vgl. (Muth, 2018 S. 19))

Mikelskis-Seifert und Rabe betonen zudem die Vorbildrolle, die der Lehrer mit dem Demonstrationsexperiment einnehmen kann. So kann den Schülern aufgezeigt werden, was es bedeutet, ein Experiment ordentlich auszuführen, sei es im Aufbau, seiner Durchführung oder der zugehörigen Auswertung der Versuchsergebnisse. (vgl. (Mikelskis-Seifert, et al., 2012 S. 102))

Für das Schülerexperiment lassen sich in der Literatur verschiedenartige Argumente finden. (vgl. (Berger, 2010 S. 155), (Girwidz, 2015 S. 241), (Hopf, et al., 2015 S. 111))

Zum einen erlernen die Schüler die richtige Nutzung von verschiedenartigen Geräten, welche sie auch in der technischen Welt später wiederfinden, zum anderen werden die motorischen Fähigkeiten beim Aufbauen von Experimenten geschult. Oftmals treten bei dem praktischen Durchführen eines Experiments auch Schwierigkeiten auf, sei es mit den Geräteeinstellungen oder es kommt vor, dass ein Versuch in seiner Funktionsweise misslingt. Der richtige Umgang mit Schwierigkeiten und die Lösung entstehender Probleme sind gerade psychologisch enorm bedeutsam. Durch Schülerexperimente in Gruppenform lassen sich zudem die sozialen Kompetenzen wie Hilfsbereitschaft oder Teamfähigkeit verbessern, welche gerade in der heutigen Berufswelt essenziell sind. Ebenfalls gefördert wird die Kommunikationskompetenz. Diese spielt gerade durch die Einführung der Bildungsstandards eine fundamentale Rolle im Physikunterricht. Auch ein wesentlicher Aspekt ist, dass bei Demonstrationsversuchen sich das unterschiedliche Vorwissen oder die verschiedenen Erwartungen der Schüler auf die Wahrnehmung oder auch auf die Interpretation des Beobachteten auswirken. Bei Experimentiergruppen lassen sich dahingegen Differenzierungsmaßnahmen für einzelne Schülergruppen vornehmen, wie beispielsweise durch das Anfertigen von unterschiedlichen Arbeitsaufträgen, das Variieren des Bearbeitungsumfangs oder dem Bereitstellen von Hilfestellungen. Ein Schülerexperiment trägt natürlich außerdem durch einen Wechsel der Methodenform zu einem abwechslungsreichen Unterricht bei. Die eigenständige Beschäftigung mit

physikalischen Gesetzmäßigkeiten und Phänomenen ermöglicht den Schülern einen aktiveren Part im Physikunterricht einzunehmen, was sich positiv auf die Motivation auswirkt. Des Weiteren werden die behandelten Inhalte aufgrund der eigenen Erfahrungen besser verinnerlicht.

Muth erwähnt außerdem noch die „Erziehung zu exaktem Arbeiten“ als ein weiteres Argument für den Einsatz des Schülerexperiments. (Muth, 2018 S. 19)
Zudem bietet der Schülerversuch eine Möglichkeit, dass Schüler lernen, ihre individuellen Vorstellungen oder Erwartungen eigenständig auf Korrektheit zu überprüfen. (vgl. (Harlen, 1999 S. 18))

Natürlich lassen sich neben den genannten auch noch weitere Punkte finden, die für die jeweilige Unterrichtsmethode sprechen, wobei oftmals die Vorteile der einen Experimentierform aus den Nachteilen der anderen resultieren.

Sowohl das Demonstrationsexperiment als auch das Schülerexperiment hat seine Vorteile gegenüber dem jeweils anderen. So ist auch immer das Ziel seiner Anwendung ausschlaggebend, für welche Experimentierform man sich entscheidet. Keine Experimentierform erweist sich als generell überlegen gegenüber der anderen. (vgl. (Muth, 2018 S. 19), (Maiseyenko, 2014 S. 15))

Dazu gilt es zu erwähnen, dass laut einer Video-Studie von Tesch und Duit zwar mit zwei Dritteln der Experimentierzeit mehr Schülerexperimente als Demonstrationsversuche im Unterricht Gegenstand sind, jedoch kommt den Schülern dabei selten die Möglichkeit zu, eigenständige Versuchsplanungen oder -auswertungen durchzuführen. (vgl. (Tesch, et al., 2004 S. 59ff))

3.2.2 Ziele, Schwierigkeiten und Hilfestellungen bei der Umsetzung des Schülerexperiments

In diesem Teilkapitel erfolgt nun eine genauere Betrachtung des Schülerexperiments. Neben den anvisierten Zielen des Schülerversuchs werden auch negative, inhaltliche Begleiterscheinungen und Schwierigkeiten sowie mögliche Gegenmaßnahmen angesprochen.

Wie bereits in Kapitel 2 geschildert, erfahren die Schülerexperimente im Physikunterricht nach dem neuen LehrplanPlus eine wesentliche Bedeutung. Aber auch schon die Meraner Beschlüsse aus dem Jahr 1905 betonten die Wichtigkeit der Einbindung von Schülerübungen in den Physikunterricht. Die mit den Schülerexperimenten verbundenen

Ziele sind natürlich eng mit den oben erwähnten Argumenten für den Schülerversuch verbunden. So erwähnt Girwidz, dass das Schülerexperiment zusätzlich neben der Erkenntnisgewinnung auch noch auf eine Verknüpfung von Theorie und Praxis im Unterricht, das Erlernen von fachtypischen Vorgehensweisen bzw. experimentellen Fertigkeiten, das Herbeiführen positiver motivationaler Effekte als auch auf ein tieferes Verständnis von Phänomenen aufgrund eigens gemachter Erfahrungen abzielt. (vgl. (Girwidz, 2015 S. 240))

Aber das Schülerexperiment birgt auch seine Schwierigkeiten. Gerade der zuletzt genannte Punkt ist keineswegs leicht zu realisieren, beinhaltet dieser doch auch das eigenständige Bilden von sinnvollen Hypothesen, wozu wiederum ein fundiertes fachliches Wissen Voraussetzung ist. Der Ansatz, den Schülern fachtypische Arbeitsweisen nahezubringen, beinhaltet auch die Gefahr, dass sich die Schüler eine falsche Vorstellung der Naturwissenschaften erschließen: Weder die induktive, bei der von einzelnen Beobachtungen auf die Allgemeinheit geschlossen wird, noch die deduktive Vorgehensweise eines Experiments, bei der ein Einzelfallergebnis eine Gesetzmäßigkeit bestätigen soll, erfüllen wissenschaftliche Ansprüche, weshalb laut Berger die erkenntnistheoretische Funktion des Schulexperiments nicht zu hoch gehängt werden soll. (vgl. (Berger, 2012 S. 30), (Engeln, 2010 S. 170 f))

Hinzu kommt, dass Schülerexperimente den in sie gesetzten Erwartungen hinsichtlich der Motivation, des Lernerfolgs als auch der Aneignung von motorischen Fähigkeiten selten gerecht werden. (vgl. (Hopf, et al., 2015 S. 112))

Doch worauf lässt sich dies zurückführen?

Hopf und Berger führen auf, dass Schüler eine Experimentieraufgabe häufig lösen können, indem sie „kochbuchartig[e]“ Arbeitsaufträge abarbeiten beziehungsweise ihren Fokus ohnehin nur auf das rasche Erfüllen des Arbeitsauftrages legen, ohne sich dabei mit den physikalischen Inhalten auseinandersetzen zu müssen. Aber auch fehlendes Vorwissen kann den Zusammenschluss von theoriebasierten Inhalten und dem dazugehörigen Versuch für die Schüler erschweren. (vgl. (Hopf, et al., 2015 S. 112))

Fehlende experimentelle Fertig- oder Fähigkeiten sowie in den einzelnen Schülergruppen auftretende Probleme im Zwischenmenschlichen oder im arbeitsteiligen Bereich stellen weitere Risikofaktoren für die Effizienz von Schülerexperimenten dar. (vgl. (Girwidz, 2015 S. 241))

Laut Engeln bzw. Harlen besteht zudem eine Diskrepanz zwischen den Interessen und

Fähigkeiten der Schüler und den Erwartungen der Lehrkräfte. Dies kann dazu führen, dass Schüler in einem Versuch keine größere Bedeutung für ihre Lebenswelt sehen und somit das Interesse und damit verbunden auch die Motivation zu verlieren drohen. Genauso wirken sich aber auch zu triviale Experimente oder solche, bei denen die Erfolgserwartung der Schüler nicht erfüllt wird, motivationshemmend aus.

(vgl. (Engeln, 2010 S. 172), (Harlen, 1999 S. 7)).

Um Schülerexperimente erfolgreich gestalten zu können, finden sich in der Literatur einige Hinweise, auf welche im Folgenden kurz eingegangen wird.

Fundamental ist es, das Experiment aktiv und wohlüberlegt in den Lernprozess der Schüler zu integrieren. Wohlüberlegt meint dabei, dass ein Experiment in seiner Funktion die Lernvoraussetzungen der Schüler und das Ziel der zugehörigen Unterrichtseinheit berücksichtigt. Die Schüler müssen zudem wissen, welche Absicht mit dem Experiment verbunden ist, also ob beispielsweise eine physikalische Gesetzmäßigkeit gefunden oder bestätigt werden soll oder ob die korrekte Nutzung von Messapparaturen im Blickpunkt steht. Dabei ist es ebenso wichtig, dass die Versuche zum einen herausfordernd und kompetenzerlebend auf die Schüler wirken, sei es in der eigenständigen Planung oder der Durchführung des Experiments, zum anderen aber auch keine Überforderung darstellen. (vgl. (Engeln, 2010 S. 167), (Hopf, et al., 2015 S. 113))

Neben der Fragestellung oder eventuellen Versuchsausgängen ist es nach dem Versuch „notwendig, den Beobachtungen Sinn zu geben“. (Leisen, et al., 2015 S. 91) So zeigten Tesch und Duit, dass zwar die „reine Experimentierzeit“ keine steigende Wirkung auf die Leistungsentwicklung der Schüler aufweist, jedoch aber die für das Experiment aufgewandte Gesamtzeit, Vor- und Nachbesprechung beinhaltend. (vgl. (Tesch, et al., 2004 S. 66))

In vielen Fällen fällt es den Schülern aus Mangel an Routine schwer, ihre erlernten Fertigkeiten zur Lösung von Problemsituationen einzusetzen. Girwidz empfiehlt, Anleitungen und Materialien bereitzustellen, die sich in ihrem Umfang am Grad der Selbstständigkeit, des Leistungsniveaus und des Alters der Schüler ausrichten. Für die Experimentieranleitungen ist es wirksam, die Mitte zwischen dem genauen Vorgeben eines Lösungsweges, ähnlich einer Kochanleitung, und fast keinen Arbeitsanweisungen zu finden. (vgl. (Winkelmann, et al., 2013 S. 2), (Girwidz, 2015 S. 241))

Damit Schülerversuche einen besseren Einblick in das naturwissenschaftliche Arbeiten geben, sollen diese für die Schüler „authentisch“ sein. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn

die Schüler sich selbst gestellte Fragen aus ihrer Lebenswelt erforschen dürfen. (Engeln, 2010 S. 174)

Problemorientierte Schülerexperimente setzen dem Abfallen von Interesse entgegen und haben dazu den Effekt, sowohl von den Schülern als auch den Lehrern als positiv angesehen zu werden. (Hopf, 2007 S. 226ff)

3.2.3 Das Schülerexperiment in Verbindung mit der Gruppenarbeit

Dass Schülerversuche nahezu immer in Gruppenarbeit stattfinden, hat zum einen pragmatische Gründe (z.B. Materialienstückzahl), zum anderen aber nimmt das Schülerexperiment in Form der Gruppenarbeit, wie bereits geschildert, eine übergeordnete Rolle im Zuge der Bildungsstandards (z.B. Kommunikationskompetenz) ein.

Schülerversuche in Gruppenarbeit lassen sich in eine arbeitsteilige und eine arbeitsgleiche Form trennen. Während bei der arbeitsgleichen Arbeitsform alle Schülergruppen den identischen Versuch samt den gleichen Gegenständen durchführen und somit ähnliche Resultate erzielen (sollten), unterscheiden sich bei der arbeitsteiligen Form zwar nicht die Versuchsanordnungen, aber die verwendeten Materialien in den einzelnen Gruppen. (vgl. (Bleichroth, 1999 S. 254))

Ein Beispiel hierfür wäre die Dichtebestimmung unterschiedlicher Materialien mittels der Überlaufmethode. Arbeitsteilige Gruppen ermitteln also die Dichte verschiedener Materialien; alle verwenden dazu jedoch die gleiche Methode.

Bleichroth empfiehlt, dass die Schüler die Gruppen selbst aufteilen, der Lehrer jedoch eingreifen soll, falls sich zu leistungshomogene Gruppen gebildet haben, denn „Schüler sollten zur Toleranz und Hilfe für die Schwächeren erzogen werden“. (Bleichroth, 1999 S. 256)

Ungleichmäßige Arbeitsbeteiligung, disziplinarische Störungen oder aber auch ungeeignete räumliche Gegebenheiten wirken sich natürlich kontraproduktiv auf den Gruppenarbeitsprozess aus. Ein Beispiel für zuletzt Genanntes stellen die klassischen Stufensäle dar: Hier sind Gruppenzusammensetzungen, bei denen sich vier oder mehr Gruppenmitglieder innerhalb einer Reihe befinden, ungeeignet, da hierbei die Kommunikation untereinander oder auch die Versuchsbeobachtung nicht gleichermaßen ermöglicht werden kann.

Um das möglichst reibungslose Arbeiten zu erzielen, ist es ratsam, Regeln aufzustellen, wie für das Verhalten beim Auf- und Abbau der Apparaturen oder generelle Verhaltensregeln

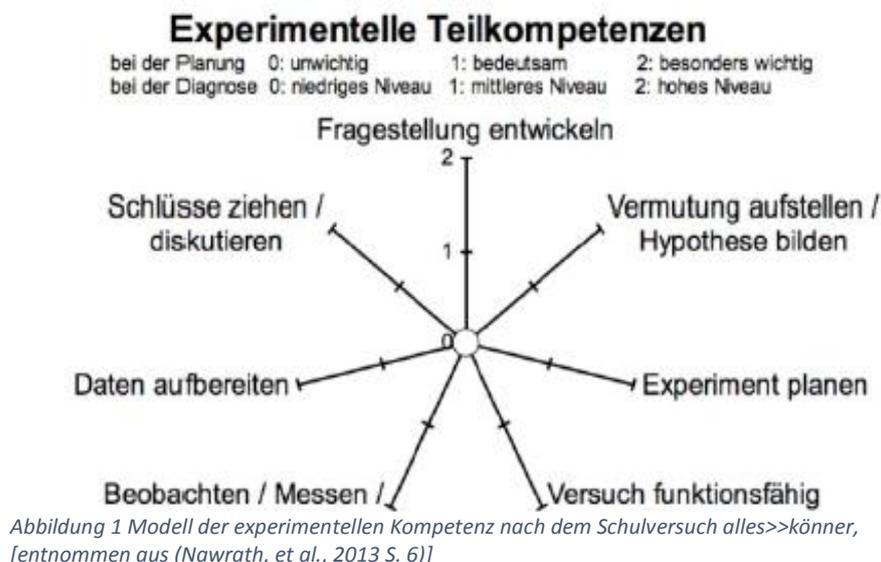
für die Kommunikation. Zudem sollten Ermahnungen, aber auch das Aussprechen von Lob nicht pauschal, sondern speziell an die jeweilige Experimentiergruppen erfolgen. (vgl. (Kircher, 2015 S. 182))

Natürlich wirkt sich die Klassenstärke unmittelbar auf die Größen der einzelnen Gruppen aus, jedoch erweisen sich Gruppenstärken von zwei Schülern laut Bleichroth „am günstigsten“ für den Arbeitsprozess, da schon ab drei Schülern Absprachen bezüglich der Arbeitsaufteilung getroffen werden müssen, sich aber diese bei der Partnerarbeit „gleichsam partnerschaftlich von selbst“ ergibt. (Bleichroth, 1999 S. 255)

3.3 Ein Modell für experimentelle Kompetenz

Im Folgenden soll nun noch ein Modell experimenteller Kompetenz vorgestellt werden, auf das in den nächsten Kapiteln dieser Arbeit Bezug genommen wird. Es entstand im Rahmen des Hamburger Schulversuchs *alles>>können*, bei dem Lehrkräfte in Zusammenarbeit u.a. mit Fachdidaktikern oder Mitgliedern der Landesschulbehörde das Ziel hatten, kompetenzorientierten Unterricht und dazugehörige Möglichkeiten der individuellen Rückmeldung weiterzuentwickeln. (vgl. (Behörde für Schule und Berufsbildung, Hamburg))

Das dort entwickelte Modell experimenteller Kompetenz umfasst sieben experimentelle Teilkompetenzen, welche jeweils in drei Niveaustufen gegliedert werden. Dabei genügt es durch die Wahl der Teilaspekte der experimentellen Kompetenz auch den formulierten Ansprüchen der deutschen Bildungsstandards. (vgl. (Maiseyenko, 2014 S. 22))



Eine ausführliche Erläuterung der sieben Teilkompetenzen mit den jeweils drei Niveaustufen findet sich im Anhang.

Selbstverständlich schließen sich die obigen Teilkompetenzen nicht aus, d.h. eine Experimentieraufgabe kann natürlich mehrere Aspekte gleichzeitig berücksichtigen.

Für den Unterricht können diesem Spinnennetzmodell zwei Einsatzmöglichkeiten zukommen, nämlich einerseits als Planungs- oder Reflexionshilfe oder andererseits als Diagnosemöglichkeit von Schülerfähigkeiten.

So lassen sich anhand dieses Modells Aufgaben oder ganze Unterrichtsstunden oder Unterrichtssequenzen einordnen: Welche Teilkompetenzen sollen in welchem Maße gefördert werden? (Man beachte hierzu die Niveaustufen „bei der Planung“ in Abbildung 1). Aber auch zur Reflexion des durchgeführten Unterrichts kann es hilfreich sein, dieses Modell heranzuziehen, um beispielsweise zu erkennen, ob Teilkompetenzen wenig oder ganz unberücksichtigt wurden.

Zum anderen bietet obiges Spinnennetzmodell der Lehrkraft die Möglichkeit, Schülerleistungen bezüglich des Experimentierens einzelnen Niveaustufen zuzuordnen (man beachte hierzu „bei der Diagnose“ in Abbildung 1). Somit können anschließend differenzierte Rückmeldungen hinsichtlich der Fähigkeiten eines Schülers und die sich daraus ergebenden Verbesserungspotenziale einsichtig erteilt werden.

4. Ausgewählte Schülerexperimente

In diesem Kapitel sollen nun drei konzipierte Schülerexperimente vorgestellt werden. Neben der fachlichen Einordnung der Thematik erfolgt dabei auch immer eine methodische bzw. didaktische Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Experiment, wie auch Vorschläge der Umsetzung im Unterricht.

4.1 Dichteabschätzung kleiner Körper

Die Thematik der Dichte ist Gegenstand des nachfolgenden Teilkapitels.

4.1.1 Sachanalyse

Eine charakteristische Eigenschaft eines jeden Stoffes ist seine mittlere Dichte. Diese wird aus dem Quotienten seiner Masse m und seines Volumens V gebildet:

$$\text{mittlere Dichte} = \frac{m}{V} \quad (\text{Formel 1.1})$$

Betrachtet man nun ein kleines Massen- und ein kleines Volumenelement dm bzw. dV , so erhält man die Dichte eines Stoffes ρ durch

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad (\text{Formel 1.2}).$$

Wichtig ist zu beachten, dass ρ vom Aggregatzustand eines Stoffes wesentlich beeinflusst wird: So bewirkt eine Temperaturveränderung eines Gases bei konstantem Druck auch eine Volumenänderung, was unmittelbar aus der idealen Gasgleichung $pV = nRT$ (Formel 1.3) einzusehen ist. Somit verringert sich also auch dessen Gasdichte (s.o.). Anders verhalten sich dagegen die meisten Feststoffe und Flüssigkeiten, bei denen nur eine geringfügige Volumenveränderung bei Erwärmen oder Abkühlen eintritt. Somit „[...] kann man die Dichte von Festkörpern und Flüssigkeiten als näherungsweise unabhängig von Temperatur und Druck ansehen“. Außerdem hat das Gasvolumen aufgrund der größeren mittleren Molekülabstände einen deutlich höheren Wert als die gleiche Masse in einer Flüssigkeit, bei der die Moleküle wesentlich näher aneinander liegen und Kräfte aufeinander ausüben. Somit lassen sich die deutlichen Dichteunterschiede zwischen Gasen und Festkörpern bzw. Flüssigkeiten (~ Faktor 1000) erklären. (vgl. (Tipler, et al., 2015 S. 372f))

Neben den Aggregatzuständen wird die Dichte eines Stoffes durch seine Materialeigenschaft, also der Mikrostruktur, beeinflusst. So weisen beispielsweise viele Metalle einen hohen Dichtewert aufgrund einer hohen Packungsdichte bzw. einer hohen Atommasse auf. Deutlich geringe Dichtewerte werden dafür in Polymeren oder in

keramischen Stoffen festgestellt. Als Grund hierfür lassen sich die leichten Wasserstoff-, Kohlenstoff- oder auch den Stickstoffatomen nennen, wie auch ihre geringere Packungsdichte. Auch die makroskopischen Eigenschaften eines Stoffes wirken sich auf die zugehörige Dichte aus, also sprich, ob der Körper in seiner Zusammensetzung homogen ist oder beispielsweise kleine Hohlräume in der Substanz auftreten, wie z.B. oftmals in Baustoffen. (vgl. (Hannoschöck, 2018 S. 85))

4.1.2 Lehrplanverortung des Themengebietes Dichte

Zum ersten Mal in Berührung mit dem Begriff der Dichte kommen die Schüler an bayerischen Gymnasien nach dem neuen LehrplanPLUS in der 5. Jahrgangsstufe im Rahmen des *Natur und Technik* - Unterrichts. Unter dem Schwerpunkt „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ lernen die Schüler die Dichte als Stoffeigenschaft kennen. (vgl. (ISB, 2019))

In der 7. Jahrgangsstufe wird dann der Dichtebegriff, ebenfalls im Rahmen des *Natur und Technik* - Unterrichts, erneut thematisch aufgegriffen, nämlich als materialspezifische Größe. Unter dem Oberpunkt „Ein erster Blick auf die physikalischen Spielregeln der Natur“, für welchen im Gesamten ca. 10 Unterrichtsstunden veranschlagt sind, wurde ein Schülerexperiment zur Dichtebestimmung verschiedener Körper festgesetzt. Dabei sollen laut den Kompetenzerwartungen das angeleitete Planen und Durchführen sowie die Internetrecherche zur Einordnung der ermittelnden Werte berücksichtigt werden. (vgl. (ISB, 2019))

4.1.3 Experiment zur Dichteabschätzung kleiner Körper

Mit dem nun vorgestellten Schülerexperiment soll ein Vorschlag unterbreitet werden, mit dem die Schüler die Dichte kleiner Gegenstandsgrößen erst experimentell abschätzen und anschließend ihre erhaltenen Resultate mittels Internetrecherchen überprüfen. Für das Experiment wird die Idee der Flüssigkeitsschichtungen aufgegriffen. (vgl. (Hilscher, 2012 S. 267f))

Materialliste:

- Karamellsirup
- Spülmittel
- Leitungswasser
- Rapsöl
- Spiritus
- Becherglas
- Löffel und Nadel (20 cm)
- Materialstückchen: Wachs, Styropor, Kork, Gummiballon, Holz, Karton, Kabelbinder, (Würfel-) Zucker, Plexiglas, Kreide

Versuchsvorbereitung:

Die oben aufgelisteten Flüssigkeiten werden in folgender Reihenfolge in das Becherglas gegeben, sodass von jeder Sorte eine ca. 1,5 dicke Schicht entsteht. Um zu vermeiden, dass sich die Flüssigkeiten beim Einfüllen vermischen, werden diese über einen gedrehten Löffel vorsichtig in das Glas gegossen.

Reihenfolge: Karamellsirup, Spülmittel, Leitungswasser, Rapsöl, Spiritus



Abbildung 2.1
Befülltes Becherglas
mit obigen
Flüssigkeiten

Versuchsdurchführung:

Nun werden nach und nach die kleinen Materialstücke vorsichtig in das Becherglas gegeben. Durch leichtes Drücken auf den Gegenstand mit der Nadel lässt sich die jeweilige Oberflächenspannung gegebenenfalls überwinden. Nach kurzem Warten steigt oder sinkt der Gegenstand nicht mehr. Anschließend wird die Schicht notiert, auf oder in der das Materialstück zum Stillstand kommt.



Abbildung 2.2
Ausschnitt des Becherglases mit
ingesunkenen Gegenständen:
Wachs (Blau), Gummiballon (rot),
Karton (schwarz) und Kreide

Versuchsauswertung:

Bei der Messdurchführung ergab sich folgendes Ergebnis:

Tabelle 1 Auflistung der eingesunkenen Materialien und die zugehörige Schicht

Material	Schicht
Gummiballon	(in) Rapsöl
Wachs	(in) Rapsöl
Karton	(auf) Wasser
Kork	(auf) Spiritus
Zucker	(in) Karamellsirup
Holz	(in) Rapsöl
Kabelbinder	(auf) Spülmittel
Styropor	(auf) Spiritus
Plexiglas	(auf) Karamellsirup
Kreide	Glasboden

Die verschiedenen Flüssigkeitsdichten lauten wie folgt:

Tabelle 2 Auflistung der Dichtewerte der verwendeten Flüssigkeiten

Flüssigkeit	Dichte
Karamellsirup	1490 kg/m ³
Spülmittel	1030 kg/m ³
Wasser	998 kg/m ³
Rapsöl	915 kg/m ³
Spiritus	830 kg/m ³

Mit den oben genannten Werten der Flüssigkeiten und dem Ort, an dem der jeweilige Gegenstand im Glas sein Gleichgewicht gefunden hat, lassen sich nun grobe Abschätzungen der Dichtewerte der verwendeten Materialien durchführen:

Tabelle 3 Vergleich der geschätzten Dichte mit der Literaturangabe

Material	Abgeschätzte Dichte in kg/m³	Literaturangabe in kg/m³
Gummiballon	~ 920	934
Wachs	~ 920	950
Karton	< 1000	700 - 1150
Kork	< 830	300
Zucker	~ 1490	1600
Holz	~ 920	500 - 1000
Kabelbinder	< 1030	1130
Styropor	< 830	200 - 300
Plexiglas	< 1490	1200
Kreide	> 1490	1800 - 2700

Die Dichtewerte wurden aus folgenden Quellen entnommen oder durch eigene Messungen ermittelt (Karamellsirup in Tabelle 2):

((Gerhart, et al., 2009 S. 107), (Ernst GmbH & Co. KG, 2016), (Hochschule Offenburg, 2007), (Mende, et al., 2013 S. 51ff), (Goodfellow GmbH, 2019), (Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, 2019), (paka-gmbh, 2019))

Betrachtet man nun obig erhaltene Resultate mit der Literaturangabe, so lässt sich sagen, dass die jeweiligen Werte miteinander vereinbar sind, das Experiment somit gelungen ist. Abweichungen gibt es nur beim Kabelbinder und Zucker.

4.1.4 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht

Grundsätzlich kann die Planung dieses Versuchs mit den Schülern gemeinsam vorgenommen werden. So lässt sich über eine problembasierte Ausgangssituation, wie z.B. der Frage nach einer Möglichkeit der Dichtebestimmung, falls die Überlaufmethode nicht anwendbar ist, durch einen Impuls wie beispielsweise „Warum schwimmt Eis auf Wasser“, eine zielführende Richtung einschlagen.

Die Materialien, die in das Schichtglas eingetaucht werden sollen, können von den Schülern selbst mitgebracht werden, wenn die Versuchsplanung schon in der Vorstunde erfolgte. Nur sollte darauf geachtet werden, dass, wenn möglich, alle Schichten in den Versuch mit einbezogen werden. Dies muss nicht unbedingt der Fall sein, wenn die Schüler die Materialstückchen eigenständig besorgen. Wenn beispielsweise alle Gegenstände zur

untersten Schicht gelangen, wird dies wohl zum Absinken der Motivation der Schüler führen. Dem lässt sich entgegenreten, wenn die Lehrkraft zusätzliche Materialien bereitstellt, welche die Anforderungen erfüllen. Die Schüler können anschließend durch eigenständige Internetrecherchen (Hausaufgabe) ihre Abschätzung der Dichtewerte auf Korrektheit überprüfen. Auch ist möglich, dass die Schüler versuchen sollen, mithilfe des ermittelten Dichtewertes auf das für sie unbekannte Material zu schließen, wiederum per eigener Recherche.

Auch als Hausaufgabe wäre dieser Versuch, unter bestimmten Voraussetzungen wie oben erwähnt, denkbar, da die verwendeten Flüssigkeiten, außer vielleicht Spiritus, in den meisten Haushalten vorhanden sein sollten.

Für den Fall, dass das Schichten bei Schülergruppen nicht funktioniert, lässt sich ein gefülltes Becherglas vom Lehrer vorbereiten, an dem dann die betroffenen Schüler die Möglichkeit haben ihre Gegenstände einzuführen und das Beobachtete zu notieren.

Wichtig bleibt noch zu erwähnen, dass die Schüler die exakten physikalischen Inhalte, die das Beobachtete erklären, an dieser Stelle nicht erlernen können, da z.B. der Auftrieb ihnen noch unbekannt ist.

4.1.5 Analyse des vorgestellten Schülerexperiments

Dieser Versuch setzt an Alltagsphänomenen an, denen viele Schüler sicherlich schon einmal in ihrem Leben begegnet sind, wie dem Wissen, dass Eis auf Wasser schwimmt oder sich im Kochtopf eine Fettschicht oberhalb des Wassers absetzen kann. Durch die relativ einfache Durchführbarkeit des Experiments soll den Schülern zum einen spielerisch Freude am Experimentieren, und somit auch an der Physik, vermittelt werden. Zum anderen soll berücksichtigt werden, dass aufgrund der noch fehlenden Erfahrung bezüglich des Experimentierens auch das nötige Geschick wohl teils noch nicht vorhanden ist (vgl. (Bleichroth, 1999 S. 254)). Die dem Versuch anschließende Internetrecherche soll dazu noch die Kommunikationskompetenz fördern.

Wird dieses Experiment im Schulunterricht neben einem Standardversuch, wie der Dichtebestimmung durch die Überlaufmethode, durchgeführt, erfahren die Schüler zwei völlig verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung der gleichen Materialeigenschaft. Jedoch ist fraglich, ob dies der zeitliche Rahmen auch zulässt.

Die benötigten Materialien gestalten den Schülerversuch als äußerst preiswert und leicht zu beschaffen. Auch Alternativen zu den oben benutzten Gegenständen gibt es zu Hauf: Rosinen, Kaffeebohnen, ...

Trotzdem gibt es auch bei diesem Experiment negative Begleiteffekte: So gestaltet sich die Entsorgung der Becherinhalte als eher aufwändig. Gerade Spiritus muss in Müllsammelstellen abgegeben werden. Somit kommt für den Lehrer ein erhöhter Aufwand hinzu. Alternativ lässt sich der Spiritus natürlich auch weglassen. Das Experimentieren mit Spiritus in Schülerexperimenten ist ab der fünften Jahrgangsstufe bereits möglich. (vgl. (ISB, 2017 S. 49))

In der siebten Jahrgangsstufe weisen die meisten Schüler vermutlich nahezu keine eigenen Experimentiererfahrungen auf. Das vorgestellte Schülerexperiment soll diesen Schülern erste, eigene Erfahrungen, in der Physik möglich machen. Der Fachwissenserwerb steht hierbei zwar nicht im Mittelpunkt, wobei aber natürlich auch (neue) Inhalte den Schülern vermittelt werden, so z.B., dass sich Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte nicht sofortig mischen.

Ordnet man das vorgestellte Experiment in das in 3.3 vorgestellte Modell („bei der Planung“) ein, so ergibt sich z.B. folgendes Bild, da hier der Fokus v.a. auf dem korrekten Versuchsaufbau, dem exakten Beobachten und Dokumentieren und der anschließenden Datenauswertung liegt, welche in Eigenständigkeit erfolgen sollen.

Dem Schlüsse ziehen oder dem (angeleiteten) Planen des Experiments werden wie auch den Schülervermutungen (wenn überhaupt zu Beginn der Stunde; siehe oben) eher eine Nebenrolle zugeschrieben.

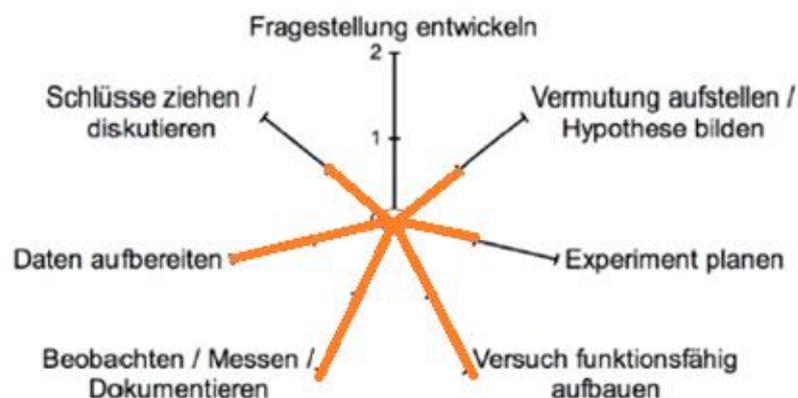


Abbildung 2.3 Einordnung des Dichtexperiments in das vorgestellte Kompetenzmodell

4.2 Einführung der spezifischen Wärmekapazität

Das folgende Teilkapitel beschäftigt sich mit einem Experiment zur Einführung der spezifischen Wärmekapazität.

4.2.1 Sachanalyse

Da sich die nachfolgenden Zeilen mit einem Teilgebiet der Wärmelehre bzw. der Thermodynamik auseinandersetzen, erfolgt zunächst eine grundlegende Erläuterung der hierzu elementaren Begrifflichkeiten.

Die Temperatur gibt ein Maß für die mittlere Bewegungsenergie der Moleküle des vorhandenen Stoffes an. Bei Wärme handelt es sich hingegen um eine Energieform, die bei thermischem Kontakt zwischen einem kälteren und einem wärmeren Gegenstand auf den anfänglich kühleren abgegeben wird, sodass dieser eine Temperaturerhöhung erfährt. Die mittlere kinetische Energie der Moleküle ist also angestiegen. Insgesamt hat sich auch die innere Energie des Gegenstands, welche sich aus allen vorhandenen Energieformen seiner Teilchen zusammensetzt, erhöht. (vgl. (Tipler, et al., 2015 S. 568))

Dazu gehören natürlich die Translationsenergie, aber auch die potenzielle- und gegebenenfalls auch Schwingungs- oder Rotationsenergien. Die innere Energie wird meist mit dem Buchstaben U angegeben, die Wärme mit Q . Eine Änderung der inneren Energie ist durch Wärmeabfuhr und -zufuhr oder auch durch mechanische Arbeit erreichbar. (vgl. (Demtröder, 2018 S. 274ff))

Der Zusammenhang zwischen der Temperaturveränderung ΔT , der zu- oder abgeführten Wärme Q und der Masse des Stoffes lautet:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (\text{Formel 2.1}),$$

wobei der materialabhängige Proportionalitätsfaktor c dabei als spezifische Wärmekapazität bezeichnet wird. Sie gibt an, wie viel Wärmeenergie aufgebracht werden muss, um die Temperatur einer Masse von 1 kg um 1 K zu erhöhen. Multipliziert man c mit dem Faktor m , so erhält man die allgemeine Wärmekapazität. Jedoch gilt es zu beachten, dass obige Formel 2.1 ihre Gültigkeit verliert, wenn durch eine Temperaturveränderung ein Wechsel in einen anderen Aggregatzustand erfolgt.

Neben der spezifischen Wärmekapazität, die sich also auf die Masse von 1 kg eines Stoffes bezieht, wurde die molare Wärmekapazität C definiert, welche nun für 1 Mol einer Substanz charakteristisch ist:

$$C = m \cdot \frac{c}{n} = m_{Mol} \cdot c \quad (\text{Formel 2.2})$$

Hierbei gibt n die Anzahl der Mole und der Quotient $\frac{m}{n}$ die Molare Masse eines Stoffes an. (vgl. (Tipler, et al., 2015 S. 568))

Bei Gasen gilt es bei der spezifischen Wärmekapazität zu unterscheiden, ob der Druck oder das Volumen konstant gehalten werden.

Für Festkörpern hingegen lässt sich folgende Abschätzung betrachten:

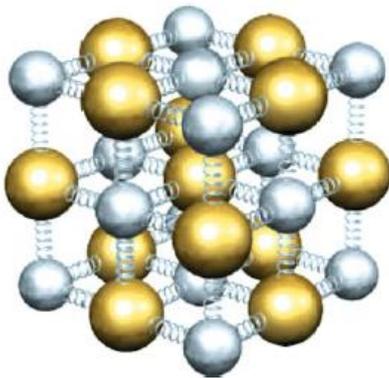


Abbildung 3.1 Festkörpermodell mit Federverbindungen zwischen den Atomen [entnommen (Tipler, et al., 2015 S. 583)]

Vereinfacht lässt sich im Modell für einen Festkörper annehmen, dass in diesem die Atome gleichmäßig angeordnet und mittels Federn miteinander verbunden sind. Die Atome befinden sich dabei in Gleichgewichtslagen, aus denen heraus sie zwar Schwingungen in alle drei Raumrichtungen durchführen können, jedoch keine Rotationen oder Translationen wie in Flüssigkeiten oder Gasen. Somit setzt sich die Schwingungsenergie eines Atoms aus der Summe seiner kinetischen und seiner potenziellen Energien zusammen. Die Kraftkonstante der angesprochenen, gedachten Federn zwischen den Atomen wird hierbei mit k_{eff} bezeichnet.

Addiert man für alle drei Raumkomponenten die einzelnen potenziellen Energien,

$$E_{pot,i} = \frac{1}{2} \cdot k_{eff} \cdot i^2 \quad (\text{Formel 2.3})$$

und die einzelnen kinetischen Energien

$$E_{kin,i} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_i^2 \quad (\text{Formel 2.4}),$$

wobei jeweils $i \in \{x, y, z\}$ gilt, erhält man also für jedes Atom insgesamt sechs mögliche Freiheitsgrade. Der Gleichgewichtssatz besagt dazu, dass sich bei Atomen die mittlere Energie eines Mols aus dem Produkt $\frac{1}{2} \cdot R \cdot T$ (Formel 2.5) für jeden vorkommenden Freiheitsgrad ergibt. So gilt mit der Gaskonstante, für die innere Energie eines Mols des Festkörpers

$$U_{mol} = 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot R \cdot T = 3RT \quad (\text{Formel 2.6})$$

Aus diesem Zusammenhang folgt nun, dass für die molare Wärmekapazität C ,

$C = 3R \approx 25 \frac{J}{mol \cdot K}$ (Formel 2.7) gilt (Dulong-Petit'sche Regel). (vgl. (Tipler, et al., 2015 S. 582f))

Mittels dieser Regel und obiger Formel 2.2 lassen sich nun die spezifischen Wärmekapazitäten eines Festkörpers bestimmen.

4.2.2 Lehrplanverortung des Themengebietes spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität ist Themeninhalt der Rubrik „Thermischer Energietransport und Einflüsse auf unser Klima“ im zugehörigen Lernbereich „Wärmelehre“ in der 9. Jahrgangsstufe des bayerischen Gymnasiums zu finden. Für diesen werden ca. 22 Unterrichtsstunden veranschlagt. In einem Schülerexperiment soll die Abhängigkeit der Temperaturerhöhungen eines festen Körpers oder einer Flüssigkeit von verschiedenen Größen untersucht werden, woraus schließlich auf den Begriff der spezifischen Wärmekapazität geschlossen wird. (vgl. (ISB, 2019))

4.2.3 Experiment zur Einführung der spezifischen Wärmekapazität

Das folgende Schülerexperiment soll eine mögliche Alternative zur Einführung der spezifischen Wärmekapazität aufzeigen, bei der die Schüler durch angeleitetes Experimentieren und anschließender graphischer Auswertung auf den Begriff der spezifischen Wärmekapazität stoßen sollen.

Zunächst erfolgt eine Beschreibung des Experiments, wie es im Labor durchgeführt wurde. Die möglichen Unterrichtsformen werden im anschließendem Unterkapitel besprochen.

Materialliste:

- Thermobecher (Fassungsvermögen ca. 260 ml)
- Knete
- Digitales Multimeter mit Temperaturmessung (eine Dezimalstelle!)
- Digitalthermometer (eine Dezimalstelle!)
- Styropor
- Alufolie
- Elektronische Waage
- Stoppuhr
- Warmes Wasser

Versuchsvorbereitung:

Zunächst werden jeweils 5-6 Knetkugeln mit einer festen Masse geformt. Im Folgenden wurden 15 g, 20 g, 25 g und 30 g schwere Kugeln vorbereitet. Um möglichst genau zu messen, empfiehlt es sich eine elektronische Waage zu benutzen, welche mindestens eine Dezimalstelle anzeigt. Aus dem Styropor ist ein Stück herauszubrechen, welche die Becheröffnung komplett abdeckt, denn dieses Stück fungiert später als Deckel für den Becher. Anschließend wird dieser mit



Abbildung 3.2
Knetkugeln mit Massen von 15g,
20g, 25g, 30g vor dem befüllten
Thermobecher

Alufolie zumindest einseitig umwickelt und mit einem Stift o.ä. ein kleines Loch durchstoßen. Nun lässt sich der Temperaturfühler des digitalen Multimeters durch das Loch im Deckel in die erste Knetkugel einführen. Dabei muss die umwickelte Seite des Styroporstücks zur Kugel zeigen. Um die Messungenauigkeiten möglichst gering zu halten ist darauf zu achten, dass sich der Fühler möglichst mittig in der Knetkugel befindet, sowie der Rand der Einstichstelle so verstrichen wird, dass kein Wasser durch die Öffnung zum Temperaturfühler eindringen kann.

Anschließend wird der Thermobecher mit 260 ml warmem Wasser befüllt. Geeignet ist eine Temperatur zwischen ca. 35 °C und 44 °C, welche normalerweise problemlos aus dem Wasserhahn erreicht werden sollte. Um auch hier die Volumenangabe möglichst exakt einzuhalten, wird der Becherinhalt erneut mit der Waage gewogen, da diese Methode wesentlich genauer ist, als das Volumen mit einem Messzylinder abzulesen. Befindet sich die passende



Abbildung 3.3
Versuchsaufbau vor der
Durchführung

Wassermenge im Becher, ist sofort der Styropordeckel (mit der in Alufolie umwickelten Seite nach innen) auf den Becher zu legen. Dabei wird die Knetkugel aber neben den Becher gelegt. Um auch am Becherboden die Wärmeverluste zu verringern, wird der Becher auf ein weiteres Styroporstück gestellt, welches die Bodenfläche des Bechers komplett abdecken muss.

Versuchsdurchführung:

Der Styropordeckel wird vom Thermobecher entfernt und die Wassertemperatur mit dem Digitalthermometer gemessen und notiert, nachdem das Wasser (mit dem Stift) kurz umgerührt wurde. Dieser Wert wird im Folgenden als $T_{W,vor}$ bezeichnet. Am Digitalmultimeter wird die Knettemperatur $T_{K,vor}$ ebenfalls abgelesen und notiert.



Abbildung 3.4 Versuchsaufbau während der Durchführung

Nun erfolgt die Platzierung der Knetkugel im

Wasserbad so, dass sich die Kugel möglichst mittig im Wasser befindet und die Seitenwände bzw. den Becherboden nicht berührt. Der Styropordeckel wird anschließend wieder aufgelegt und die Stoppuhr gestartet. Mit kleinen Styroporstücken lässt sich das Einstichloch im Deckel noch abdichten, um auch hier den Wärmeverlust zu minimieren. Nun erfolgt alle 30 Sekunden das Ablesen der Knettemperatur. Dies geschieht so lange, bis sich die Knettemperatur beim dreimaligen Ablesen, also sprich 1,5 Minuten, als konstant erweist, also eine Sättigung in Kraft getreten ist. Nachdem diese Knettemperatur $T_{K,nach}$ notiert wurde, wird die Knetkugel aus dem Wasser entfernt und die Wassertemperatur mit dem Digitalthermometer (nach kurzem Rühren) abgelesen und ebenfalls festgehalten.

Diese Prozedur wird nun mit den anderen Kugeln derselben Masse wiederholt. Wichtig ist darauf zu achten, dass sich keine Knete mehr an dem Temperaturfühler des Multimeters befindet, bevor die Einführung des Fühlers in die nächste Knetkugel erfolgt. Der gesamte Messdurchlauf wird mit den vorbereiteten Kugeln mehrmals durchgeführt, wobei hierbei die Wassertemperatur zu Beginn eines vollständigen Messdurchlaufs (5 - 6 Kugeln) variiert.

Die komplette Versuchsdurchführung erfolgt anschließend mit allen vorbereiteten Knetmassen.

Versuchsauswertung:

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden lediglich die aufgenommenen Messwerte der 15 g Kugel aufgelistet. Die anderen Tabellen finden sich im Anhang. Mit Formel 2.1 aus der Sachanalyse (4.2.1) lässt sich zugehörige Wärmeenergie $Q_{w,ab}$ ermitteln, die das Wasser aufgrund seiner Temperaturveränderung an die Knetkugel abgibt. ($c_{Wasser} = 4,182 \frac{kJ}{kgK}$. (Gerhart, et al., 2009 S. 110)).

Tabelle 4 Auflistung der Messwerte der 15 g Kugel

$T_{W,vor}$ /°C	$T_{W,nach}$ /°C	$T_{K,vor}$ /°C	$T_{K,nach}$ /°C	ΔT_W /K	ΔT_K /K	$Q_{w,ab}$ /kJ
40,4	38,7	25,5	38,5	1,7	13,0	1,8
35,6	34,6	24,7	34,7	1,0	10,0	1,1
33,5	32,7	24,3	32,9	0,8	8,6	0,9
32,6	31,9	24,4	32,2	0,7	7,8	0,8
31,7	31,0	24,4	31,3	0,7	6,9	0,8
30,9	30,4	24,2	30,8	0,5	6,6	0,5
30,0	29,4	24,6	29,8	0,6	5,2	0,7
40,8	39,2	27,0	39,1	1,6	12,1	1,7
39,0	37,7	26,6	37,7	1,3	11,1	1,4
37,5	36,4	26,0	36,2	1,1	10,2	1,2
36,1	35,2	26,1	34,9	0,9	8,8	1,0
34,9	34,1	26,3	33,9	0,8	7,6	0,9
33,9	33,2	26,0	33,0	0,7	7,0	0,8
32,7	32,1	25,7	31,9	0,6	6,2	0,7
43,9	42,0	25,5	41,1	1,9	15,6	2,1
41,7	40,1	25,1	39,2	1,6	14,1	1,7
43,8	42,1	27,4	41,5	1,7	14,1	1,8
41,9	40,4	27,7	40,0	1,5	12,3	1,6
40,2	38,8	27,4	38,6	1,4	11,2	1,5
34,1	33,1	25,4	34,7	1,0	9,3	1,1
35,4	34,5	26,4	33,5	0,9	7,1	1,0
33,9	33,3	27,2	33,3	0,6	6,1	0,7
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Der verwendete Thermobecher wird als ideal isolierendes Gefäß angesehen. Dazu kann die Wärmeabgabe des Wassers an die Luft im Becher vernachlässigt werden, da der Luftinhalt aufgrund der Wassermenge von sich aus gering und zusätzlich bei allen Messungen gleich ist. Somit wird hier der idealisierte Fall betrachtet, dass die vom Wasser abgegebene Wärmeenergie vollständig durch Wärmeleitung an die Knetkugel übergeht, woraufhin diese sich aufgrund der Wärmeübertragung schließlich erwärmt.

Diese aufgenommene Wärmeenergie der Knetkugel, im Folgenden als $Q_{K,auf}$ bezeichnet,

wird nun in Abhängigkeit seiner Temperaturänderung, mit Hilfe des Programms Excel graphisch aufgetragen:

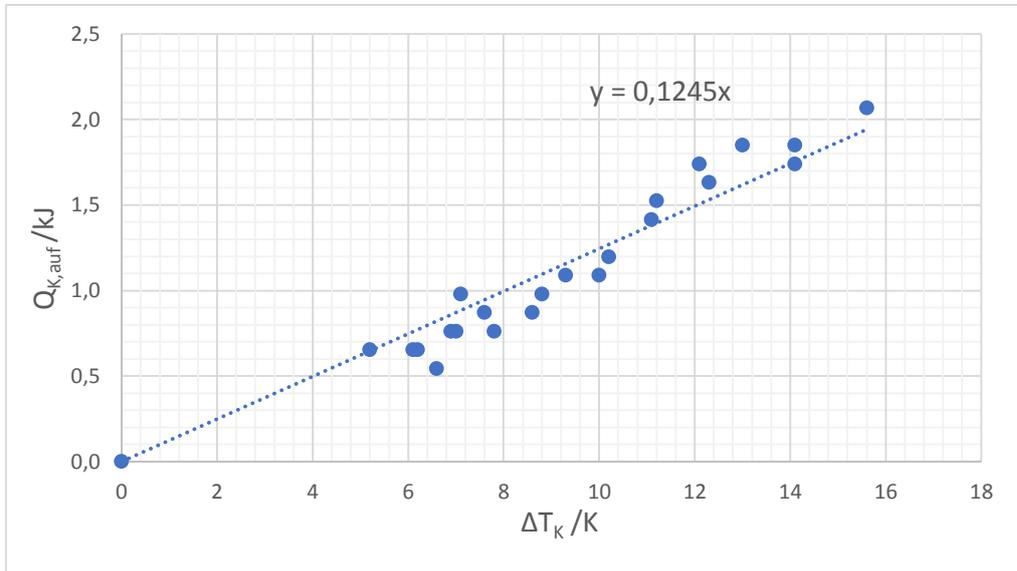


Abbildung 3.5
Graph der aufgenommenen Wärmeenergie der Knete (15 g) in Abhängigkeit ihrer Temperaturerhöhung

Analog werden nun auch für die anderen Massen die aufgenommene Wärmeenergie in Abhängigkeit der Temperaturerhöhung (siehe Tabellen 5 -7) der jeweiligen Knetkugel aufgetragen.

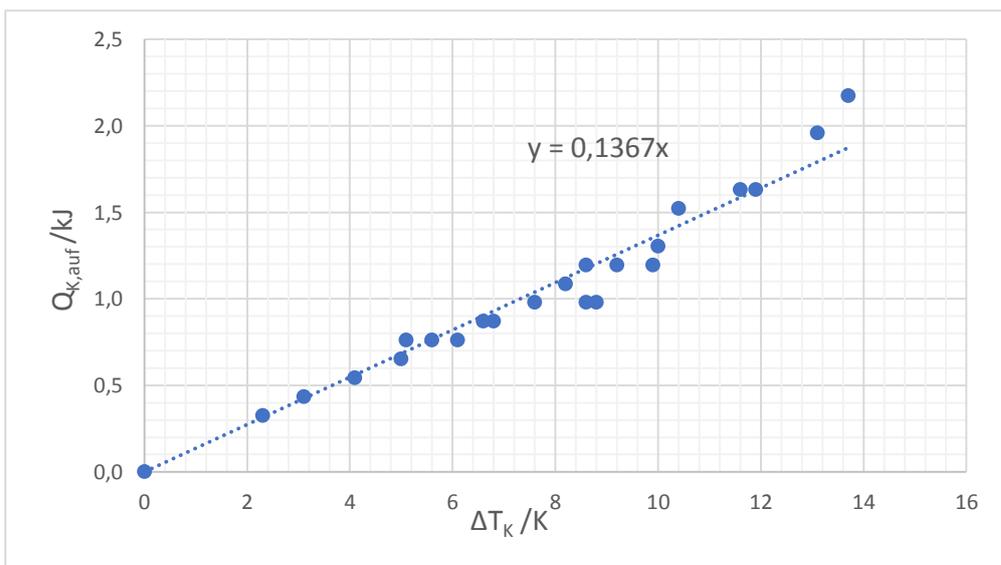


Abbildung 3.6
Graph der aufgenommenen Wärmeenergie der Knete (20 g) in Abhängigkeit ihrer Temperaturerhöhung

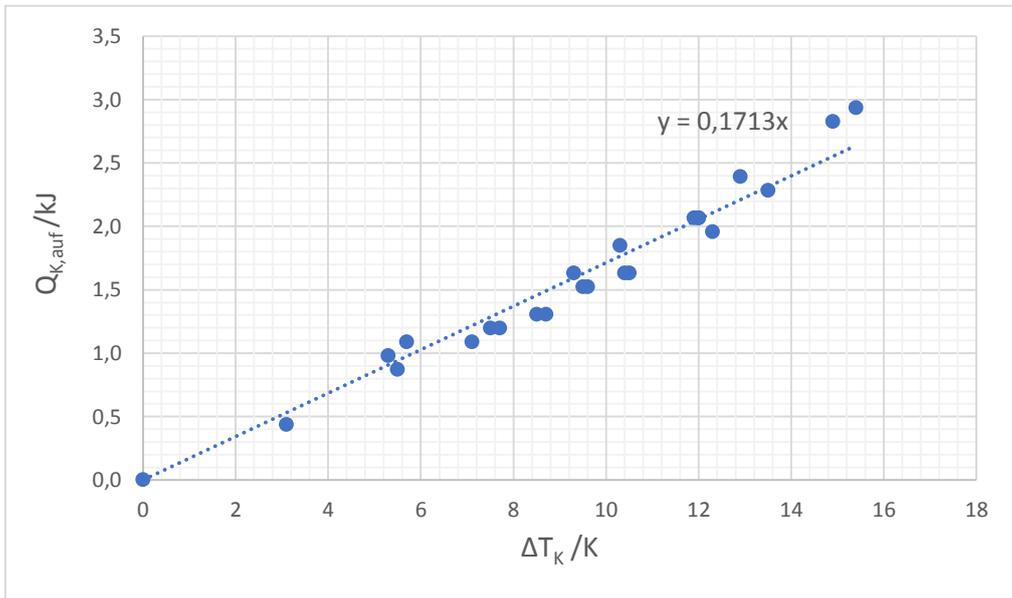


Abbildung 3.7
Graph der aufgenommenen Wärmeenergie der Knete (25 g) in Abhängigkeit ihrer Temperaturerhöhung

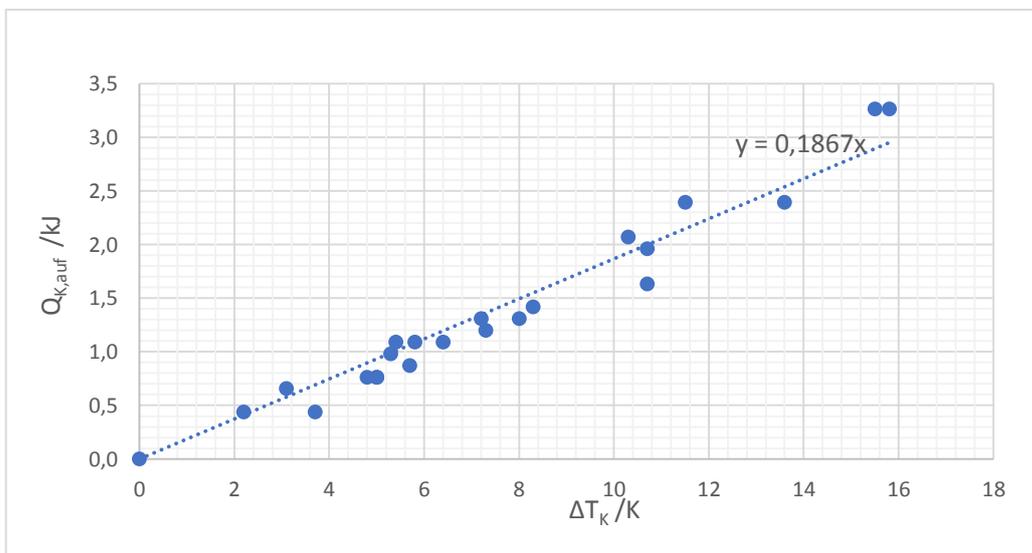


Abbildung 3.8
Graph der aufgenommenen Wärmeenergie der Knete (30 g) in Abhängigkeit ihrer Temperaturerhöhung

Im Rahmen der Messgenauigkeit handelt es sich bei allen vier Graphen um eine Ursprungsgerade. Somit gilt also für konstante Massen folgender Zusammenhang:

$$\frac{Q_{K,auf}}{\Delta T_K} = \textit{konstant} \quad (\text{Formel 2.8})$$

Durch die angezeigte Geradenfunktion wird ersichtlich, dass der Quotient $\frac{Q_{K,auf}}{\Delta T_K}$, welcher der Geradensteigung entspricht, mit zunehmender Massengröße ebenfalls ansteigt. Im nächsten Schritt werden die graphisch zu ermittelnden Quotienten in Abhängigkeit der zugehörigen Masse aufgetragen (wiederrum mit Excel):

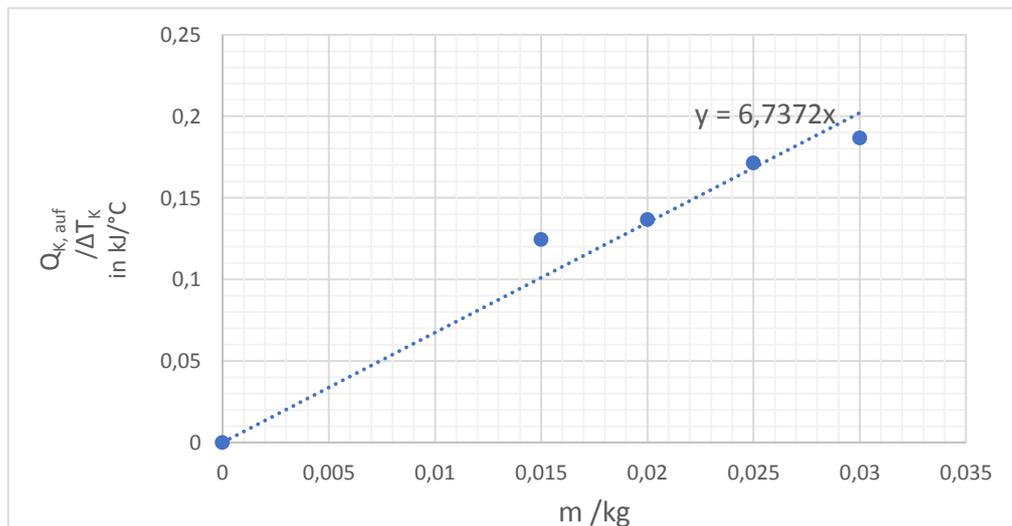


Abbildung 3.9
Auftragung der Quotienten in Abhängigkeit ihrer Masse

Im Rahmen der Messgenauigkeit ergibt sich auch hierbei eine Ursprungsgerade. Wobei zu erwähnen ist, dass der graphisch ermittelte Quotient $\frac{Q_{K,auf}}{\Delta T_K}$ bei der 15 g Kugel von den anderen abweicht. Durch den linearen Zusammenhang der aufgetragenen Werte ergibt sich also der Zusammenhang

$$\frac{\frac{Q_{K,auf}}{\Delta T_K}}{m} = c \quad (\text{Formel 2.9}),$$

wobei $c = \textit{konstant}$ gilt.

4.2.4 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht

Dem sachkundigen Leser wird es sofort aufgefallen sein: Obwohl der Name des vorgestellten Schülerexperiments die Einführung der spezifischen Wärmekapazität angibt, wurde diese bereits für die Berechnung des Übertrags der Wärmeenergie vom Wasser an die Knete benutzt. Und dies war genau so gewollt.

Denn dieser Versuch eignet sich für zweierlei Funktionen, verbunden mit einem Trick: Wenn das Schülerexperiment induktiv als Einführung der spezifischen Wärmekapazität fungieren soll, gestaltet sich die Durchführung zum Aufnehmen der Messwerte, wie in der vorherigen Anleitung erläutert. Nach den Messungen lässt sich im Plenum gemeinsam erarbeiten, dass die Temperaturerhöhung der Knete durch die abgegebene Wärmeenergie des Wassers verursacht worden ist. Nun zum angekündigten Trick:

Der Lehrer händigt den Schülern einen Graphenausschnitt aus, auf dem die abgegebene Wärmeenergie von Wasser (mit für den Versuch entsprechenden Volumen) in Abhängigkeit ihrer Temperaturverringerung aufgetragen ist. Mithilfe diesem können die Schüler nun für jede Messung den Energiewert ablesen, den die Knetkugel auf- bzw. das Wasser abgegeben hat (siehe Anhang). So tritt das Benutzen der Wärmekapazität des Wassers für die Schüler nicht in Erscheinung, sondern wird später durch die Auswertung der Graphen (siehe oben) selbst „entdeckt“.

Ist der Begriff der Wärmekapazität den Schülern bereits bekannt, lässt sich der Versuch zwar ebenfalls durchführen, wobei aber dann die Ermittlung der Materialkonstanten (hier ca. $6,7 \frac{kJ}{kgK}$) oder das Aufzeigen der Gültigkeit des Erwärmungsgesetz (deduktive Vorgehensweise) im Fokus steht. Dabei erfolgt die Berechnung der aufgenommenen Energie der Knetkugeln durch die Schüler selbst.

In beiden Fällen sollte schülerübergreifend Knete verwendet werden, die vom selben Hersteller stammt, da es sich nicht ausschließen lässt, dass sich die Knetmassen unterschiedlicher Herkunft bezüglich ihrer Inhaltsstoffe unterscheiden. Konkrete Nachfragen blieben seitens eines Herstellers leider unbeantwortet.

Je nach Schülerzahl lässt sich das Experiment verschieden umsetzen. Utopisch ist jedoch, in einer oder zwei Schulstunden annähernd so viele Messdaten zu ermitteln, wie in obiger, mehrmals durchgeführten, Versuchsdurchführung. Da die Messdauer pro Kugel zwischen sechs und zehn Minuten beträgt (je nach Kugelgröße bzw. Wassertemperatur), ist es wohl ungeeignet, dass pro Schülergruppe mehr als zwei Messungen durchgeführt werden, da sonst die Motivation und Bereitschaft vermutlich stark nachlassen würde. Dies gilt es bei

der Unterrichtsplanung zu beachten, und so obliegt dem zuständigen Lehrer die Entscheidung, ob besser nur zwei oder drei verschiedene Massen untersucht werden sollen, wodurch die zugehörigen Graphen mehr Messwerte aufweisen oder noch weitere Massen. Eine weitere Option wäre, dass die komplette Klasse nur eine Masse untersucht, somit also erstmal der Begriff der Wärmekapazität kennengelernt wird. Anschließend könnten die Werte der anderen Massen den Schülern übermittelt werden, um den Begriff zur spezifischen Wärmekapazität zu erweitern. Hierzu könnten z.B. die Messwerte dieser Arbeit verwendet werden, weshalb die benutzte Knetsorte im Anhang vermerkt wurde. Um den Messbereich zu vergrößern, bietet sich an, dass der Lehrer Wasser mit zwei verschiedenen Anfangstemperaturen bereitstellt. Des Weiteren ergäbe sich dadurch eine Zeitersparnis, da die Schülergruppen womöglich längere Zeit beim Abfüllen am Wasserhahn benötigen, bis sie den gewünschten Temperaturbereich erreichen.

Was es noch zu beachten gilt ist die Tatsache, dass sich Massen über 30 g nicht zur Nutzung eignen, da hier Messzeiten über 10 Minuten einkalkuliert werden müssen. Massen unterhalb von 15 g sind ebenfalls zu vermeiden (siehe Abb. 3.9). Die eigenen Messungen ergaben weiterhin, dass die Startwassertemperatur für die 15 g Messreihe nicht über 40°C betragen sollte, da sonst größere Abweichungen vom Rest der Messreihe auftreten können. Vergleicht man die Abbildungen 3.6 -3.8, so wird aufgrund der Abweichungen der jeweils letzten beiden Messpunkte von der Ursprungsgerade ersichtlich, dass keine höheren Anfangswassertemperaturen gewählt werden sollten. Aber selbstverständlich beeinflusst die angedachte Vorgehensweise im Unterricht auch die Wahl der Startwerte der Wassertemperatur: Sollen beispielsweise für eine feste Masse viele Messungen pro Schülergruppe durchgeführt werden, so ist aufgrund des größeren Messbereichs die obere Grenze der in der Anleitung angegebenen Temperaturempfehlung zu wählen.

Für das gesamte Experiment, inklusive Auswertung, müssen wohl mindestens zwei Schulstunden einkalkuliert werden. Dass die Schüler einen direktproportionalen Zusammenhang zweier Größen aus einer Graphik ermitteln können oder den Wärmeübergang zwischen zwei unterschiedlich warmen Körpern erläutern können, sind für das Gelingen dieses Schülerexperiments essenzielle Lernvoraussetzungen.

4.2.5 Analyse des Schülerexperiments

Das häufig gezeigte Experiment zur Einführung der Wärmekapazität handelt von der Erwärmung einer Flüssigkeit mittels Tauchsieder, über deren Leistung sich die zugefügte elektrische Energie bestimmen lässt (siehe diverse Schulbücher). Die hier gewählte

Herangehensweise wurde bewusst ausgesucht, damit die Schüler im Kontext der Wärmelehre bleiben. Beim korrekten Argumentieren, woher die Knetkugel die Energiezufuhr erhalten habe, müssen die Schüler zwangsläufig die Begriffe Wärme und Temperatur strikt unterscheiden und in den korrekten Bezug zueinander setzen. Dies fällt den Schülern häufig schwer. (Fischler, 2018 S. 150f)

Dazu werden die Begriffe der möglichen Arten der Wärmeübertragungen wiederholt.

Potenzielle Gefahren zum Misslingen dieses Versuchs sind, dass die Schüler den linearen Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Energie und der Temperaturerhöhung nicht erkennen, sei es, da die aufgetragenen Messwerte sicherlich keine exakte Gerade bilden werden, bzw. dass Messungenauigkeiten die Resultate verfälschen und eine Erkenntnisgewinnung somit erschweren. Um diesen Ungenauigkeiten entgegen zu treten, ist es bedeutsam, dass die Schüler möglichst exakt und überlegt arbeiten bzw. sie den Arbeitsablauf vor dem Durchführen der Messung verinnerlichen, um so Messverfälschungen wie dem Wärmeverlust durch einen nicht richtig aufgelegten Styropordeckel oder das Ablesen einer falschen Wassertemperatur aufgrund des nicht berücksichtigten Mischens zu vermeiden.

Betrachtet man die für obiges Experiment benutzten Materialien, so lässt sich einerseits sagen, dass mit der Knete, dem Digitalthermometer, einer Stoppuhr und dem Leitungswasser die meisten der benötigten Gegenstände sehr wahrscheinlich in jeder Physiksammlung auffindbar sind. Die Benutzung eines Thermobechers, welcher sich im Klassensatz für 10 € pro Stück erwerben lässt, hat den Vorzug, dass keine Kalorimetergefäße, welche meist wesentlich teurer sind, angeschafft werden müssen. Jedoch ist als negative Begleiterscheinung definitiv zu nennen, dass elektrische Messinstrumente, welche einen Temperaturfühler UND eine Temperaturanzeige im Dezimalstellenbereich aufweisen, in den meisten Schulen nicht vorhanden sind und dementsprechend angeschafft werden müssen.

Diese beiden Eigenschaften sind jedoch dringend erforderlich: Da die Knettemperatur möglichst mittig gemessen werden soll, eignen sich die meisten digitalen Thermometer, bei denen sich der Messfühler meist über Zentimeter hinwegstreckt, hierfür nicht. Dafür zeigen sich gerade diese für das Ablesen der Wassertemperatur als sehr geeignet, da aufgrund des größeren Messfühlers kleine, temperaturabweichende Strömungen o.ä. nicht erfasst werden. Die geforderte Dezimalstelle ist aufgrund der feinen Messergebnisse essenziell. Werden computergestützte Messprogramme verwendet (z.B. CASSY von Leybold), so

erfüllen diese zwar meist den beiden Ansprüchen, jedoch ist damit durch das Wasser immer ein entsprechendes Risiko verbunden.

Die Verwendung von Knete zeichnet sich dahingehend aus, dass eine direkte, kontinuierliche Messung der Knettemperatur möglich ist, wodurch sich auch der Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Zeit graphisch wiedergeben lässt. Die Auftragung lässt sich während der Messung selbst anfertigen, was den positiven Begleiteffekt nach sich zieht, dass die Schüler auch zwischen dem Notieren der Werte aktiviert sind und sich somit entstehende Unruhe teilweise vorbeugen lässt. Ein exemplarischer Verlauf der Knettemperatur $T_K(t)$ wurde im Anhang 8.3.1 beigefügt. Nach den Messungen kann dazu der Verlauf des Sättigungsgraphen diskutiert werden. Die Kugelform soll eine sich gleichmäßig ausbreitende Temperaturerhöhung bewirken.

Die gewählten Wassertemperaturen bis 44°C stellen zudem keine Gefahr der Verletzung für die Schüler dar. (vgl. (ISB, 2017 S. 28))

Allgemein lässt sich sagen, dass es sich trotz der empfindlichen Messungen und der vorgenommenen Idealisierungen um ein reliables und zielführendes Experiment handelt.

Die Einführung der spezifischen Wärmekapazität auf dem vorgestellten Weg soll neben der Erkenntnisgewinnung auch den Kompetenzbereich der Kommunikation ansprechen, da die Wärmeenergie aus einem Graphen abgelesen werden muss, bzw. die Schüler diese Herangehensweise auch argumentativ begründen bzw. verstehen sollen.

Nun soll auch hier eine Einordnung in das vorgestellte Kompetenzmodell vorgenommen werden.

Das angeleitete Experiment zur Einführung der Wärmekapazität zielt auf das eigenständige Aufbauen des Versuchs, das korrekte Messen und Dokumentieren, der sachgerechten Verwertung der aufgenommenen Daten und v.a. das begründete Interpretieren der Ergebnisse ab.

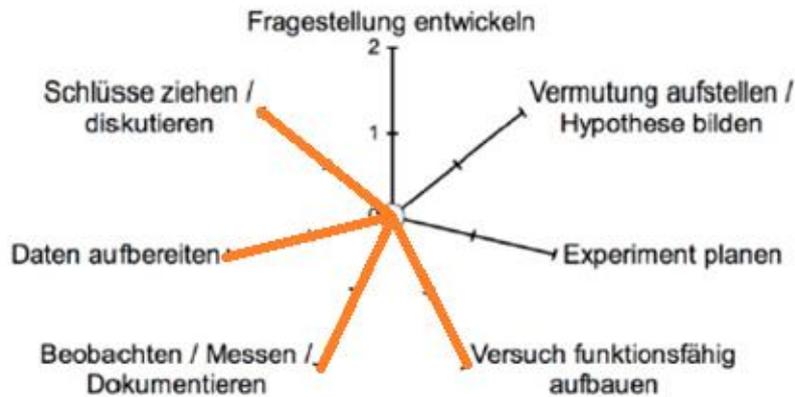


Abbildung 3.10 Einordnung des Experiments zur Einführung der Wärmekapazität in das vorgestellte Kompetenzmodell

4.3 Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs

Der Themeninhalt des waagrechten Wurfs ist Gegenstand im folgenden Abschnitt.

4.3.1 Sachanalyse

Unter dem waagrechten Wurf versteht man eine waagrecht startende Bewegung eines Gegenstandes, die nicht auf einer festen Oberfläche stattfindet. Um dessen räumliche Bahnkurve zu beschreiben, wird im Folgenden zunächst das Flugverhalten eines Massepunktes bei einem Wurf im Allgemeinen, dem sog. „schiefen Wurf“ (hier im zweidimensionalen), betrachtet.

Durch die Betrachtung eines Massepunktes werden Rotations- und Schwingungseffekte nicht berücksichtigt, „da ja die Ausdehnung des Körpers und damit auch die Bewegung einzelner Teile des Körpers gegeneinander in diesem Modell vernachlässigt werden“. (vgl. (Demtröder, 2018 S. 38))

Jeder Punkt der Bahnkurve lässt sich mittels eines Ortsvektors $\vec{r}(t)$ beschreiben, welcher die beiden zeitabhängigen x - und y -Komponenten beinhaltet:

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} \quad (\text{Formel 3.1})$$

Die zeitabhängige Durchlaufgeschwindigkeit der Kurve wird durch Differentiation des Ortsvektors nach der Zeit t ermittelt:

$$\vec{v}(t) = \dot{\vec{r}}(t) = \begin{pmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} \quad (\text{Formel 3.2 a)})$$

Der Betrag der Geschwindigkeit $v(t)$ lässt sich schließlich durch $|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ (Formel 3.2 b)) ermitteln. (vgl. (Demtröder, 2018 S. 38ff))

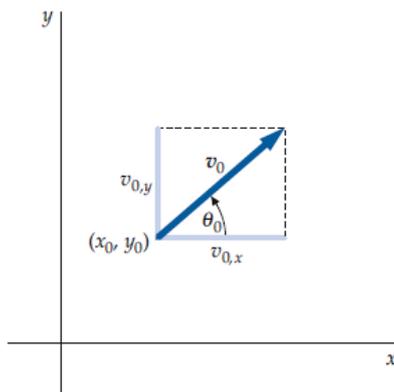


Abbildung 4.1 Geschwindigkeitskomponenten eines Teilchens [entnommen von (Tipler, et al., 2015 S. 55)]

Die nebenstehende Abbildung zeigt den (schiefen) Wurf eines Gegenstandes in einem Abwurfwinkel θ_0 gegenüber der horizontalen Achse. Der Startpunkt wird mit x_0 bzw. y_0 , und die Komponenten der Anfangsgeschwindigkeit v_0 des Gegenstandes mit v_x bzw. v_y bezeichnet.

Vernachlässigt man die Luftreibung, erfährt der Körper also nur eine negative Beschleunigung der y -Komponente, nämlich die Gravitation. So lässt sich also der Beschleunigungsvektor eines jeden Bahnpunktes ausdrücken durch

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} = \ddot{\vec{r}}(t) \quad (\text{Formel 3.3})$$

Somit ist die x -Komponente über die komplette Flugzeit unverändert, also gilt

$$v_x(t) = v_{0,x}. \quad (\text{Formel 3.4 a)),}$$

$$\text{bzw. } x(t) = v_{0,x} \cdot t + x_0 \quad (\text{Formel 3.5 a))}$$

Dagegen erfährt die y -Komponente eine konstante Beschleunigung, womit also

$$v_y(t) = -g \cdot t + v_{0,y} \quad (\text{Formel 3.4 b)),}$$

$$\text{bzw. } y(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_{0,y} \cdot t + y_0 \quad (\text{Formel 3.5 b))}$$

folgt. Dabei ergeben sich die Formeln 3.5 a) und 3.5 b) aus der Integration der Geschwindigkeitskomponenten nach der Zeit t . Dieser Sachverhalt verdeutlicht, dass die

beiden Komponenten der Geschwindigkeit beim Wurf also unabhängig voneinander verlaufen. (vgl. (Tipler, et al., 2015 S. 54f))

Für den Ortsvektor eines jeden Punktes auf der Bahnkurve gilt dann

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} v_{0,x} \cdot t + x_0 \\ -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_{0,y} \cdot t + y_0 \end{pmatrix} \quad (\text{Formel 3.6})$$

Die Höhe $y(t)$ lässt sich auch als Funktion in Abhängigkeit der Weite x beschreiben. Zur Vereinfachung wird dabei der Startort (x_0, y_0) in den Nullpunkt gesetzt. Löst man Formel 3.5 a) nach der Zeit t auf und setzt diese in Formel 3.5 b) ein, erhält man schließlich die Abhängigkeit

$$y(x) = -\frac{1}{2}g \cdot \left(\frac{x}{v_{0,x}}\right)^2 + v_{0,y} \cdot \frac{x}{v_{0,x}} \quad (\text{Formel 3.7})$$

Nun lassen sich außerdem die beiden Geschwindigkeitskomponenten in Abhängigkeit des Abwurfwinkels θ_0 ausdrücken, da die Betrachtung des rechtwinkligen Dreiecks in Abbildung 3.1 die folgenden Zusammenhänge deutlich macht. Es gilt:

$$\cos \theta_0 = \frac{v_{0,x}}{v_0} \quad (\text{Formel 3.8 a)), sowie}$$

$$\tan \theta_0 = \frac{v_{0,y}}{v_{0,x}} \quad (\text{Formel 3.8 b))}$$

Löst man nun die beiden obigen Gleichungen nach $v_{0,x}$ bzw. $v_{0,y}$ auf und setzt diese in Formel 3.7 ein, so erhält man schließlich eine Funktion der Höhe in Abhängigkeit der Weite x :

$$y(x) = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{(\cos \theta_0)^2 v_0^2} + \tan(\theta_0)x \quad (\text{Formel 3.9})$$

Beim waagrechten Wurf betrachtet man nun also eine Wurfbewegung mit dem Abwurfwinkel von 0° gegenüber der horizontalen Achse. Somit resultiert aus Formel 3.9 die Bahngleichung des waagrechten Wurfs:

$$y(x) = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_0^2} \quad (\text{Formel 3.10})$$

Wiederrum ergibt sich eine quadratische Abhängigkeit der Höhe y von der Weite x , welche die parabolische Flugbahn erklärt. Durch einfache algebraische Umformungen, die hier nicht explizit genannt werden, lassen sich hieraus auch die Flugweite bzw. die entsprechende Flugdauer ermitteln.

Durch Miteinbeziehen des Luftwiderstandes verändern sich obige Formeln sowie das Flugverhalten selbstverständlich. So erfährt der Wurfgegenstand eine negative vertikale und horizontale Beschleunigung gegenüber seiner Bewegungsrichtung aufgrund der Luftwiderstandskraft. Für geringe Geschwindigkeiten gilt für diese „oft in guter Näherung“ eine Zusammensetzung aus einem linearen- und einer quadratischen Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit.

Bei der Mehrheit an Gegenständen findet nur der quadratische Term Berücksichtigung, der lineare lässt sich dagegen vernachlässigen. (vgl. (Taylor S. 70ff))

Nach Newton beträgt die Widerstandskraft eines bewegten Körpers in einem Fluid mit der Dichte ρ

$$F_W = \frac{1}{2} c A \rho v^2 \quad (\text{Formel 3.11}),$$

mit der quer zur Bewegungsrichtung stehenden Querschnittsfläche A des Körpers und einer Konstanten c , welche vom Körper abhängig ist, dem sog. Widerstandsbeiwert. Bei einer Kugel beträgt dieser 0,4. (vgl. (Tipler, et al., 2015 S. 398))

Aufgrund der oben beschriebenen voneinander unabhängigen Geschwindigkeitskomponenten v_x und v_y wirkt also auch auf die horizontale bzw. vertikale Bewegung eine unterschiedliche Luftreibungskraft.

Eine weitere entscheidende Größe, die sich auf das Flugverhalten eines Körpers auswirkt, ist die sog. Magnus-Kraft: Sie ist dafür verantwortlich, dass sich der Flug eines Balles nicht geradlinig verhält, sondern dass (unterschiedlich starke) Querbewegungen auftreten. Diese Querkraften lassen sich auf die Rotation des Gegenstandes zurückführen, welche eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit an einer Seite des Körpers bewirkt. Aufgrund der unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten bildet sich hier nun ein geringerer statischer Druck aus (Bernoulli), was schließlich in einer resultierenden Querkraft mündet. (vgl. (Meschede, et al., 2015 S. 123), (Hering, et al., 2009 S. 212))

4.3.2 Lehrplanverortung des Themengebietes waagrechter Wurf

Die Thematik des waagrechten Wurfs ist im neuen LehrplanPlus in der 10. Jahrgangsstufe festgesetzt. Unter der Themenüberschrift „Bewegungen und ihre Modellierung in der Physik“ (Lernbereich 3), für welche ca. 16 Unterrichtsstunden im Schuljahr eingeplant sind, werden die Bewegungsdarstellungen in Form von Zeit- Geschwindigkeit- bzw. Zeit-Ort- Diagrammen thematisiert. Hierfür ist die Benutzung digitaler Techniken ausdrücklich vorgesehen. Dazu beinhaltet die Kinematik bei eindimensionalen Bewegungen die

Bewegungsfunktionen bei konstanter Beschleunigung bzw. konstanter Geschwindigkeit, wie auch die Thematik des freien Falls. Mit den o.g. Inhalten und einem eingebettetem Schülerexperiment wird schließlich der waagrechte Wurf komponentenweise beleuchtet und in der Koordinatenschreibweise beschrieben.

Für das Schülerexperiment mit der obigen Bezeichnung stehen das Bilden von Hypothesen über die Abhängigkeiten von zugehörigen Größen des waagrechten Wurfs, das Planen von dazu sinnvollen Experimenten und das Schließen auf die komponentenweise Beschreibung im Fokus der Kompetenzerwartungen. (vgl. (ISB, 2019))

4.3.3 Experiment zur Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs

Das nun vorgestellte Schülerexperiment zielt zum einen auf die Erkenntnisgewinnung ab, dass es sich beim waagrechten Wurf um eine Bewegung handelt, die sich in zwei unterschiedlichen Komponenten beschreiben lässt. Zum anderen soll graphisch „entdeckt“ werden, dass die vertikale Bewegung mit der des freien Falls übereinstimmt, während es sich bei der horizontalen um eine konstante Translation handelt. Hierfür wird mit der kostenfreien Videoanalysesoftware Tracker sowie einem diagrammfähigen Tabellenkalkulationsprogramm (hier Excel) gearbeitet.

Im Anhang findet sich eine kurze Anleitung für die Bedienung von Tracker, in der die wichtigsten Funktionen erläutert werden. (vgl. (Weigel, 2019))

Anschließend erfolgt noch eine Auflistung an nützlichen Hilfestellungen zur Messwerterfassung der Videos. Ebenfalls im Anhang wird das Erstellen von Diagrammen aus Wertetabellen im Tabellenkalkulationsprogramm Excel erläutert. In den meisten anderen Programmen verläuft die Vorgehensweise analog.

Materialien:

- Handy mit Fähigkeit der Zeitlupenvideoaufnahme
- Laptop/ Computer/ Tablet mit dem Videoanalyseprogramm Tracker sowie einem Tabellenkalkulationsprogramm
- Holzkugel (Masse: 22 g; Durchmesser: 4 cm)
- Fahrbahnschienen (3x)
- Stativ mit Klemme
- Klebeband

Versuchsvorbereitung:

Um eine Rollbahn für die Holzkugel zu erstellen, werden zwei Plastikschienen einer Autorennbahn mit einem Verbindungsstück fixiert und das eine Ende an der Tischkante mittels Klebebandes befestigt. Das andere Ende wird in einer Schraubklemme an einem Stativ ebenfalls mit Klebeband fixiert. Die Höhenposition der Klemme ist dabei so zu wählen,

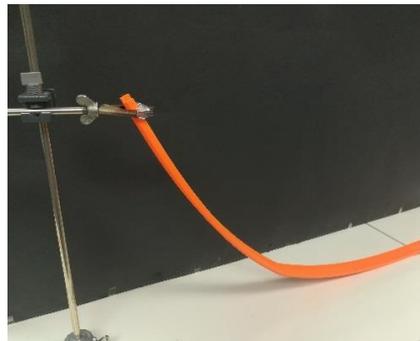


Abbildung 4.2 Versuchsaufbau

dass zum einen möglichst die komplette Länge der zusammengesetzten Schiene ausgenutzt wird, zum anderen aber eine knickfreie (also möglichst abgerundete) Fahrbahn entsteht. Die eingestellte Höhe wird nun nichtmehr verändert.

Auf einem anderen Tisch wird eine weitere Fahrbahnschiene waagrecht an der Tischkante angelegt und wiederum mit Klebeband fixiert. Dabei ist darauf zu achten, dass sich durch das Klebeband keine Steigung ergeben hat. Die Tische sind nun so zu platzieren, dass die beiden Schienenöffnungen aneinander liegen und die Kugel den Übergang ohne Störungen passieren kann. Optional können beide Fahrbahnstücke auch mit einem Verbindungsstück zusammengesteckt werden. Nun erfolgt die Positionierung des Handys: Das Handy ist so zu platzieren, dass die waagrechtverlaufende Schiene vollständig im Handybildschirm zu erkennen ist, sodass also die Kugelbewegung vollständig erfasst wird. Dagegen ist das Aufnehmen der Kugel auf der gekrümmten Fahrbahn für diesen Versuch nicht erforderlich. Die Kamera des Handys ist dabei auf die Höhe der Tischkante auszurichten.

Wurde die Zeitlupenfunktion im Video-Aufnahmemodus des Handys aktiviert, ist gegebenenfalls eine Nachjustierung des Handys erforderlich, da ein Zoom-Modus beim Aufnehmen von Zeitlupenvideos nicht zwingend bei jedem Handy zur Verfügung steht.

Versuchsdurchführung:

Nach dem Starten der Videoaufnahme wird die Holzkugel auf die gekrümmte Fahrbahn gelegt, sodass sie die Unterseite der Klemme berührt (hier in 40 cm Höhe) und wird anschließend losgelassen. In separaten Aufnahmen wird dieser Vorgang anschließend noch zwei- bis dreimal wiederholt. Wichtig ist hierbei, dass die Starthöhe der Kugel möglichst identisch bleibt, damit die Messungen später besser miteinander verglichen werden können.

Nun wird der Tisch mit der waagrechten Schiene entfernt. Erneut wird die Holzkugel an o.g. Stelle positioniert und losgelassen, während der Flug der Kugel mit dem Handy aufgenommen wird. Auch dieser Vorgang wird noch zwei- bis dreimal wiederholt.

Abschließend erfolgt noch die Aufnahme des Kugelfluges beim senkrechten Flug nach unten (Freier Fall). Hierzu ist die Kugel an der Tischkante aus gleicher Höhe wie die der Schienenöffnung loszulassen. Dabei ist zu beachten, dass ausreichend Abstand zum Tisch herrscht, damit die Kugel während des Falls nicht mit diesem in Berührung kommt. Auch hier wird eine zwei- bis dreimalige Wiederholung der Aufnahme durchgeführt.

Um die Videoanalyse im Anschluss durchführen zu können, müssen die Maße von Vergleichsgrößen, welche im Video sichtbar sind, gemessen und notiert werden.

Versuchsauswertung:

Nun werden die aufgenommenen Bewegungen der Kugel mit dem Videoanalyseprogramm Tracker untersucht, die ausgewerteten Daten in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel exportiert und in diesem die zugehörigen Bewegungsdiagramme erstellt. Die drei Bewegungskategorien werden mit den Bzeichnungen „waagrechte Translation“, „Fall“ und „Flug“ versehen.

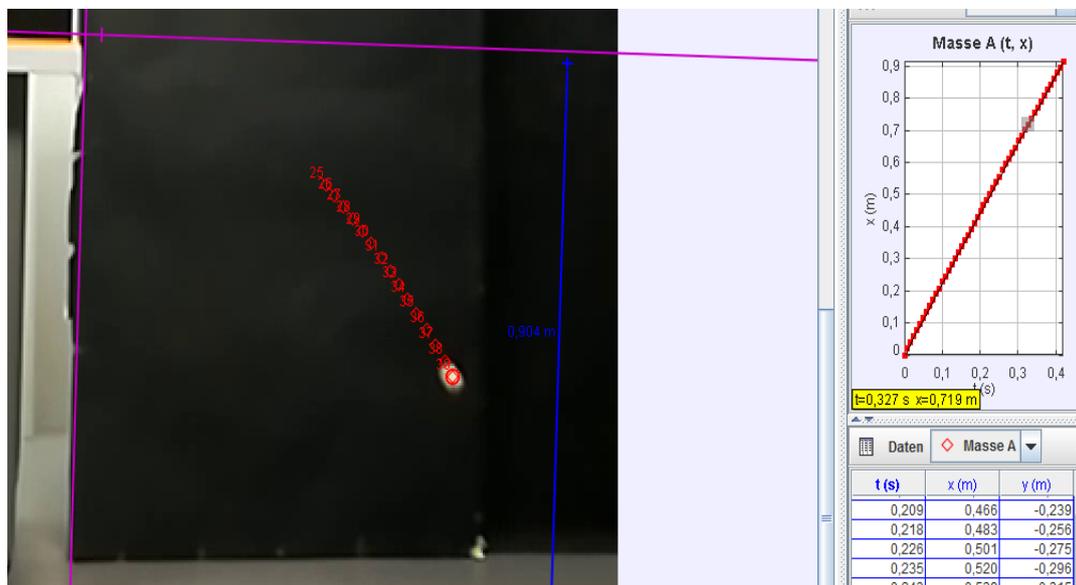


Abbildung 4.3 Bildausschnitt der Videoanalyse zum Flug

Die Daten der folgenden Messreihen, finden sich auf der beiliegenden CD.

Zunächst werden die (relevanten) Bewegungsdiagramme in der jeweiligen Kategorie miteinander verglichen, um die Messgenauigkeit abzuschätzen:

i) waagrechte Translation

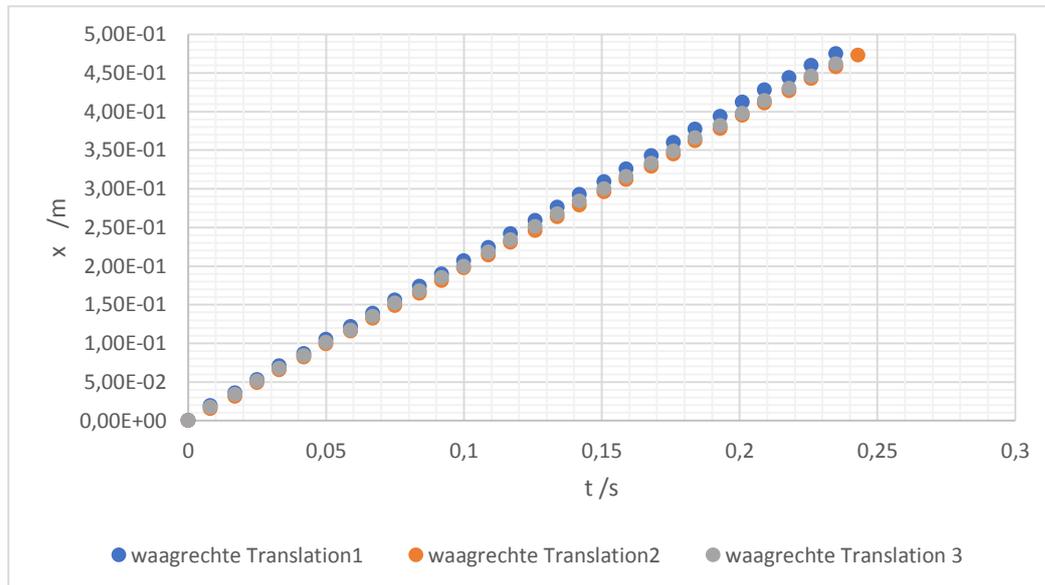


Abbildung 4.4 überlagerte Bewegungsdiagramme der waagrecht Translation

ii) Fall

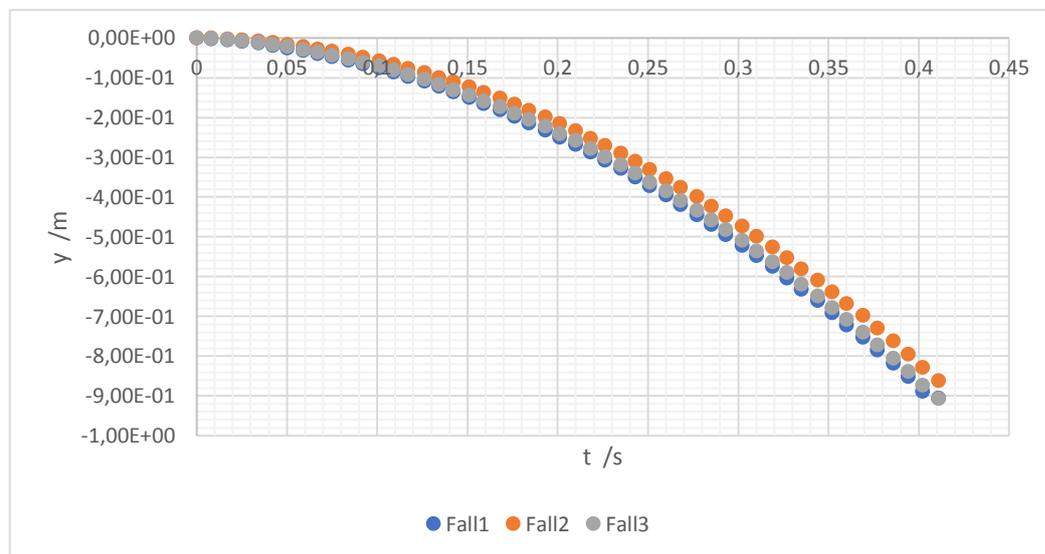


Abbildung 4.5 überlagerte Bewegungsdiagramme des Falls

iii) Flug

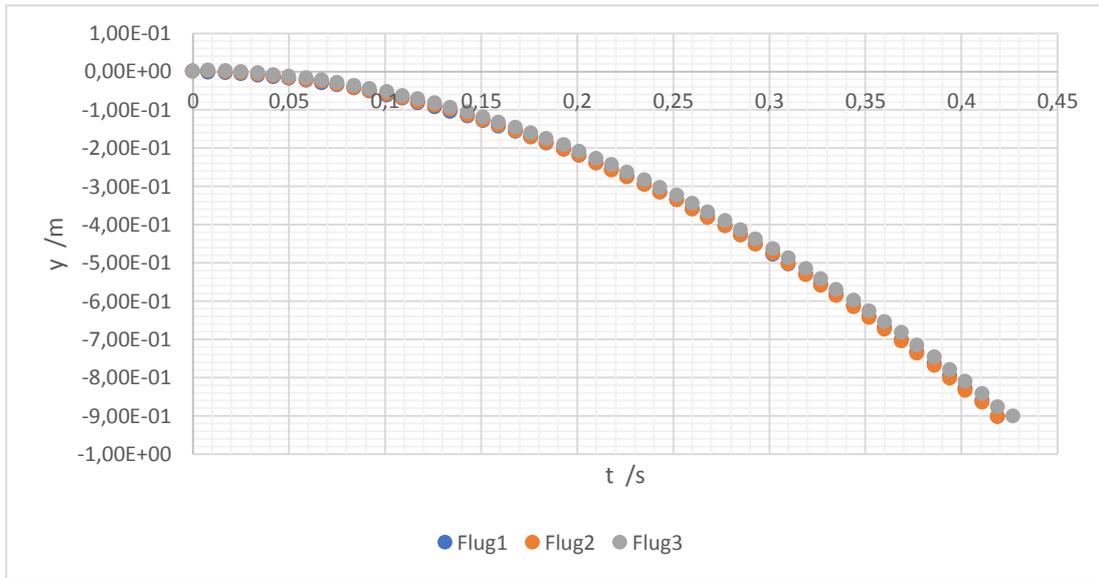


Abbildung 4.6 a) überlagerte $y(t)$ - Bewegungsdiagramme des Flugs

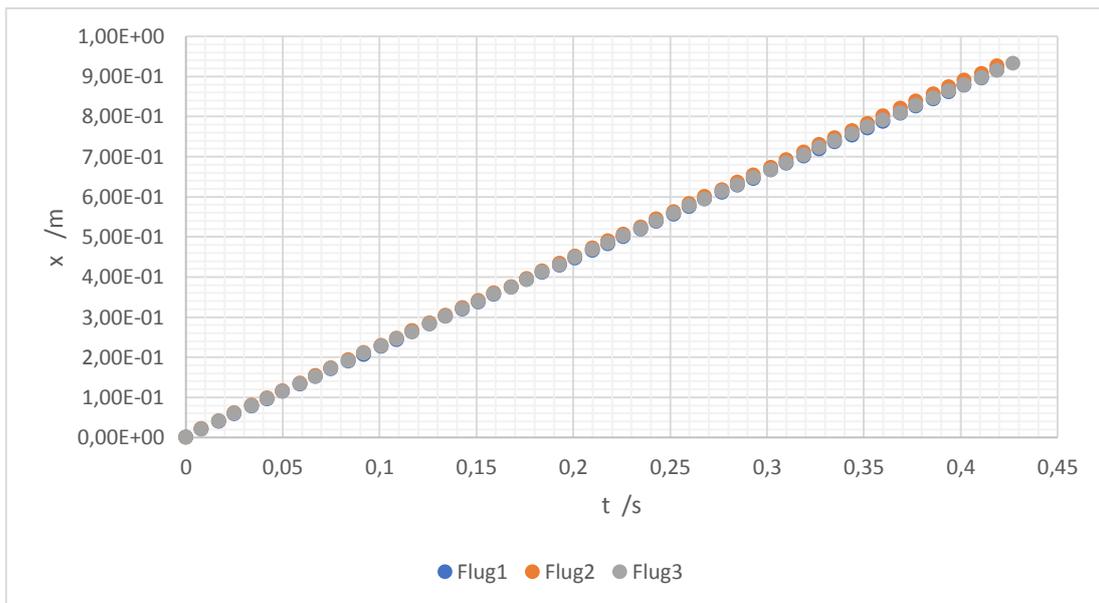


Abbildung 4.6 b) überlagerte $x(t)$ - Bewegungsdiagramme des Flugs

Im Rahmen der Messgenauigkeit stimmen die $x(t)$ - Diagramme in i), die $y(t)$ - Diagramme in ii) sowie sowohl $x(t)$ - als auch die $y(t)$ - Diagramme in iii) überein. Die Abweichungen, welche sich im Zentimeterbereich wiederfinden, lassen sich auf Ungenauigkeiten beim Durchführen der Videoanalyse zurückführen, bzw. natürlich auf den Fakt, dass trotz der Markierung die Kugel nie exakt von der gleichen Stelle startet, bzw. sie die Rollbahn nie exakt gleich passiert (z.B. aufgrund von Stößen an den Wänden).

Betrachtet man Abbildung 4.6 b), so wird sofort der lineare Zusammenhang zwischen dem zurückgelegten Weg in horizontaler Richtung der Kugel beim Flug und der zugehörigen Zeit ersichtlich. Somit gilt für die Kugelbewegung in dieser Raumrichtung:

$$\frac{s}{t} = v_x = \textit{konstant} \quad (\text{Formel 3.12})$$

Nun werden die beiden Bewegungsdiagramme in horizontaler Richtung auf der Schiene mit der an Luft graphisch verglichen: Dafür werden jeweils exemplarisch eine Messreihe ausgewählt.

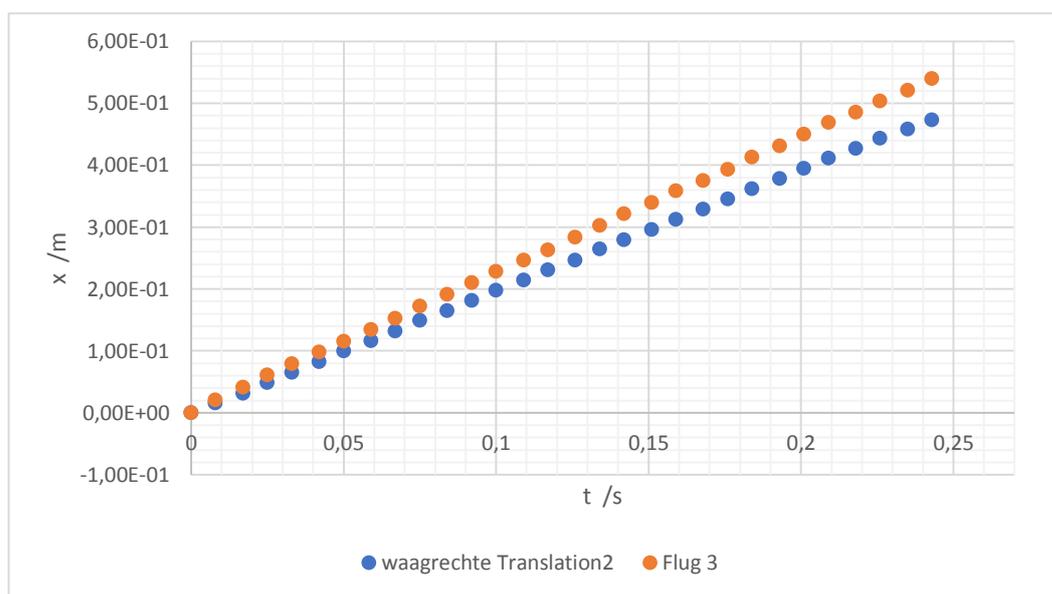


Abbildung 4.7 Vergleich der beiden horizontalen Bewegungen auf der Schiene und an Luft

Mit fortlaufender Zeit verlaufen die beiden anfangs übereinstimmenden Geraden auseinander, auch wenn die Messungenauigkeiten berücksichtigt werden. Dieser Effekt lässt sich auf die unterschiedlichen Reibungseinflüsse der Umgebung auf die Kugel zurückführen: Die Luftreibung wirkt sich weniger stark bremsend als die Gleitreibung der Kugel auf der Schiene aus.

Nun werden die $y(t)$ - Diagramme des Freien Falls mit dem des Fluges verglichen: Da die Abweichungen der Kurve in Abbildung 4.5 deutlich sind, wird eine Messreihe der Kategorie „Flug“ mit zwei aus der Kategorie „Fall“ verglichen:

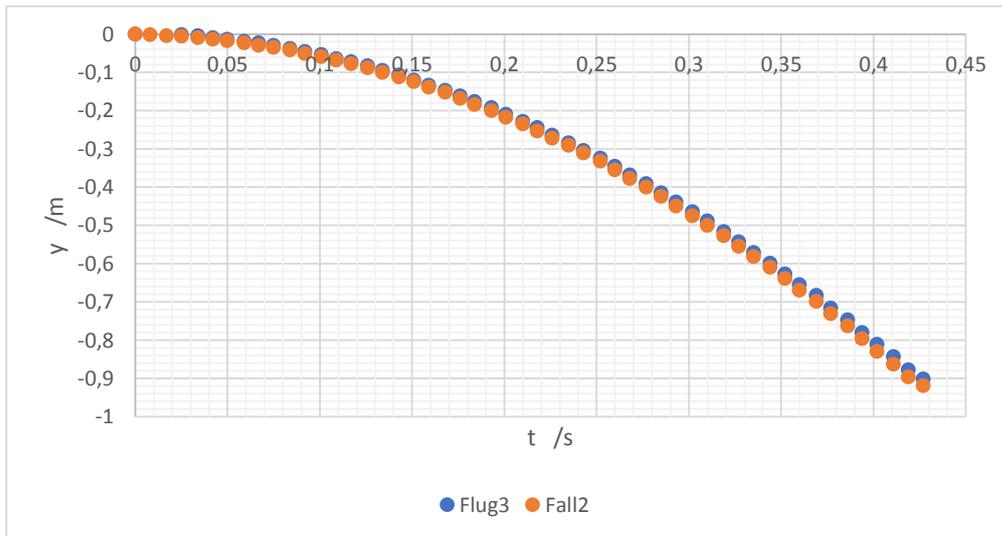


Abbildung 4.8 a) Vergleich 1 der vertikalen Bewegung von Fall und Flug

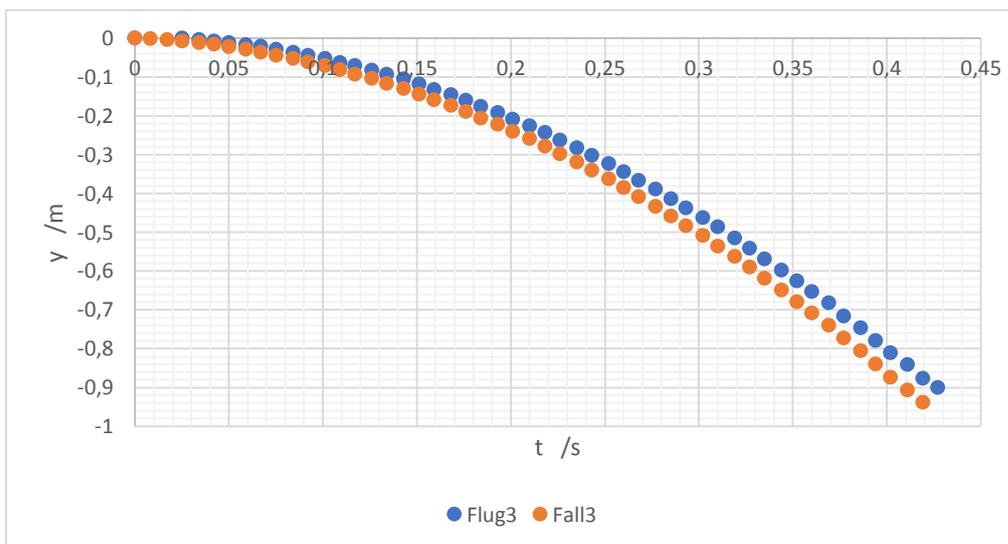


Abbildung 4.8 b) Vergleich 2 der vertikalen Bewegung von Fall und Flug

Es ergeben sich in Abbildung 4.8 a) und b) eine, zwar unterschiedlich starke, jedoch im Rahmen der Messgenauigkeit liegende Übereinstimmung der Bahnkurven des Flugs und des Falls. Somit gilt für die y -Komponente beim Flug die gleiche zeitliche Abhängigkeit wie beim freien Fall, also

$$y(t) = \frac{1}{2}gt^2 \quad (\text{Formel 3.13})$$

Also handelt es sich um eine beschleunigte Bewegung in die (hier negativ angetragene) vertikale Raumkomponente.

Zusammenfassend wurde also ersichtlich, dass sich die Bewegung beim waagrechten Wurf („Flug“) aus zwei unterschiedlichen Bewegungen zusammensetzt, nämlich einer konstanten- in horizontaler und einer beschleunigten Bewegung in vertikaler Richtungskomponente. Diese stimmt mit der beschleunigten Bewegung des freien Falls überein.

4.3.4 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht

Für die Unterrichtsdurchführung bietet sich aufgrund der geforderten Kompetenzerwartungen an, mit einem kleinen Freihandexperiment zu starten: Werden zwei Kugeln (hier weiß und schwarz) wie auf nebenstehendem Bild platziert und das Lineal

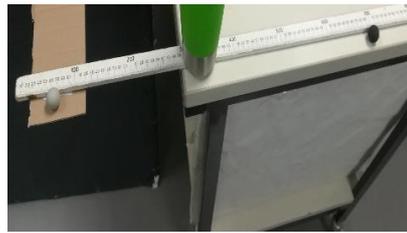


Abbildung 4.9
Versuchsaufbau Freihandexperiment

ruckartig im Uhrzeigersinn gedreht, so fallen beide Kugeln zu Boden und schlagen hörbar gleichzeitig auf. Mithilfe dieses Experiments bietet sich den Schülern die Möglichkeit erste Hypothesen bzgl. des Flugverhaltens beim waagrechten Wurf zu äußern („fällt genauso schnell wie beim freien Fall“). Im Klassengespräch lassen sich dann Ideen sammeln, wie sich die genannten Hypothesen möglicherweise experimentell überprüfen lassen und sich so ein möglicher Übergang zum Schülerexperiment ergibt.

Jede Schülergruppe sollte dabei im Schülerexperiment alle drei beschriebenen Bewegungen durchführen und analysieren, damit alle Schüler gleichermaßen möglichst die gleichen Erkenntnisse gewinnen und diese dann, selbst entdeckt, besser im Gedächtnis verankert bleiben. (vgl. (Kircher, 2015 S. 165))

Die Interpretation der Messergebnisse lässt sich natürlich auch gemeinsam im Plenum erarbeiten, was wohl auch immer von der Leistungsfähigkeit der Klasse abhängig ist, genauso aber auch von den entwickelten Fragestellungen.

Je nach örtlichen Gegebenheiten ist es eine Option, dieses Experiment im Klassenzimmer durchzuführen, da dort für die Videoaufnahme ausreichend Platz ist oder auch für das An- und Ablegen der waagrecht verlaufenden Schiene Tische verschoben werden können. Die Auswertung der aufgenommenen Videos lässt sich anschließend z.B. im Computerraum der Schule oder mithilfe mobiler Laptops oder Tablets durchführen, natürlich nur, wenn die benötigten Programme hierbei vorhanden sind.

Der zeitliche Aufwand für das komplette Experiment, also inklusiver Vorbesprechung und der Interpretation der Ergebnisse, wird mindestens eine Doppelstunde in Anspruch nehmen. So bietet sich an, dass die Schüler die Daten zu Hause verarbeiten und die erstellten Zeit-Ort-Diagramme an die Schul-Mailadresse des Lehrers senden, sodass dieser die entstandenen Messresultate vorab einsehen und zur nächsten Stunde aufbereiten kann, in welcher diese dann besprochen werden können.

Die für den Erfolg dieses Schülerexperiments benötigte Lernvoraussetzungen sind auf alle Fälle das Beherrschen der Formeln und der physikalischen Gegebenheiten des freien Falls sowie der konstanten Translation. Erforderlich sind dazu die Fähigkeiten mathematische Zusammenhänge aus einem Graphen abzuleiten.

4.3.5 Analyse des Schülerexperiments

Dass die grundsätzliche Güte dieses Experiments gegeben ist, wird über die (im Rahmen der Messgenauigkeit) gute Übereinstimmung der jeweiligen Bahnkurven einer Kategorie ersichtlich, der Versuch sich also damit als reliabel erweist.

Die Abweichungen der $x(t)$ - Diagramme des Fluges und der waagrechten Translation bietet den Schülern eine Gelegenheit, die erhaltenen Resultate argumentativ zu begründen (Reibungseinflüsse). So wird also neben der Erkenntnisgewinnung auch der Kompetenzbereich der Kommunikation mittels dieses Experiments berücksichtigt. Dazu baut dieses Schülerexperiment auf den lernpsychologischen Aspekt, dass sich Bilder tiefer in das Gedächtnis einprägen, und somit die gewonnen Erkenntnisse möglichst gut behalten werden sollen. (vgl. (Lukesch, 2001 S. 93))

Die Durchführung dieses Schülerexperiments gestaltet sich preiswert: In vielen Schulen existieren bereits Klassensätze der verwendeten Fahrbahnschienen aufgrund ihrer vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten (z.B. Impulserhaltung) bzw. lassen diese sich bei Bedarf preiswert erwerben, genauso wie die Kugeln. Für eine stabile Positionierung des Handys eignen sich Handystative, welche für 5 € in Elektronikgeschäften zu haben sind. Besteht keine Möglichkeit Computer oder Tablets der Schule zu nutzen, lässt sich die Auswertung der Videos auch daheim als Hausaufgabe durchführen, denn durch die Videoaufnahme mittels des Handys ist kein USB-Stick o.ä. zur Datenweitergabe innerhalb der Gruppenmitglieder notwendig, sondern durch heutige Kommunikationsmittel leicht zu bewerkstelligen. Dazu bietet die Handynutzung wohl einen weiteren erfreulichen Aspekt, nämlich eine motivationsfördernde Wirkung auf den Schüler.

Das richtige Positionieren des Handys beim sonst wohl zügigen Versuchsaufbau wird vermutlich die meiste Zeit benötigen, aufgrund der fehlenden Erfahrung mit dieser Aufnahmemethode. Ebenfalls problematisch: So könnte die Videoaufnahme in Zeitlupenfunktion einen größeren Abstand (ca. zwei Meter) zur Messapparatur benötigen, wie auch eine unscharfe Auflösung bzw. Verzerrung der Videosequenz bewirken (je nach Handymodell). Jedoch ist dieser Aufnahmemodus zu wählen, da sonst zu wenige Messdaten aufgrund der kurzen Sequenz zur Auswertung zur Verfügung stehen würden. Zudem zeigen obige Ergebnisse, dass sich trotz genannter Effekte gelungene Messergebnisse ergeben.

Die Auswertung und anschließende Verarbeitung der Videodaten werden wesentlich mehr Zeit in Anspruch nehmen als noch die Versuchsdurchführung. Jedoch wurde die beiliegende Kurzanleitung so gestaltet, dass, falls erforderlich, ein schnelles Einarbeiten in die Funktionsweise von Tracker bzw. Excel möglich ist, ohne die Schüler dabei zu überfordern. Jedoch wird vermutlich gerade der Umgang mit dem Tabellenkalkulationsprogramm den meisten Schülern aus dem Informatikunterricht geläufig sein.

Die dabei auf den ersten Blick umständliche Herangehensweise, erst die Videodaten aus dem Programm Tracker auszuwerten und sie anschließend in ein Tabellenkalkulationsprogramm zu importieren bietet die Möglichkeit, mehrere Messkurven gleichzeitig in einem Diagramm anzuzeigen, sodass ein Vergleich der Messkurven hierbei anschaulich möglich ist. Mit dem Programm Tracker allein wäre dies nicht möglich. Jedoch besteht insbesondere bei der Auswertung des freien Falls der Kugel die Gefahr, dass die Schüler durch das in Tracker angezeigte $x(t)$ -Diagramm verwirrt werden, da dieses nicht konstant verläuft. Hier ist es wichtig ihnen zu verdeutlichen, dass es sich hierbei um Messungenauigkeiten handelt; man beachte hierzu die Skalierung der Ortsachse. Genauso wie für die Abweichung der Ortskurven in einer Bewegungskategorie. Erst wenn die Abweichungen, die sich im niedrigen Zentimeterbereich wiederfinden (siehe oben), akzeptiert werden, kann das vorgestellte Experiment die gewünschten Ziele auch erreichen!

Untersucht man mögliche Fehlerquellen, so sind diese meist in der Datenauswertung zu finden, wie das unterschiedliche Setzen der Kalibrierungsmaßstäbe bzw. die ungleiche Setzung des Koordinatensystems mit zugehöriger Neigung. Um diese Fehler vorzubeugen, finden sich im Anschluss der Tracker-Kurzanleitung nützliche Hinweise.

Abschließend ist noch zu erwähnen, dass sich die Schülermotivation möglicherweise steigern ließe, wenn statt der Kugel ein Spielzeugfahrzeug verwendet werden würde. Jedoch ist es bei diesem Objekt aufgrund der ungleichmäßigen Rotation im Fallen kaum realisierbar, die Objektmarkierung in jedem Bild der Videoanalyse an die gleiche Stelle des Fahrzeugs zu setzen. Bei einer Murmel würde die Markierung des Objektmittelpunkts prinzipiell exakter als bei der verwendeten Holzkugel ausfallen, jedoch ist eine Videoerfassung dieser aufgrund der Schienenwände nicht möglich.

Dieses durchaus anspruchsvolle Experiment lässt sich folgendermaßen in das vorgestellte Modell der experimentellen Kompetenz einordnen:

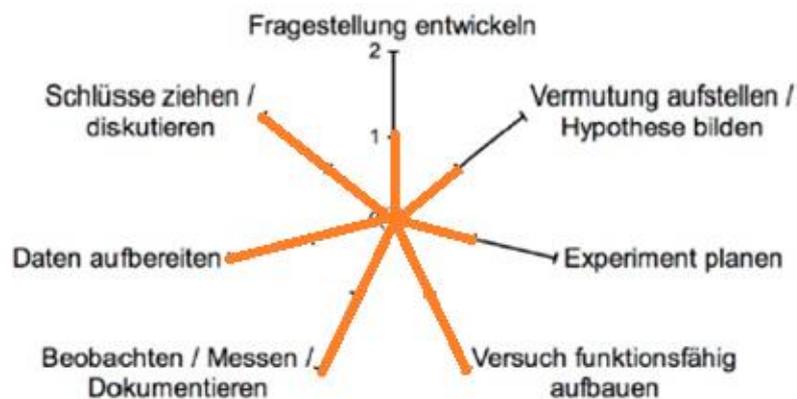


Abbildung 4.10 Einordnung des Experiments zum waagrechten Wurf in das vorgestellte Kompetenzmodell

Das facettenreiche Experiment zielt auf alle Teilkompetenzbereiche ab. Während sich die in Niveaustufe 1 eingeordneten Aspekte des Experiments teils geleitet aus dem Unterrichtsbeginn ergeben (können) - siehe oben - wird das Hauptaugenmerk des vorgestellten Experiments auf die anderen Bereiche gelegt.

5. Schuldurchführung zur Einführung der spezifischen Wärmekapazität

5.1 Ausgangssituation

Am 19.07.2019 wurde das obige Schülerexperiment *Einführung der spezifischen Wärmekapazität* mit einer achten Klasse des Schweinfurter Walther-Rathenau-Gymnasiums einem Praxistest vollzogen. Freundlicherweise wurde mir hierfür eine Doppelstunde zur Verfügung gestellt. Es handelte sich um eine eher leistungsschwache, 24 Schüler starke Klasse aus dem Wirtschaftszweig, und als Besonderheit ist zu nennen, dass es sich bei dieser um eine sogenannte Tablet-Klasse der Schule handelt, d.h. jeder Schüler mit einem Tablet ausgestattet war. Das Thema der spezifischen Wärmekapazität wurde bereits thematisch behandelt, dies geschah ca. ein halbes Jahr vorher. Die Schüler wussten von einer Experimentierstunde im Rahmen einer Zulassungsarbeit, jedoch wurde das Thema der Stunde ihnen vorher nicht genannt.

5.2 Durchführung und Beobachtungen

Die 24 Schüler der Klasse wurden in acht Gruppen eingeteilt. Da ich bei der Praxisdurchführung viel Wert auf die vollständige, abgeschlossene Versuchsauswertung legte, wurden die Materialien bereits vollständig vorbereitet auf den Schülerplätzen verteilt, um Verzögerungen oder Fehler zu vermeiden, wie beispielsweise das Abfüllen einer zu niedrigen oder zu hohen Wassermenge. Hierbei wurde die Wassertemperatur variiert, um ein möglichst breiteres Spektrum der Messwerte zu erhalten. Die Verteilung der Knetkugeln erfolgte mit den Massen 20 g (5- mal), 25 g (6- mal) und 30 g (5- mal), sodass also jede Schülergruppe für zwei Messungen zuständig waren. Die Verteilung erfolgte dabei außerdem so, dass sechs Gruppen zwei gleiche Massekugeln und zwei Gruppen zwei verschiedene erhielten. Es wurden dabei bewusst nur drei verschiedene Massen verwendet, um dagegen die Anzahl der Messwerte einer Masse zu erhöhen, damit später die linearen Verläufe möglichst einfacher erkannt werden.

In einer kurzen Einführung wurden die vorliegenden Materialien vorgestellt und die folgenden Arbeitsabläufe miteinander besprochen, die sich auf den Schülerarbeitsblättern (siehe Anhang) befanden. Es



Abbildung 5.1 Schülergruppe beim Arbeiten

wurde den Schülern selbst überlassen, ob die Auftragung der Messwerte wie auch des Graphen $\Delta T_K(t)$ mithilfe ihres Tablets oder auf Papier erfolgt.

Während der Durchführung wurde durch die anwesende Lehrkraft und mich versucht, möglichst frühzeitig Probleme bei den Schülergruppen zu erkennen und ihnen entgegenzuwirken.

Nachdem die Schülergruppen beide Messungen vollzogen hatten, wurden ihre Ergebnisse in einer Tabelle an der Tafel festgehalten, in der Masse und die beiden Temperaturänderungen aufgelistet wurden. Anschließend erfolgte im Klassengespräch die Erarbeitung, dass das Wasser mittels Wärmeleitung Wärmeenergie an die Knetkugel überträgt, woraufhin sich diese erwärmt, sowie, dass es aufgrund des Thermobechers keine Wärmeverluste nach außen hin gegeben hat. Nachdem den Schülern der Graph ausgehändigt wurde, der die abgegebene Energie bei zugehöriger Temperaturveränderung von 260 ml Wasser zeigt, wussten diese schnell, wie sich daraus die zugehörige Wärmeenergie ablesen lässt.

Somit konnten nun die Schüler zu ihrer untersuchten Masse die aufgenommene Wärmeenergie der Knetkugel eigenständig ablesen, währenddessen ich die Schülerwerte in eine Exceltabelle eintrug, um die ausgewerteten Diagramme den Schülern präsentieren zu können. Die aufgenommene Wärmemenge wurde dabei rechnerisch von mir ermittelt.

[Anmerkung: Eigentlich sollten hier die Schüler zu ihren Massen, die von ihnen ausgewerteten Daten sowie denen von den anderen Schülergruppen (nur mit derselben Masse), in ein $Q_{K,auf}(\Delta T_K)$ -Diagramm eintragen und anschließend erste Vermutungen zum Verlauf des Graphen äußern. Jedoch wurde dieser Schritt verworfen, da aufgrund eines Feueralarms in der vorigen Pause die Stunde mit Verzögerung begann und sonst die Zeit vermutlich nicht für die vollständige Auswertung genügt hätte.]



Abbildung 5.2
Schülergruppe im Dialog



Abbildung 5.3
Hilfestellung für eine
Schülergruppe

Die Eingabe in die Exceldatei ergab folgende Darstellungen:

ΔT_K /K	ΔT_W /K	$Q_{k, auf}$ /kJ
7,0	0,8	0,87
4,3	0,5	0,54
11,3	1,2	1,30
8,8	1,4	1,52
0,0	0,0	0,0

Tabelle 5.1. Schülermesswerte der 20 g Kugel

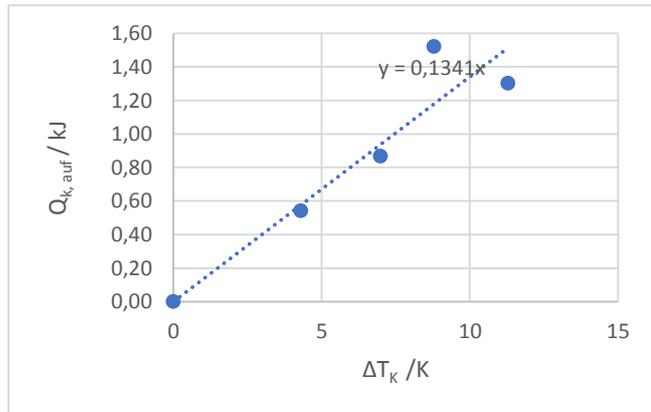


Abbildung 5.4 Aufgetragene Schülermesswerte der 20 g Kugel

ΔT_K /K	ΔT_W /K	$Q_{k, auf}$ /kJ
11,0	1,6	1,74
7,3	1,1	1,20
9,9	1,2	1,30
6,6	1,4	1,52
9,5	1,2	1,30
6,0	0,8	0,87
0,0	0,0	0,00

Tabelle 5.2

Schülermesswerte der 25 g Kugel

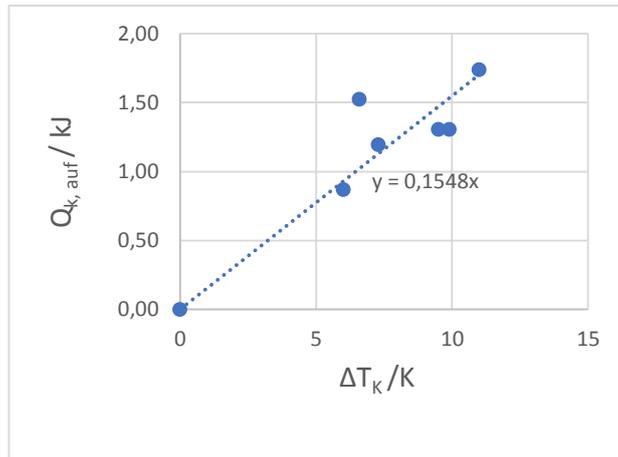


Abbildung 5.5 Aufgetragene Schülermesswerte der 25 g Kugel

ΔT_K /K	ΔT_W /K	$Q_{k, auf}$ /kJ
11	2,1	2,28
5,1	1,1	1,2
12,1	0,9	0,98
5,7	0,3	0,33
0,0	0,0	0,00

Tabelle 5.3

Schülermesswerte der 30 g Kugel

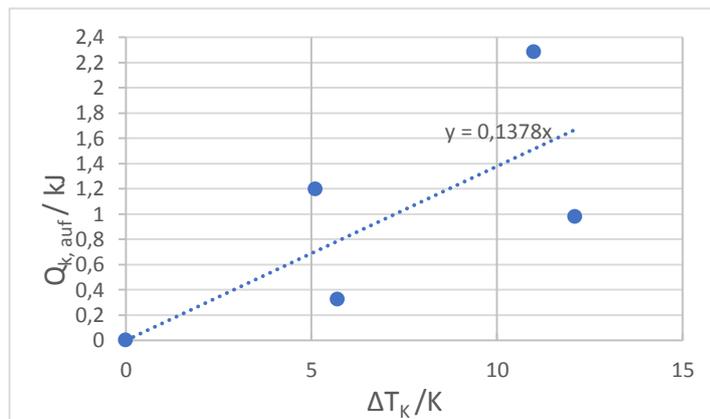


Abbildung 5.6 Aufgetragene Schülermesswerte der 30 g Kugel

Während die Steigung der ausgleichenden Gerade bei den 20 g Knetkugeln sogar mit meinen eigenen Messungen übereinstimmt, treten bei den anderen Diagrammen teils gravierende Abweichungen auf (siehe dazu unten). Deshalb entschied ich mich, meine im Labor erfassten Messwerte beizufügen (25 g und 30 g), um die Linearität besser zur Geltung zu bringen.

Dies war auch die richtige Entscheidung, denn selbst bei der 20 g-Messung wurde die Vermutung der Linearität erst nach mehreren Hilfestellungen geäußert. Bei den anderen beiden, „aufgefüllten“ Graphen, erfolgte dies dann schneller. Aber auch beim Auftragen der Quotienten $\frac{Q_{K,auf}}{\Delta T_K}$ in Abhängigkeit der Masse wurde die Linearität eher durch Raten als durch Wissen entdeckt. Mithilfe der beiden gewonnenen Erkenntnissen wurde anschließend im Klassengespräch das Erwärmungsgesetz hergeleitet, wobei sich hierbei zeigte, dass die Schüler dieses offensichtlich nicht mehr präsent hatten.

Dass die linearen Zusammenhänge nicht auf Anhieb genannt wurden, lässt sich vermutlich auf die Leistungsstärke der Klasse und darauf zurückführen, dass die Schüler bisher lediglich Graphen betrachtet haben, bei denen sich die Messwerte nahezu auf einer perfekten Gerade befanden, und ihnen somit der „geschulte Blick“ bzw. die Erfahrung gefehlt hat.

Die Abweichungen der Schülermesswerte von den eigenen könnte folgende Ursachen haben: So wurde, trotz mehrmaligem Hinweisen, der Styropordeckel des Öfteren an den vorgeschriebenen Stellen nicht auf dem Becher platziert. Des Weiteren fiel bei einer Gruppe, leider zu spät, auf, dass diese nicht beachtet hatten, dass das Digitalthermometer die korrekte Temperatur erst nach kurzer Anstiegszeit angab. So wurde das Thermometer nach dem Eintauchen in das Wasser zu schnell wieder herausgenommen, und das angezeigte, zu geringe, Ergebnis notiert (rot gefärbte Werte in Tabelle 5.3). Die übrigen Schüler wiesen erfreulicherweise, trotz geringer Experimentiererfahrung, keine Schwierigkeiten mit dem Bedienen der für sie unbekanntes Messeräte auf.

Nach der Herleitung des Erwärmungsgesetzes blieben noch 5 Minuten Zeit, sodass der vorbereitete Fragebogen (siehe Anhang) noch direkt vor Ort ausgefüllt und an mich zurückgegeben werden konnte.

5.3 Schülerfeedback

Die Auswertung des ausgehändigten Fragebogens ergab insgesamt sehr erfreuliche Ergebnisse: So gaben nahezu alle Schüler an, dass ihnen das Experiment gefallen habe (siehe Frage 7) („spannend“, „interessant“, „hat Spaß gemacht“) bzw. ergab sich eine Durchschnittsnote von 2,04 auf Frage 5. So wurde insbesondere das eigenständige, praktische Arbeiten in Gruppen positiv empfunden und als Abwechslung zum sonstigen Schulalltag gesehen. Dass hierbei ein Inhalt thematisiert wurde, der den Schülern bereits bekannt war, störte wohl nicht. Einzelne Meinungen empfanden es sogar als positiv, die bekannten Inhalte nochmals in vielen kleinen Arbeitsschritten zu wiederholen. Auch die am Platz stehenden vorbereiteten Materialien wurden in Frage 7 genannt.

Die Schülerantworten auf Frage 8 bestätigten die oben beschriebenen Eindrücke: Die Versuchsauswertung wurde gerade wegen der Formalisierung am Ende der Stunde als eher negativ betrachtet.

Die fehlende Experimentiererfahrung der Klasse zeigte sich in der Durchschnittsnote von 4,65 auf Frage 4. Trotzdem wurde das Durchführen der Arbeitsaufträge nicht als zu schwer empfunden (2,26 auf Frage 3). Die Anleitungen wurden in ihrer Verständlichkeit (1,61) bzw. Ausführlichkeit (1,70) positiv bewertet. Auch das Zusammenarbeiten in Gruppen wurde (insgesamt) mit 2,04 als gut empfunden. Auffällig hierbei waren jedoch auch Ausnahmen.

5.4 Verbesserungsmöglichkeiten

Aus dem Schülerfeedback (z.B. Frage 9) bzw. durch eigene Beobachtungen sowie Besprechungen mit der anwesenden Lehrkraft ergeben sich interessante Anhaltspunkte für eine Optimierung des Schülerexperiments.

So ist wohl zu empfehlen, möglicherweise nur eine oder zwei Massen zu untersuchen, damit der lineare Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Wärme und der Temperaturänderung der Knetkugel, durch die steigende Messwertzahl, besser ersichtlich werden kann. So fallen auch „Ausreißer“ weniger gravierend ins Gewicht. Jedoch spielt natürlich das allgemeine Leistungsniveau der jeweiligen Klasse bzw. die Erfahrung, auch mit „nicht perfekten“ Messwerten umgehen zu können, in diese Entscheidung mit ein.

Die Beobachtung der Schülergruppen zeigten deutlich, dass sich die Schüler bei ihrer zweiten Messung wesentlich geschickter verhielten, bzw. die Arbeitsaufträge sorgfältiger, zielführender, aber auch zügiger ausgeführt haben. Diese Erkenntnis spricht für die Option

einen Testlauf einzuplanen, in dem die Schüler mit der praktischen Methodik vertraut werden. Oder eben eine dritte Messung durchzuführen, mit der dann auch die Untersuchung von drei verschiedenen Massen eher möglich ist.

Um die Versuchsauswertung effektiver gestalten zu können, wäre denkbar, diese in der Folgestunde, also getrennt von der Messwerterfassung, durchzuführen, damit die Schüler dieser ausgeruhter und frischer begegnen können. In diesem Fall war dies aufgrund der fortgeschrittenen Schuljahresphase leider nicht möglich.

Alles in allem darf der Praxistest dieses Schülerexperiments als gelungen angesehen werden, da das Experiment in der angedachten Form auf positive Resonanz gestoßen ist und das Interesse der Schüler offenbar geweckt hat.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des neuen LehrplanPlus wurden Schülerexperimente fest verankert, um die experimentelle Kompetenz der Schüler zu fördern. Diese Arbeit bietet für drei ausgewählte Beispiele Umsetzungsvorschläge, bei denen der Spagat aus Lehrplananforderungen und den möglichst gering zu haltenden finanziellen- oder materiellen Mitteln, bestmöglich versucht wurde zu meistern .

Das Schülerexperiment „Abschätzung der Dichte kleiner Körper“, bei dem die ungefähren Dichtewerte von Gegenständen mithilfe der Einsinktiefen in verschiedene Flüssigkeitsschichten bestimmt werden, kann als Alternative oder auch zusätzliche Option neben einem anderen Schülerexperiment gesehen werden (z.B. Überlaufmethode), um den Schülern eine andere Perspektive nahezubringen, die Dichtewerte von Materialien zu ermitteln, wenn die ihnen bereits bekannte Methode scheitert. Der spielerisch angehauchte Versuch soll den Schülern auch erste, positive Erfahrungen mit dem Experimentieren vermitteln.

Die „Einführung der spezifischen Wärmekapazität“, bei der die aufgenommene Wärmeenergie von Knetkugeln mithilfe von Idealisierungen graphisch ermittelt und mit dem zugehörigen Temperaturanstieg in Bezug gesetzt wird, bietet eine Alternative zu geläufigen Schülerexperimenten an.

Bei der „Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs“, handelt es sich um ein Schülerexperiment, bei dem die Schüler qualitativ mittels Vergleichen von Bewegungsdiagrammen auf die physikalischen Gegebenheiten stoßen sollen. Hierbei werden ein einfach zu handhabendes Videoanalyseprogramm sowie ein Tabellenkalkulationsprogramm für die Umsetzung genutzt und als Highlight der technischen Umsetzung das Schülereigene Handy als Aufnahmemedium in den Unterricht mit eingebettet.

Sicherlich lassen sich die oben beschriebenen Experimente im Laufe der Zeit durch neue Ansätze bzw. neuen verfügbare Hilfsmittel weiter optimieren. Dafür werden aber wohl erst so manche Praxiserfahrungen notwendig sein. Erste Vorschläge für Optimierungsansätze wurden bei einem Praxistest mit einer Schulklasse bereits aufgeführt. So bleibt zu wünschen, dass diese Arbeit für den Leser interessante und umsetzbare Vorschläge vermittelt, welche sich dann im praktischen Einsatz im Unterricht wiederfinden.

7. Literaturverzeichnis

Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. 2005. *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss : Beschluss vom 16.12.2004.* München : Luchterhand, 2005.

Behörde für Schule und Berufsbildung, Hamburg. *Kompetenzentwicklung alles»könnner.* [Online] [Zitat vom: 11. September 2019.] <https://www.hamburg.de/alleskoenner/3043770/alleskoenner/>.

Berger, Veit. 2012. Die experimentelle Methode. [Buchverf.] Silke Mikelskis-Seifert und Thorid Rabe. *Physik-Methodik : Handbuch für die Sekundarstufe I und II.* Berlin : Cornelsen, 2012, S. 29-44.

—. **2010.** Im Unterricht experimentieren. [Buchverf.] Helmut F. Mikelskis und Veit Berger. *Physik-Didaktik : Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II.* Berlin : Cornelsen Scriptor, 2010, S. 149-167.

Bleichroth, Wolfgang. 1999. Elemente der Methodik des Physikunterrichts. [Buchverf.] Bleichroth, et al. *Fachdidaktik Physik.* Köln : Aulis, 1999.

Demtröder, Wolfgang. 2018. *Experimentalphysik 1 -Mechanik und Wärme.* Berlin : Springer Spektrum, 2018.

Engeln, Katrin. 2010. Praktikum, Lernort Labor. [Buchverf.] Helmut F. Mikelskis und Veit Berger. *Physik-Didaktik : Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II.* Berlin : Cornelsen Scriptor, 2010, S. 167-176.

Ernst GmbH & Co. KG. 2016. *Produktinformation.* [Online] Oktober 2016. [Zitat vom: 10. September 2019.] https://www.ernst-kamen.de/images/produktinformationen/30101102_Spielmittel_mit_Zitrone.pdf.

Fischler, Helmut. 2018. Schülervorstellungen zu Teilchen und Wärme. [Buchverf.] Horst Schecker, et al. *Schülervorstellungen und Physikunterricht.* Berlin : Springer - Spektrum, 2018, S. 150f.

Gerhart, G. und Karsten, H. 2009. *Physik - Formeln und Tabellen.* Hamburg : Handwerk und Technik, 2009.

Girwidz, Raimund. 2015. Medien im Physikunterricht. [Buchverf.] Ernst Kircher, Girwidz Raimund und Peter Häußler. *Physikdidaktik.* Heidelberg : Springer Spektrum, 2015, S. 193-247.

Goodfellow GmbH. 2019. *Polyamid-Nylon-6.* [Online] 2019. [Zitat vom: 22. September 2019.] <http://www.goodfellow.com/G/Polyamid-Nylon-6.html>.

Hannoschöck, Nikolaus. 2018. *Wärmeleitung und -transport: Grundlagen der Wärme- und Stoffübertragung.* Berlin, Heidelberg : Springer Vieweg, 2018.

Harlen, Wynne. 1999. *Effective Teaching of Science. A Review of Research.* s.l. : Scottish Council for Research in Education, 1999.

Hering, Ekbert, Martin, Rolf und Stohrer, Martin. 2009. *Taschenbuch der Mathematik und Physik.* Berlin : Springer, 2009.

- Hilscher, Helmut. 2012.** *Physikalische Freihandexperimente, Band 1.* s.l. : Aulis, 2012.
- Hochschule Offenburg. 2007.** *Kraftstoffeigenschaften verschiedener Pflanzenöle.* Offenburg : Hochschule Offenburg, 2007.
- Hopf, Martin. 2007.** *Problemorientierte Schülerexperimente.* Berlin : Logos, 2007.
- Hopf, Martin und Berger, Roland. 2015.** Experimentieren. [Buchverf.] Helmut Wiesner, Horst Schecker und Martin Hopf. *Physikdidaktik kompakt.* Hallbergmoos : Aulis, 2015, S. 106-115.
- ISB. 2019.** *Physik.* [Online] 2019. [Zitat vom: 28. August 2019.]
<https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachprofil/gymnasium/physik>.
- **2015.** *LehrplanPLUS – konkret.* München : s.n., 2015.
- **2019.** Natur und Technik 5. [Online] 2019. [Zitat vom: 2. August 2019.]
https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/5/nt_gym.
- **2019.** Natur und Technik 7. [Online] 2019. [Zitat vom: 2. August 2019.]
https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/7/nt_gym.
- **2019.** Physik 10 – Physikalische Erkenntnisse und Arbeitsweisen für technische Entwicklungen nutzen. [Online] 2019. [Zitat vom: 19. September 2019.]
<https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/10/physik#>.
- **2019.** Physik 9 – Physikalische Erkenntnisse für Argumentationen nutzen. [Online] 2019. [Zitat vom: 2. August 2019.]
<https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/9/physik>.
- **2017.** Sicher experimentieren in Physik. [Online] 2017. [Zitat vom: 20. September 2019.]
https://www.isb.bayern.de/download/20114/isb_sicher_experimentieren_in_physik_interaktiv_5.pdf.
- Karaböcek, Fadime und Erb, Roger. 2015.** Funktionale Aspekte des Experiments - Die Sicht der Lehrkraft. *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.* 2015.
- Kircher, Ernst. 2015.** Methoden im Physikunterricht. [Buchverf.] Ernst Kircher, Raimund Girwitz und Peter Häußler. *Physikdidaktik.* Heidelberg : Springer Spektrum, 2015.
- **2015.** Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht. [Buchverf.] Ernst Kircher, Girwitz Raimund und Peter Häußler. *Physikdidaktik: Theorie und Praxis.* Heidelberg : Springer Spektrum, 2015, S. 75-104.
- Leisen, Josef und Hopf, Martin. 2015.** Unterrichtsmethoden. [Buchverf.] Hartmut Wiesner, Horst Schecker und Martin Hopf. *Physikdidaktik kompakt.* Hallbergmoos : Aulis, 2015, S. 88-93.
- Lukesch, Helmut. 2001.** *Psychologie des Lernens und Lehrens.* Regensburg : Roderer, 2001.
- Maiseyenko, Veronika. 2014.** *Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht : Praxistauglichkeit und Lernwirkungen.* Berlin : Logos, 2014.
- Mende, Dietmar und Simon, Günter. 2013.** *Physik - Gleichungen und Tabellen.* München : Hanser, 2013.
- Meschede, Dieter und Gerthsen, Christian. 2015.** *Gerthsen Physik.* Berlin : Springer Spektrum, 2015.

- Mikelskis, Helmut F. 2010.** Den Physikunterricht legitimieren. [Buchverf.] Helmut F. Mikelskis und Veit Berger. *Physik-Didaktik : Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin : Cornelsen Skriptor, 2010, S. 11-52.
- Mikelskis-Seifert, Silke und Rabe, Thorid. 2012.** Darstellung und Präsentation druch Lehrerinnen. *Physik-Methodik : Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin : Conelsen, 2012, S. 99-115.
- Müller, Wieland. 2010.** Vom Lehrplan zu den Zielen des Unterrichts. [Buchverf.] Helmut F. Mikelskis und Veit Berger. *Physik-Didaktik , Praxishandbuch für die Sekundarstufe 1 und 11*. Berlin : Cornelsen Scriptor, 2010, S. 38-47.
- Muth, Laura. 2018.** *Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht : Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*. Berlin : Logos, 2018.
- Nawrath, D., Maiseyenko, V. und Schecker, H. 2011.** Experimentelle Kompetenz - Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*. 2011, S. 42-49.
- Nawrath, Dennis, Schecker, Horst und Maiseyenko, Veronika. 2013.** Kompetenzorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts: Symbiotische Kooperation bei der Entwicklung eines Modells experimenteller Kompetenz. *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*. 2013, S. 1-17.
- paka-gmbh. 2019.** *Produktübersicht*. [Online] 2019. [Zitat vom: 23. September 2019.] http://www.paka-gmbh.de/fileadmin/user_upload/produktbla__tter_V5_3.pdf.
- Schecker, Horst und Wiesner, Hartmut. 2007.** Die Bildungsstandards Physik. Orientierungen - Erwartungen - Grenzen - Defizite. *Praxis der Naturwissenschaften*. 2007, S. 5-13.
- Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. 2019.** *Lexikon der Chemie - Kautschuk*. [Online] 2019. [Zitat vom: 23. September 2019.] <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/kautschuk/4818>.
- Taylor, John R. Klassische Mechanik : ein Lehr- und Übungsbuch.** Hallbergmoos : Pearson.
- Tesch, Maïke und Duit, Reinders. 2004.** Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 2004, S. 51-69.
- Tipler, Paul, Mosca, Gene und Wagner, Jenny. 2015.** *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*. Heidelberg : Springer Spektrum, 2015.
- Weigel, Simon. 2019.** *Einsatz mathematischer Modellbildungssoftware im Physikunterricht am Beispiel von Newton-II*. Würzburg : s.n., Januar 2019.
- Weinert, Franz E. 2001.** Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim : Beltz, 2001, S. 17-31.
- Winkelmann, Jan und Erb, Roger. 2013.** Lernzuwachs durch Schüler- und Demonstrationsexperimente. *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2013*. 2013.

8. Anhang

8.1 Erläuterung der Facetten und Niveaustufen des Modells für experimentelle Kompetenz

Teilkompetenz	Beschreibung
Fragestellung entwickeln	Um ein unbekanntes Phänomen zu klären, entwickeln Naturwissenschaftler konkrete Fragestellungen, die untersucht werden sollen. Eine wissenschaftliche Fragestellung ist zielgerichtet und in der Regel von theoretischen Vorannahmen geleitet.
Vermutung aufstellen / Hypothese bilden	Auf Grundlage einer wissenschaftlichen Fragestellung können Vermutungen oder Hypothesen über einen zu untersuchenden Zusammenhang oder die Ursachen eines Phänomens formuliert werden. Für Vermutungen nimmt man z.B. Bezug auf Vorerfahrungen. Wenn eine Vermutung unter Bezugnahme auf theoretisches Vorwissen begründet wird, spricht man von einer Hypothese. Raten, auch wenn das Ergebnis richtig sein mag, wird nicht als Vermutung oder Hypothese verstanden. In Hypothesen wird der funktionale Zusammenhang zwischen zwei Messgrößen beschrieben. Hypothesen und Vermutungen sind ein Rahmen für experimentelle Messungen und Beobachtungen.
Experiment planen	Hypothesen und Vermutungen können mit Hilfe von Experimenten überprüft werden. Dafür muss geklärt werden, welches Material und welche Instrumente benötigt werden und welche Größen im Experiment erfasst werden sollen bzw. welche Beobachtungen durchgeführt werden sollen. Wichtig ist dabei die Variablenkontrolle bzw. die Wahl eines aussagekräftigen Kontrollansatzes. Es soll dabei nicht um ein bloßes Ausprobieren gehen. In einem Experiment geht es um ein gezieltes Vorgehen unter vorgegebenen Bedingungen im Zusammenhang mit einer naturwissenschaftlichen Fragestellung. Bei qualitativen Experimenten können Experimentalansatz und Kontrollansatz miteinander verglichen werden.
Versuch funktionsfähig aufbauen	Zu dieser Teilkompetenz gehört das Zusammenstellen der in der Planung vorgesehenen Geräte, der Aufbau der Versuchsanordnung, das Testen der Funktion des Aufbaus und ggf. der einzelnen Instrumente und Geräte. Beim Versuchsaufbau und der Kontrolle der Funktionsfähigkeit kann es erforderlich sein, Fehlerquellen ausfindig zu machen und ggf. den Aufbau zu variieren. Dies setzt eine systematische Fehlersuche voraus.
Beobachten / Messen / Dokumentieren	Die Dokumentation von Beobachtungen und Messungen unterscheidet sich beim Umgang mit qualitativen Daten (Beobachtungen) oder quantitativen Daten (Messungen). Beim Beobachten ist es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler ein Kriterium bzw. ein Versuchsmerkmal erkennen, das gezielt in den Blick genommen wird. Messungen können Beobachtungen präzisieren und quantifizieren. Messungen sind stets mit Unsicherheiten verbunden. Sie müssen daher sehr genau, sorgfältig und mehrfach durchgeführt werden. Beobachtungen sind präzise zu formulieren und darzustellen. Bei der Dokumentation der Messung kommt es ebenso wie bei der Beobachtung auf die Vollständigkeit, Genauigkeit und Sorgfalt an.
Daten aufbereiten	Daten müssen in eine Form gebracht werden, in der man sie weiter verarbeiten kann, um daraus Schlüsse ziehen zu können. Die Daten aus Messungen und Beobachtungen können tabellarisch, graphisch oder in Form von Texten aufbereitet werden. Ggf. müssen Formeln angewendet werden. Dabei sind einerseits instrumentelle Fähigkeiten gefragt (z.B. einen Graphen zeichnen oder eine Tabelle anlegen und übersichtlich gestalten). Aber auch analytische Fähigkeiten sind von Bedeutung, wenn z. B. Zusammenhänge zwischen Größen dargestellt werden sollen. Bei Beobachtungsdaten kann die Analyse z. B. in Form einer vergleichenden Gegenüberstellung der unterschiedlichen beobachteten Objekte erfolgen.
Schlüsse ziehen / diskutieren	Nach der Datenaufbereitung und der Untersuchung auf Zusammenhänge, müssen die Ergebnisse interpretiert werden und auf die Fragestellung und die Vermutung bzw. Hypothese rückbezogen werden. Hypothesen/Vermutungen müssen aufgrund der Datenlage kritisch reflektiert und ggf. überarbeitet und verändert werden. Dabei werden auch Fehler analysiert. Außerdem gehört zu dieser Teilkompetenz die Fähigkeit, eigene Positionen zu den Ergebnissen einer experimentellen Untersuchung zu entwickeln, zu begründen und in Diskussionen zu vertreten.

Teilkompetenz	Stufung	
Fragestellung entwickeln	2	Sinnvolle Fragestellung, die <ul style="list-style-type: none"> mit den verfügbaren experimentellen Mitteln untersucht werden kann, zielgerichtet ist und sich auf das zugrundeliegende naturwissenschaftliche Phänomen bezieht
	1	Prinzipiell sinnvolle Fragestellung, die <ul style="list-style-type: none"> mit gegebenen experimentellen Mitteln nicht oder nur unzureichend untersucht werden kann oder sich ausschließlich auf der Ebene der Beschreibung des Phänomens befindet
	0	<ul style="list-style-type: none"> keine Fragestellung vorhanden oder Fragestellung ohne sachlichen Bezug zum Thema oder keine verwertbare Fragestellung (Problem nicht erfasst)
Vermutung aufstellen / Hypothese bilden	2	Hypothesen mit elaborierter sachlicher Begründung (ohne Notwendigkeit fachlicher Richtigkeit)
	1	Vermutung mit unvollständiger Begründung oder ad-hoc-Annahmen
	0	keine / unbegründete Vermutung oder Vermutung mit unzusammenhängender Begründung
Experiment planen	2	voll ausgearbeiteter und realisierbarer Versuchsplan, der zur Klärung der Aufgabenstellung dient
	1	Versuchsplan mit erkennbarem Zusammenhang zur Aufgabenstellung, aber ungenaue Beschreibung des Vorgehens (Aufbau und/oder Durchführung in Teilen unvollständig beschrieben) oder nicht realisierbar
	0	kein nachvollziehbarer Versuchsplan erkennbar oder Versuchsplan ohne erkennbarem Zusammenhang zur Aufgabenstellung
Versuch funktionsfähig aufbauen	2	funktionsfähige Versuchsanordnung, die eigenständig aufgebaut wurde
	1	funktionsfähige Versuchsanordnung, die mit geringer externer Hilfe aufgebaut wurde
	0	<ul style="list-style-type: none"> fehlerhafte bzw. unvollständige Versuchsanordnung und Schüler erkennt Probleme nicht und fragt nicht nach Hilfe
Beobachten / Messen / Dokumentieren	2	<ul style="list-style-type: none"> vollständige und zielgerichtete Beobachtung (zeitliche Abfolge, erkannter Ursache-Wirkungszusammenhang) und korrekte (auch in der Reihenfolge sinnvolle) und gut dokumentierte Messungen
	1	<ul style="list-style-type: none"> unvollständige Beobachtung oder Beobachtungen /Messungen/Dokumentationen mit einzelnen fehlerhaften Werten oder unchronologische Beobachtung/Messungen
	0	<ul style="list-style-type: none"> keine / falsche Beobachtungen / Messungen unsystematische, sporadische, wenig zielgerichtete, unvollständige und in der Reihenfolge unsinnige, schlecht dokumentierte Beobachtung oder Messung Beobachtung verfehlt das Thema
Daten aufbereiten	2	korrekte und sachgerechte Datenaufbereitung
	1	nicht sachgerechte oder fehlerhafte Datenaufbereitung
	0	kein sachgerechter Ansatz für Datenaufbereitung
Schlüsse ziehen / diskutieren	2	Rückbezug der Ergebnisse auf Ausgangsfragestellung mit elaborierter Begründung, die auch im Diskurs vertreten wird
	1	Rückbezug der Ergebnisse auf Ausgangsfragestellung mit wenig differenzierter Begründung der Schlüsse
	0	keine Bezugnahme auf Ausgangsfrage oder Hypothese, keine oder grob unangemessene Schlüsse

(Nawrath, et al., 2011 S. 47f)

8.2 Arbeitsblatt zur Dichteabschätzung kleiner Körper

Versuchsanleitung

1. Nachdenkaufgabe

Sicher hast du schon einmal gesehen, was nach dem Essen einer heißen Suppe mit dem Topf passiert, wenn dieser sich langsam abkühlt: Das Fett wird zunehmend sichtbar und schwimmt auf dem Wasser. Wieso ist das so?

Überlege nun, was geschieht, wenn du zu Karamellsirup Wasser oder Öl gießt!

Was würde passieren, wenn zu Karamellsirup erst Wasser und anschließend Öl hinzugegeben wird?

2. Arbeitsauftrag

ACHTUNG:

DAS TRINKEN ODER ESSEN DER FLÜSSIGKEITEN ODER DER MATERIALIEN IST VERBOTEN!

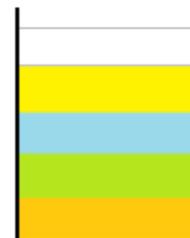
2.1 Gieße folgende Flüssigkeiten nacheinander in nachfolgender Reihenfolge vorsichtig in ein Becherglas, sodass sich jeweils eine ca. 1,5 cm dicke Schicht ergibt:

Karamellsirup; Spülmittel; Leitungswasser; Rapsöl; Spiritus



Tipp 1:

Gieße die Flüssigkeit vorsichtig über einen gedrehten Löffel, damit sie langsam ins Glas fließt und sich nicht mit der unteren Flüssigkeitsschicht vermischt



2.2 Lege nun kleine Stückchen folgender Materialien auf die oberste Schicht und beobachte, was passiert.



Tipp 2:

Tauche das Materialstück vorsichtig mit einer Nadel unter, um die Oberflächenspannung überwinden zu können.

3. Auswertung

Fertige nun ein Protokoll eurer Versuchsdurchführung an. In diesem sollst du beschreiben, welchen Arbeitsauftrag ihr ausgeführt und welche Ergebnisse ihr herausgefunden habt.

Übernehme hierfür die folgende Tabelle in dein Heft:

Material	Ort nach dem Sinken	
.....	

Tabelle 1

4. Hausaufgabe

Recherchiere im Internet oder in Büchern nach den Dichten der Flüssigkeiten, die ihr in euer Becherglas gegossen habt und trage diese Werte ebenfalls in dein Versuchsprotokoll ein. Benutze hierfür wieder eine Tabelle (siehe unten).

Flüssigkeit	Dichte
....

Tabelle 2

Nun kannst du anhand deiner gefundenen Werte, die Dichten der von euch verwendeten Materialien abschätzen. Dafür kannst du die dritte Spalte in Tabelle 1 benutzen.

8.3 Messwerte und Materialien zum Wärmekapazitätsexperiment

8.3.1 Aufgenommene Messwerte

Verwendete Knetsorte: *Pelikan, creaplast*

Tabelle 5 Auflistung der Messwerte der 20 g Kugel

$T_{W,vor}$ /°C	$T_{W,nach}$ /°C	$T_{K,vor}$ /°C	$T_{K,nach}$ /°C	ΔT_W /K	ΔT_K /K	$Q_{w,ab}$ /kJ
35,5	34,4	24,5	34,4	1,1	9,9	1,2
34,2	33,3	24,7	33,3	0,9	8,6	1,0
30,5	29,8	24,6	30,2	0,7	5,6	0,8
29,7	29,1	24,6	29,6	0,6	5,0	0,7
28,9	28,4	24,9	29,0	0,5	4,1	0,5
28,2	27,9	26,1	28,4	0,3	2,3	0,3
41,3	39,5	25,1	38,2	1,8	13,1	2,0
39,2	37,7	24,9	36,8	1,5	11,9	1,6
37,4	36,0	24,9	35,3	1,4	10,4	1,5
35,5	34,4	24,8	34,0	1,1	9,2	1,2
34,1	33,2	24,1	32,9	0,9	8,8	1,0
32,5	31,8	26,4	31,5	0,7	5,1	0,8
37,8	36,6	26,1	36,1	1,2	10,0	1,3
34,9	33,9	25,6	33,8	1,0	8,2	1,1
33,6	32,8	25,9	32,7	0,8	6,8	0,9
32,5	31,8	25,6	31,7	0,7	6,1	0,8
30,5	30,1	27,1	30,2	0,4	3,1	0,4
40,4	38,4	24,1	37,8	2,0	13,7	2,2
38,0	36,5	24,6	36,2	1,5	11,6	1,6
34,8	33,7	24,7	33,3	1,1	8,6	1,2
33,4	32,5	24,7	32,3	0,9	7,6	1,0
32,3	31,5	24,7	31,3	0,8	6,6	0,9
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 6 Auflistung der Messwerte der 25 g Kugel

$T_{W,vor}$ /°C	$T_{W,nach}$ /°C	$T_{K,vor}$ /°C	$T_{K,nach}$ /°C	ΔT_W /K	ΔT_K /K	$Q_{w,ab}$ /kJ
44,3	41,7	26,4	41,3	2,6	14,9	2,8
41,3	39,4	27,4	39,4	1,9	12	2,1
39,1	37,4	27,0	37,3	1,7	10,3	1,8
37,1	35,7	26,6	36,2	1,4	9,6	1,5
35,3	34,2	26,8	34,5	1,1	7,7	1,2
45,7	43,0	27,1	42,5	2,7	15,4	2,9
42,5	40,4	26,6	40,1	2,1	13,5	2,3
40,0	38,1	25,8	37,7	1,9	11,9	2,1
37,7	36,2	25,7	36,2	1,5	10,5	1,6
35,6	34,4	25,7	34,2	1,2	8,5	1,3
41,9	39,7	26,9	39,8	2,2	12,9	2,4
39,4	37,6	25,2	37,5	1,8	12,3	2,0
37,2	35,7	26,2	35,5	1,5	9,3	1,6
35,5	34,3	25,7	34,4	1,2	8,7	1,3
34,0	32,9	25,6	33,1	1,1	7,5	1,2
40,8	38,9	26,2	38,2	1,9	12,0	2,1
38,6	37,1	26,4	36,8	1,5	10,4	1,6
36,8	35,4	25,8	35,3	1,4	9,5	1,5
33,6	32,6	25,9	33,0	1,0	7,1	1,1
32,2	31,4	26,2	31,7	0,8	5,5	0,9
34,5	33,4	27,6	33,3	1,1	5,7	1,1
33,2	32,3	27,1	32,4	0,9	5,3	1,0
32,1	31,7	25,9	29,0	0,4	3,1	0,4
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 7 Auflistung der Messwerte der 30 g Kugel

$T_{W,vor}$ /°C	$T_{W,nach}$ /°C	$T_{K,vor}$ /°C	$T_{K,nach}$ /°C	ΔT_W /K	ΔT_K /K	$Q_{w,ab}$ /kJ
34,4	33,2	25,4	32,6	1,2	7,2	1,3
33,0	32,0	25,9	31,7	1,0	5,8	1,1
31,7	31,0	25,8	30,8	0,7	5,0	0,8
30,1	29,7	26,3	30,0	0,4	3,7	0,4
44,6	41,6	26,0	41,5	3,0	15,5	3,3
41,3	39,1	27,2	38,7	2,2	11,5	2,4
38,9	37,0	26,5	36,8	1,9	10,3	2,1
36,4	35,1	26,6	34,9	1,3	8,3	1,4
34,6	33,5	26,2	33,5	1,1	7,3	1,2
33,1	32,2	25,3	30,6	0,9	5,3	1,0
31,9	31,2	25,2	30,2	0,7	5,0	0,8
30,4	29,8	26,1	29,2	0,6	3,1	0,7

29,6	29,2	26,8	29,0	0,4	2,2	0,4
32,9	31,9	26,4	31,8	1,0	5,4	1,1
31,1	30,4	25,7	30,5	0,7	4,8	0,8
37,0	35,5	24,7	35,4	1,5	10,7	1,6
34,0	32,8	24,6	32,6	1,2	8,0	1,3
32,4	31,4	25,1	31,5	1,0	6,4	1,1
31,3	30,5	25,0	30,7	0,8	5,7	0,9
45,8	42,8	26,4	42,2	3,0	15,8	3,3
42,1	39,9	25,6	39,2	2,2	13,6	2,4
39,6	37,8	26,9	37,6	1,8	10,7	2,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 8 Messwerte $T_K(t)$

t / s	$T_K / ^\circ C$
0	24,5
30	26,1
60	28,4
90	30,2
120	31,5
150	32,2
180	32,9
210	33,4
240	33,7
270	33,9
300	34,1
330	34,2
360	34,3
390	34,4
420	34,4
450	34,4

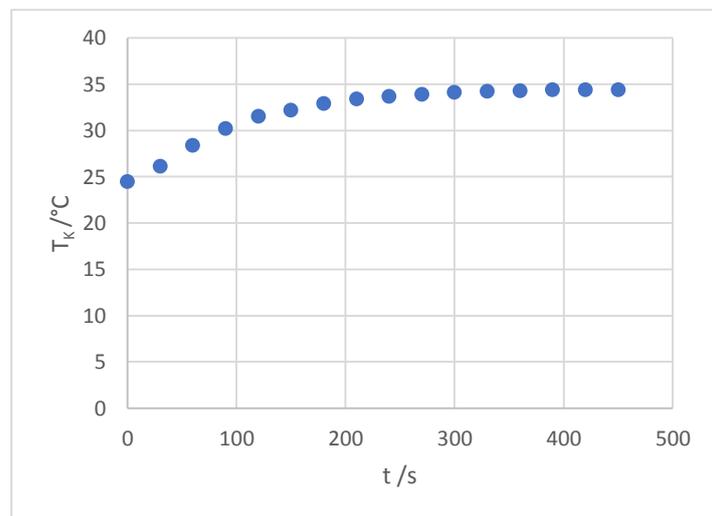
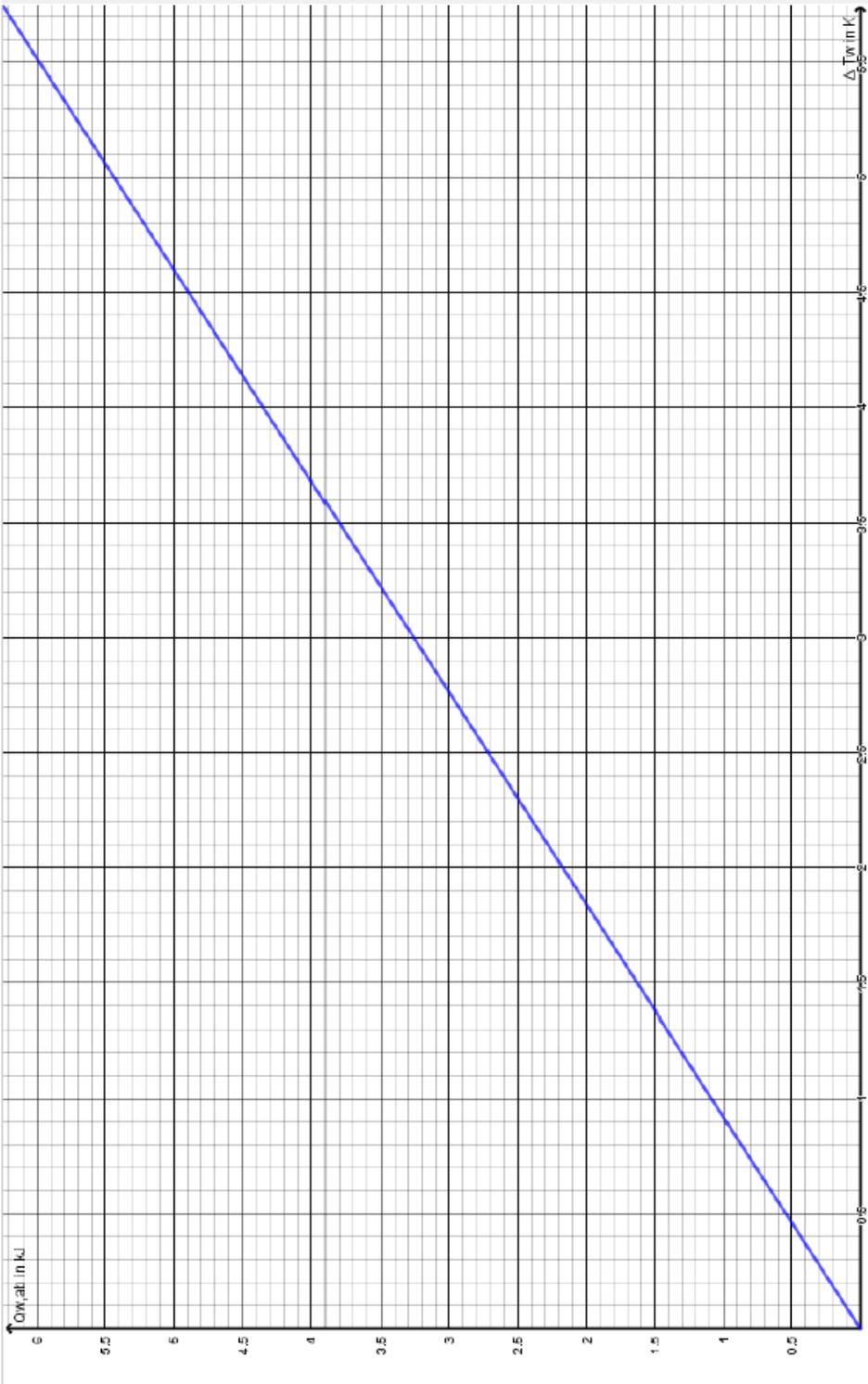


Abbildung 5.10 Graph $T_K(t)$

8.3.2 Graphausschnitt zum Ablesen von $Q_{w,ab}$



Versuchsanleitung

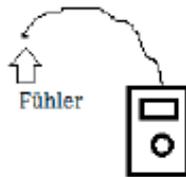
Du benötigst:

- Knetkugeln
- 1 Thermobecher (mit Wasser befüllt)
- 1 Styropordeckel mit Alufolie umhüllt
- 1 elektrisches Digitalthermometer
- 1 digitales Küchenthermometer
- 1 Stift

Versuchsdurchführung:

1. Stecke den Fühler des elektronischen Thermometers durch den Alu-Styropordeckel möglichst so in die erste Knetkugel, dass sich der Fühler in der Kugelmitte befindet. Verstreiche anschließend die Öffnung an der Kugel, damit später kein Wasser zum Fühler durchdringen kann.

Tipp: Für das Loch im Alu-Styropordeckel kannst du einfach einen Stift verwenden.



2. Rühre nun das Wasser im Thermobecher kurz vorsichtig um (Stift) und messe die aktuelle Start-Wassertemperatur $T_{W \text{ vorher}}$ mit dem digitalen Küchenthermometer. Halte das Thermometer dabei möglichst in die Mitte des Bechers!

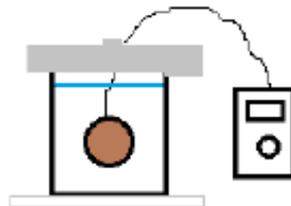


Notiere die gemessene Temperatur in die Tabelle auf der Rückseite!

3. Platziere nun die Knetkugel vorsichtig in dem Thermobecher.

Achtung:

- a) Die Kugel sollte dabei weder den Rand, noch den Boden des Bechers berühren.
- b) Der Becher muss dabei von dem Styropordeckel verschlossen werden (Tipp: Versuche auch das Loch im Deckel mit einem weiteren Styroporstückchen abzudichten).



Notiere die aktuelle Start-Knettemperatur $T_{K \text{ vorher}}$ in die Tabelle auf der Rückseite!

4. Starte nun die Stoppuhr deines Tablets.



Notiere die Knettemperatur alle 30 Sekunden in einer von dir angelegten Tabelle.

Tipp: Deine Tabelle sollte die Spalten t und T_K haben.

5. Zeichne den Graphen der Knettemperatur T_K in Abhängigkeit der Zeit t , während du die Messwerte aufnimmst (Die Zeit soll dabei auf der x-Achse aufgetragen werden).

6. Wenn sich die Knettemperatur 3-mal nicht geändert hat, kannst du die Knetkugel aus dem Wasser nehmen.



Notiere die letzte Knettemperatur $T_{K,nachher}$ in die untenstehende Tabelle!

7. Rühre das Wasser kurz um (Stift) und messe die neue Wassertemperatur $T_{W,nachher}$.



Notiere sie wieder in die untenstehende Tabelle!

Achtung:

Lege die Knetkugel beiseite und platziere den Styropordeckel wieder auf den Thermobecher, damit der Becher weiterhin isoliert bleibt!

8. Fülle nun die untenstehende Tabelle aus (bis auf die letzte Spalte).

9. Wiederhole nun dieselben Schritte mit den weiteren Kugeln auf deinem Platz!

(Den Graphen in Schritt 5 musst du nun aber nicht mehr zeichnen).

Achte darauf, dass sich keine Knete von der vorherigen Kugel mehr am Fühler befindet.

Masse m	$T_{K,vorher}$	$T_{K,nachher}$	$T_{W,vorher}$	$T_{W,nachher}$	ΔT_K	ΔT_W	$Q_{k,auf}$

8.3.4 Schülerfragebogen

Fragebogen

Um das Experiment noch zu verbessern, brauche ich deine ehrliche Meinung zur heutigen Stunde.

Trage einfach deine Bewertung in Form einer Schulnote auf die entsprechende Zeile ein. Dabei ist 1 „sehr gut“ und 6 „ungenügend“. Vielen Dank!

1. War die Anleitung verständlich formuliert? _____
2. War die Anleitung ausführlich genug, so dass du genau wusstest, was du beim Versuch machen sollst? _____
3. Ist es dir leichtgefallen, die Arbeitsaufträge durchzuführen? _____
4. Wie oft hast du schon selbstständig oder in Gruppen im Unterricht experimentiert?
(1: sehr oft; 6: nie) _____
5. Hat dir die heutige Stunde Spaß gemacht? _____
6. Wie gut hat das Zusammenarbeiten in eurer Gruppe funktioniert? _____

7. Was hat dir an der heutigen Stunde gefallen?

8. Was hat dir an der heutigen Stunde nicht gefallen?

9. Was könnte ich an der heutigen Stunde noch verbessern?

10. sonstige Anmerkungen:

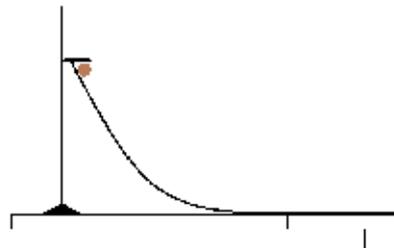
8.4 Materialien zum Waagrechten Wurf

8.4.1 Arbeitsblatt Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs

Versuchsanleitung

Versuchsaufbau und Durchführung

1. a) Baue den Versuch so wie im nebenstehenden Bild auf. Für die Halterung der Schiene sind dabei eine Stativstange mit zugehörigem Standblock und eine Klemme zu verwenden. Fixiere die Schienen an den Tischen vorsichtig mit Klebeband. Hierbei dürfen aber keine Steigungen entstehen.



b) Stelle den Zeitlupenmodus der Videoaufnahme in deinem Handy ein und positioniere dein Handy so, dass du die Schiene auf dem Nebentisch im Blickfeld hast. Die Höhe ist so einzustellen, dass du genau seitlich auf die Schiene blickst, dich also auf gleicher Höhe wie die Tischkante befindest, also so, wie oben im Bild.

Tipp: Auf einem Stuhl lässt sich das Handy mit Klebeband fest aufstellen (notfalls an etwas anlehnen). So musst du nicht die ganze Zeit des Versuchs das Handy festhalten.

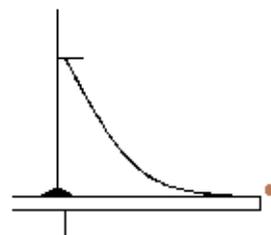
c) Lege nun die Kugel so auf die Schiene, dass sie die Unterseite der Klemme berührt. Nachdem die Videoaufnahme gestartet wurde, wird sie losgelassen und durch das Handy gefilmt.

Wiederhole anschließend diese Schritte noch 2-mal. Starte für jede Durchführung ein neues Video.

2. Entferne nun den zweiten Tisch. Wieder wird die Kugel an obiger Stelle der Schiene angelegt und nach Starten der Videoaufnahme losgelassen.

Führe auch dieses Mal die Aufnahme, noch 2-mal zusätzlich durch, wieder in jeweils neuen Videos.

3. Halte die Kugel an die gleiche Stelle, wie im nebenstehenden Bild. Filme den Fall der Kugel wiederum 3-mal.



Auswertung:

4. Werte nun deine aufgezeichneten Videos mithilfe des Videoanalyseprogramms Tracker aus. Benutze hierbei die zugehörige Anleitung.

5. Füge nun die ausgewerteten Daten in der angezeigten Tabelle in ein Tabellenkalkulationsprogramm ein. Lege für die ersten drei Arbeitsschritte jeweils eine eigene Tabelle an. Nun kannst du dir die zugehörigen Bewegungsdiagramme anzeigen lassen und miteinander vergleichen (siehe Anleitung).

6. Vergleiche nun die drei Bewegungsdiagramme,

- a) bei denen die Kugel auf der Schiene weiterrollt
- b) bei denen die Kugel „fliegt“
- c) bei denen die Kugel senkrecht nach unten losgelassen wird

Was stellst du fest?

7. Vergleiche nun noch jeweils ein Bewegungsdiagramm aus a) mit einem aus b) und eines aus b) mit einem aus c). Achte hierbei auf einen „sinnvollen“ Vergleich.

8. Vervollständige den Lückentext

Die Kugel fliegt nach Verlassen der Rampe mit einer _____ Geschwindigkeit v_x in horizontaler Richtung weiter. Hier gilt also der Zusammenhang $v_x =$ _____

In vertikaler Richtung wird der Ball hingegen wie beim _____ gleichmäßig _____ .

Es gilt also $v_y =$ _____ bzw. für die Höhe der Kugel $y =$ _____

8.4.2 Kurzanleitung zum Videoanalyseprogramm Tracker

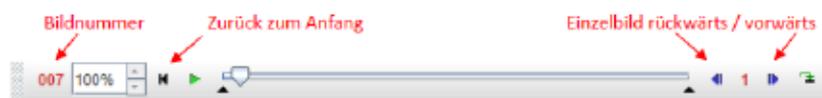
Kurzanleitung der Videoanalysesoftware Tracker

(kostenfreier Download unter physlets.org/tracker/)

1. Videos importieren

Über den Reiter *Video* -> *importiere* lassen sich die gewünschten Videos in das Programm einfügen. Eine Alternative wäre *Datei* -> *öffnen*.

2. Videoeinstellungen festlegen



i) Um das Video gegebenenfalls zu drehen, ist dies unter *Rechtsklick (auf dem Bild)* -> *Filter* -> *Neu* -> *Drehung* möglich

ii) Der gewünschte Start- und Endpunkt des zu analysierenden Videoausschnitts lässt sich mittels *Einzelbild vor-*, bzw. *rückwärts* einstellen: Wenn diese gefunden sind, müssen sie noch mittels Rechtsklick auf das Schiebersymbol  fixiert werden.

iii) Unter Umständen muss die aufgenommene Bildrate manuell angepasst werden: Dies lässt sich durch Klicken auf das  Symbol (Clip Einstellungen) durchführen.

3. Vergleichsmaßstab und Koordinatensystem ausrichten

i) Nach Klicken auf das  Symbol (*Koordinatenachsen sichtbar*) erscheint ein Koordinatensystem, welches sich mit der linken Maustaste beliebig verschieben lässt. Der Neigungswinkel des Koordinatensystems lässt sich dann manuell eingeben, wenn das Koordinatensystem aktiviert wurde. Dies kann besonders bei Verzerrungen hilfreich sein. 

ii) Durch Klick auf das  Symbol -> *Neu* -> *Kalibrierungsmaßstab* und anschließend gleichzeitigem Klicken von *strg + shift* (*Umschalttaste*) lässt sich der Anfangs- und Endpunkt eines Vergleichsmaßstabs setzen, bei dem dann noch die tatsächliche Länge einzugeben ist.

Die Sichtbarkeit des Koordinatensystems sowie des Kalibrierungsmaßstabes wird durch erneutes Klicken auf das jeweilige Symbol verändert. Gerade für den nächsten Schritt kann dies vorteilhafter sein. Durch *Track* -> *Achsen* -> *Gesperrt* lässt sich das Koordinatensystem fixieren bzw. aus der Fixierung lösen.

4. Aufnahmen der Messwerte

Mittels *Track* -> *Neu* -> *Punktmasse* kann der zu analysierende Gegenstand ausgewählt werden. Für den anschließenden *Track* stehen zwei Optionen zur Verfügung:

i) Manuelle Verfolgung

Durch Drücken der *Shift*-Taste lässt sich anschließend die gewünschte Stelle markieren (durch Linksklick). Das Video springt nach und nach ein Bild weiter.

ii) Automatische Verfolgung

Durch gleichzeitiges Klicken der *strg + shift* Taste lässt sich das Objekt markieren. Durch Klicken auf *suche* im Autotrackfenster wird die automatische Verfolgung gestartet. Für diese Option muss sich der Gegenstand aber deutlich vom Hintergrund unterscheiden. Die Markierung lässt sich jedoch in jedem Bild des Videos auch manuell verändern bzw. anpassen. Gegebenenfalls ist eine Nachjustierung des Suchgebietes (Rechteck) oder des Markierungsumfangs (Kreis) erforderlich.

Das Vergrößern des Bildausschnitts, welche eine genauere Markierung eines Objekts möglich macht, ist über *Rechtsklick* -> *Vergrößern* möglich.

5. Exportieren der ermittelten Daten

Um die ausgewerteten Daten zu exportieren, ist ein Doppelklick auf die Tabelle erforderlich und anschließend *Rechtsklick* -> *kopiere ausgewählte Daten* -> *Wie formatiert*. Spalten der Messwerttabelle lassen sich über *Daten* aus- oder einblenden.

Tipps für die Trackernutzung zum Schülerexperiment

„Untersuchung und komponentenweise Beschreibung des waagrechten Wurfs“

- Die Markierung der Holzkugel bei der manuellen Verfolgung ist möglichst immer in der Kugelmitte zu platzieren
- Ob man den Kalibrierungsmaßstab längentreu gesetzt hat (Verzerrung beachten!), lässt sich durch Vergleichen mit der Koordinatenachsenausrichtung überprüfen.
(Gegebenenfalls den Nullpunkt kurzzeitig verschieben, so dass ein Vergleich mit den Achsen leichter durchführbar ist)
- Um eine bessere Vergleichbarkeit der Messwerte zu erzielen, ist es ratsam, den Koordinatenursprung in den Kugelmittelpunkt beim Erreichen der Tischkante zu legen.
- Aufgrund der Verzerrungen bietet es sich an, den Kalibrierungsmaßstab in der Raumrichtung zu setzen, in der die stattfindende Bewegung analysiert werden soll, also z.B. die Tischbreite beim Analysieren der horizontalen Bewegung auf der waagrechten Schiene oder der Abstand vom „Loslass-“ zum Auftreffpunkt des Balles beim freiem Fall.
- Für die Markierungen des zu analysierenden Gegenstandes ist es zu empfehlen, das Koordinatensystem und den Kalibrierungsmaßstab auszublenden, damit die zu markierenden Stellen besser erkennbar sind.
- Um eine übersichtlichere Darstellung der Messergebnisse zu erhalten, sollten irrelevanten Spalten vor dem Exportieren ausgeblendet werden.

8.4.3 Kurzanleitung zum Erzeugen von Diagrammen in Excel

Kurzanleitung zum Erstellen von Diagrammen in Excel

1. Markiere die Variable, welche später an der x-Achse angetragen werden soll und drücke dabei *strg* um diese „zu halten“.

2. Markiere dann die Messwerte in der Tabelle, welche in Abhängigkeit der Variablen aufgetragen werden sollen, also z.B. die y-Werte (dabei immer *strg* gedrückt halten). In der Reihenfolge, in der du die Spalten markierst, werden diese in dem Diagramm dann angezeigt (z.B. Datenreihe 1).



3. Über *Einfügen* -> *Diagramme* kannst du den gewünschten Diagrammtyp auswählen.

4. Durch Klicken auf das *Diagramm* -> *Diagrammelemente* lassen sich der Diagrammtitel oder die Achsenbeschriftungen anpassen. Auch das Setzen einer Trendlinie (z.B. optimale Gerade) ist möglich.

Hierzu lassen sich die Trendlinienoptionen unter *Trendlinie*-> *Weitere Optionen* nachjustieren, beispielsweise den Schnittpunkt mit einer Achse einstellen oder die Trennliniengleichung anzeigen.

8.4.4 Daten der Versuchsauswertung

Die aus der Videoanalyse ermittelten Versuchsdaten, befinden sich zusammen mit den jeweiligen Trackerdateien sowie den zugehörigen Videos auf beiliegender CD.

9. Erklärung nach §29 LPO-I

Ich versichere an Eides statt durch meine Unterschrift, dass ich die vorstehende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich, annähernd wörtlich oder dem Sinn nach aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Des Weiteren erkläre ich, dass ich mich keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe. Diese Versicherung gilt auch für Abbildungen, Tabellen und ähnliches.

Die vorliegende Arbeit wurde in dieser oder ähnlicher Form an keiner weiteren Prüfungsstelle eingereicht.

Würzburg, den
