

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Haupt- und Realschulen im Fach Physik

Bier als Kontext

Beiträge zum kontextorientierten Physikunterricht in der Sek. I

Christin Egly

Gutachter: Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Eingereicht der Hessischen Lehrkräfteakademie, Prüfungsstelle Frankfurt

Danksagung

Ich möchte mich hier bei allen lieben Menschen bedanken, die mich während meines Studiums und insbesondere bei der Anfertigung dieser Examensarbeit von Herzen unterstützt haben!

Zuallererst danke ich meinen Freunden, die mich vor allem in den stressigsten Zeiten beruhigt und mir gezeigt haben, dass bei allem, was ansteht, der Spaß nie zu kurz kommen darf. Da ich mich glücklich schätzen darf, so viele Freundschaften zu pflegen, die mich alle auf individuelle Art unterstützt haben, sind hier alle die gemeint, die sich angesprochen fühlen!

Meiner Familie danke ich für ihre Geduld während meiner langen Studiendauer und die Wertschätzung meiner Mühen. Meinen Brüdern Marcel Morris und Colin danke ich, dass sie stets an meiner Seite stehen und mich jeder auf seine Weise in allem unterstützt und berät. Meinen Eltern danke ich für so vieles, was sie in meinem Leben für mich getan haben, aber vor allem, dass sie jederzeit mit einem offenen Ohr für mich bereitstanden und ich mir bei ihnen alles von der Seele reden kann!

Natürlich gilt mein Dank auch Herrn Prof. Dr. Thomas Wilhelm für die tolle Unterstützung, nicht nur bei der WHA, sondern schon seit meinem ersten Uni-Tag! Sie haben schon Ihre Laudatio erhalten, daher werde ich mich nicht wiederholen, außer in einem Satz: Danke, dass Sie das beste Vorbild für mich als zukünftige Lehrkraft sind!

Und zu guter Letzt möchte ich mich bei Julian, meinem besten Freund, bedanken. Danke für deine fachliche sowie emotionale Unterstützung! Ohne dich wäre diese Hausarbeit sicher sehr viel schwieriger geworden, falls sie überhaupt zustande gekommen wäre! Danke, dass ich immer wieder von dir lernen darf!

Und damit schließe ich mit meinem Lieblingszitat:

*Wasser trinkt nur der Vierbeiner,
der Mensch, der findet Bier feiner!*

- Heinz Erhardt

Prost!

Inhaltsverzeichnis

<u>1.</u>	<u>EINLEITUNG</u>	<u>1</u>
<u>2.</u>	<u>THEORETISCHER HINTERGRUND</u>	<u>3</u>
2.1.	KONTEXTORIENTIERUNG	3
2.2.	WAS IST BIER?	5
2.2.1.	DER BRAUPROZESS	6
2.2.2.	BIER ALS KULTURGUT DER DEUTSCHEN	17
2.3.	POTENZIAL GENUSS-/ LEBENSMITTEL ALS KONTEXT	19
2.3.1.	CHANCEN & GRENZEN	19
2.3.2.	UMGANG MIT SENSIBLEN INHALTEN	20
<u>3.</u>	<u>BIER IM PHYSIKUNTERRICHT</u>	<u>23</u>
3.1.	WARUM?	23
<u>4.</u>	<u>AUSGEWÄHLTE BEITRÄGE</u>	<u>26</u>
4.1.	WENN BIER KREISE ZIEHT – EINE VIDEOANALYSE ZUR UNTERSUCHUNG DER KREISBEWEGUNG AM BEISPIEL EINES ROTIERENDEN BIERKRUGES	26
4.1.1.	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	26
4.1.2.	VORGEHENSWEISE ZUR ERSTELLUNG DER VIDEOANALYSE	29
4.1.3.	BEITRAG ZUM PHYSIKUNTERRICHT	30
4.2.	KRONKORKEN MIT EINEM HEBEL ÖFFNEN	43
4.2.1.	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	43
4.2.2.	VORGEHENSWEISE	45
4.2.3.	BEITRAG ZUM PHYSIKUNTERRICHT	48
4.2.4.	AUSWERTUNG DER UNTERRICHTSSTUNDE	52
4.3.	TEETASSENEFFEKT BEIM BIERBRAUEN	56
4.3.1.	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	56
4.3.2.	BEITRAG ZUM PHYSIKUNTERRICHT	61
4.4.	DICHTEBESTIMMUNG BEIM BIERBRAUEN	62
4.4.1.	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	62
4.4.2.	BEITRAG ZUM PHYSIKUNTERRICHT	64
4.5.	SCHALLGESCHWINDIGKEIT MESSEN	67
4.5.1.	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	67
4.5.2.	BEITRAG ZUM PHYSIKUNTERRICHT	69
4.6.	BIERFLASCHENORGEL	72
4.6.1.	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	72
4.6.2.	BEITRAG ZUM PHYSIKUNTERRICHT	77
4.7.	DAS „SCHLAUCHEN“	79
4.7.1.	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	79
4.7.2.	BEITRAG ZUM PHYSIKUNTERRICHT	82

5. FAZIT & AUSBLICK	83
6. LITERATURVERZEICHNIS	84
7. ANHANG	90
7.1. BRAUPROTOKOLLE	90
7.2. MENTIMETER AUSWERTUNG (PHYSIK KLASSE 9 AN IGS IN BAD KÖNIG)	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - ungeschrotetes Malz	6
Abbildung 2 - Mühle	6
Abbildung 3 - geschrotetes Malz	6
Abbildung 4 - Einmaischen	7
Abbildung 5 - Skizze Stärkekette	8
Abbildung 6 - Läuterbottich mit Läuterblech	8
Abbildung 7 - Maische wird in den Läuterbottich gegeben	9
Abbildung 8 - Wasser wird drauf gegeben	9
Abbildung 9 - Vorderwürze wird abgegoßen	9
Abbildung 10 - Glattwasser tritt aus	9
Abbildung 11 - Treber	9
Abbildung 12 - Hopfengabe	10
Abbildung 13 - Würze kocht	10
Abbildung 14 - Würze wird gespindelt	11
Abbildung 15 - durch kräftiges Umrühren wird die Würze in Rotation gebracht	12
Abbildung 16 - die Würze rotiert	12
Abbildung 17 - durch den Whirlpool sammeln sich Feststoffe in der Mitte	12
Abbildung 18 - klare Würze kann am Rand abgesogen werden	12
Abbildung 19 - Würze wird abgekühlt	13
Abbildung 20 - Kühlspirale (links kaltes Wasser aus dem Hahn, rechts erwärmtes Wasser)	13
Abbildung 21 - Hefe wird in die Würze gegeben	14
Abbildung 22 - Sauerstoff wird mittels einer Suppenkelle hinzugefügt	14
Abbildung 23 - im Gärbottich gärt das Bier	15
Abbildung 24 - Bier wird nach der Gärung in Flaschen gefüllt, um sie darin 4 Wochen zu lagern	16
Abbildung 25 - Screenshot "Bier"-Lieder auf Spotify	18
Abbildung 26 - Krankenhauseinweisungen wegen Alkoholvergiftung (Kenn dein Limit, 2023)	22
Abbildung 27 - Skizze Kräfteverteilung in der Kreisbewegung	27
Abbildung 28 - Skizze Rotation Bierkrug	28
Abbildung 29 - Koordinatenursprung wählen	30

Abbildung 30 - Ortdiagramm (Bahnkurve)	31
Abbildung 31 - Zeit-Ort-Diagramm	32
Abbildung 32 - Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm	33
Abbildung 33 - Beschleunigungsdiagramm	34
Abbildung 34 - Geschwindigkeitsvektoren	36
Abbildung 35 - Vektordarstellung Geschwindigkeitsänderung	37
Abbildung 36 - Beschleunigungsvektoren	38
Abbildung 37 - Geschwindigkeits- & Beschleunigungsvektoren	39
Abbildung 38 - Stroboskopbild	40
Abbildung 39 - Stroboskopbild mit Geschwindigkeits- & Beschleunigungsvektoren	41
Abbildung 40 - Kronkorkverschlussgerät (einseitiger Hebel)	44
Abbildung 41 - Skizze Versuchsaufbau Hebel	46
Abbildung 42 - Aufbau Hebelversuch	47
Abbildung 43 - Durchführung des Versuchs	48
Abbildung 44 - Diagramme zu Messungen mit 40cm	49
Abbildung 45 - Diagramme Vergleich 20cm, 40cm, 80cm	49
Abbildung 46 - Skizze Vereinfachung Hebel	51
Abbildung 47 - Skizze Kräfte Hebel	51
Abbildung 48 - Screenshot Messwerte Klasse 9b	53
Abbildung 49 - Screenshot Messwerte 9c	54
Abbildung 50 - Vergleich Ergebnisse 9b & 9c bei 40 cm	55
Abbildung 51 - Vergleich Ergebnisse 9b & 9c bei 20 cm	56
Abbildung 52 - Foto Wasser mit Teeblättern in Rotation	57
Abbildung 53 - Druck auf Wasseratom gleicher Höhe (oben)	58
Abbildung 54 - Tassenboden Geschwindigkeiten	59
Abbildung 55 - Tassenboden Geschwindigkeit & Zentrifugalkraft	59
Abbildung 56 - Skizze Druck am Tassenboden	60
Abbildung 57 - Teetasseneffekt Kegelbildung in der Mitte	61
Abbildung 58 - Skizze Aräometer	63
Abbildung 59 - Umrechnungstabelle Bierbrauen (Hanghofer, 2016)	64
Abbildung 60 - Dichtebestimmung von Wasser in einem Weizenglas (500 ml)	65
Abbildung 61 - Nahaufnahme des Aräometers	65
Abbildung 62 - Dichte von Zuckerwasser (500 ml Wasser + 100 g Zucker)	66
Abbildung 63 - Screenshot Schallgeschwindigkeitsmessung Bier	70
Abbildung 64 - Screenshot Schallgeschwindigkeitsmessung Wein	71
Abbildung 65 - Skizze Wellen in gedackter Pfeife (Bierflasche)	74
Abbildung 66 - Screenshot (phyphox) Grundfrequenz Bierflasche (330ml)	76
Abbildung 67 - Flaschenorgel (330 ml, 500 ml, 1 l)	78
Abbildung 68 - Schlauchen beim Bierbrauen	79
Abbildung 69 - Skizze zum "Schlauchen"	81

1. Einleitung

Diese Examensarbeit beschäftigt sich mit dem Thema Bier als Kontext – Beiträge zum kontextorientierten Physikunterricht in der Sekundarstufe 1. Ziel der Arbeit ist es, didaktische Beiträge zu entwickeln, die sich am Kontext Bier orientieren. Dabei werden physikalische Themen aus den Bereichen Mechanik, Wärmelehre und Akustik behandelt.

Der Physikunterricht in der Sekundarstufe 1 wird oft als abstrakt und realitätsfern wahrgenommen, weswegen das Interesse der Schülerinnen und Schüler am Fach Physik sinkt. Kontextorientierung bietet die Möglichkeit diesem Abwärtstrend entgegenzuwirken. Mithilfe von alltagsnahen Phänomenen soll die Motivation und das Interesse der Kinder und Jugendlichen gesteigert werden. Bisher werden Genuss- und Lebensmittel kaum als Kontext genutzt, daher ist die Forschungslage in diesem Bereich gering. Jedoch zeigt sich, dass Bier einige physikalische Phänomene beinhaltet, welche sich im Unterricht gut integrieren lassen.

Die Motivation zu dieser Arbeit entspringt einem persönlichen Interesse. Neben des Genießens des fertigen Produkts, braue ich mit einem Physiklehrerkollegen gemeinsam Bier als Hobby. Beim Brauvorgang wird oft über physikalische Grundlagen diskutiert und einzelne Brauschnitte analysiert und Möglichkeiten der Optimierung abgewogen. Allein diese Erfahrungen, sowie etliche Versuche mit Freunden Bierflaschen mit unterschiedlichen Gegenständen zu öffnen, hat mir gezeigt, welches Potenzial dieser Kontext bieten kann. Jedoch löst das Thema Alkohol nicht nur Freude aus. Für viele Menschen bedeutet das Thema Trauer und Wut. Noch immer wird Alkoholismus in unserer Gesellschaft nicht als Problem wahrgenommen, wodurch Betroffene einen enormen Druck erfahren müssen. Daher befasst sich diese Arbeit auch mit einem sensiblen Umgang mit dem Thema.

Die zentrale Frage lautet also: Inwiefern kann Bier als Kontext im Physikunterricht der Sekundarstufe 1 genutzt werden? Zur Beantwortung werden diverse Unterrichtsbeiträge entwickelt und analysiert.

Der aktuelle Forschungsstand zeigt, dass es bisher keine Studien zum Thema Genuss- und Lebensmittel als Kontext gibt. Jedoch gibt es Fachliteratur zur Kontextorientierung im Allgemeinen, sowie zur Interessensbildung von Schülerinnen und Schülern. Diese zeigen, dass die Neugier der Kinder und Jugendlichen insbesondere durch Kontexte, sowie alltagsnahe Experimente und kulturelle Aspekte erzeugt werden kann.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut. Zu Beginn wird der Begriff der Kontextorientierung beleuchtet, sowie dessen aktueller Forschungsstand dargestellt. Daraufhin wird definiert, was Bier ist, wie Bier gebraut wird und warum es zum Kulturgut der Deutschen gehört. Außerdem werden Möglichkeiten und Grenzen des Kontextes aufgezeigt und der sensible Umgang mit dem Thema analysiert. Dabei wird auf diverse Statistiken bezüglich der Alkoholabhängigkeit der Deutschen und dem Trinkverhalten Jugendlicher in Deutschland zurückgegriffen.

Im dritten Kapitel wird begründet, warum Bier ein Kontext im Physikunterricht sein sollte.

Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit diversen Beiträgen zum Bier als Kontext im Physikunterricht. Hierbei werden jeweils zunächst die physikalischen Grundlagen erläutert und anschließend ein möglicher Beitrag für den Physikunterricht dargestellt. Dabei werden verschiedene Medien genutzt, um so eine Methodenvielfalt aufzuzeigen.

Im Anschluss folgt ein Fazit mit Ausblick auf die Zukunft.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Kontextorientierung

Die Kontextorientierung im Unterricht ist ein didaktisches Prinzip, bei dem Lerninhalte nicht isoliert, sondern in sinnstiftenden Kontexten vermittelt werden, um ein tieferes inhaltliches Verständnis zu fördern.

Der Begriff „Kontext“ ist ein äußerst vielseitig genutzter Begriff, weswegen hier zunächst konkretisiert werden muss, welche Bedeutung in dieser Arbeit als relevant gilt. Mit Kontext kann zum einen der Bezug zur persönlichen und gesellschaftlichen Umgebung gemeint, aber auch die Lernumgebung in der Schule oder außerschulische Lernorte betreffend sein (Krey et al., 2025). In dieser Examensarbeit wird sich auf die erste Definition bezogen.

In der Physikdidaktik werden zwei grundlegende Formen der Kontextorientierung im Physikunterricht unterschieden. Zum einen gibt es den fachsystematisch-kontextorientierten Physikunterricht. Zum anderen den kontextstrukturierten Physikunterricht (Nawrath & Komorek, 2013). Der fachsystematisch-kontextorientierte Physikunterricht wird durch den Lehrinhalt strukturiert. Die Inhalte stehen im Vordergrund und Kontexte werden zur Anwendung und als Beispiele herangezogen. Dabei soll dann an Erfahrungen und Vorstellungen angeknüpft werden. Im kontextstrukturierten Physikunterricht bildet, wie der Name verrät, der Kontext die Struktur des Unterrichts. Kontexte stehen im Vordergrund und daraufhin wird auf die Sachinhalte hingearbeitet (Nawrath & Komorek, 2013).

Im Folgenden werden die Vorteile der Kontextorientierung näher beleuchtet. Durch eine Kontextorientierung ergibt sich für Schülerinnen und Schüler der Sinn der Lerninhalte, also die Antwort zur wohl am häufigsten gestellten Frage im Unterricht „Wofür brauchen wir das eigentlich?“. Sie können durch einen geeigneten Kontext erkennen, dass der Lerninhalt sie insofern betrifft, als dass sie verschiedene Probleme aus ihrem Alltag durch ihn lösen können. Der Unterrichtsstoff kommt so aus der Schule in die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler und findet Situationen, in denen das Gelernte angewendet werden kann. Hierbei kann es fächerübergreifende Zusammenhänge geben, wodurch naturwissenschaftliche, technische und gesellschaftliche Aspekte besser

verstanden und ein konzeptionelles Verständnis erlangt werden kann (Nawrath & Komorek, 2013). Dadurch kann nicht nur das Interesse der Lernenden gesteigert, sondern auch der Bezug zu Naturwissenschaften gestärkt werden (Duit & Mikelskis-Seifert, o. J.; Nawrath & Komorek, 2013). Mithilfe des kontextorientierten Unterrichts werden die Inhalte, die sonst keinen Bezug zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler haben, mit alltäglichen Dingen verbunden (Duit & Mikelskis-Seifert, o. J.). Schwierig hierbei ist jedoch, dass das im Kontext erlernte Wissen oft nur mit diesem in Verbindung gebracht wird. Dem wird jedoch entgegengearbeitet, wenn neben des gewählten Kontextes noch weitere Anwendungen erarbeitet werden (Duit & Mikelskis-Seifert, o. J.). Für Lernende ergaben sich drei Themenbereiche in Bezug auf Kontextorientierung, die als besonders interessant gelten (Krey et al., 2025). Hierzu zählen: persönliche Relevanz, gesellschaftliche und globale Relevanz sowie Naturphänomene, Erde und Weltraum. Im Bereich persönliche Relevanz geht es besonders um den eigenen Körper, wie dieser gesund bleibt und was ihm schadet. Besondere Kontexte, also Inhalte die nicht alltäglich aber verblüffend für Schülerinnen und Schüler sind, können dazu beitragen, dass das situationelle Interesse geweckt wird, wohingegen alltägliche Kontexte dieses aufrechterhalten können (Krey et al., 2025). Darauf wird in Kapitel 2.3.1 näher eingegangen. Nachgewiesen wurde jedoch, dass kontextorientierter Unterricht sowohl Interesse als auch die Motivation Lernender fördern und die Transferleistungen steigern kann (Gysin et al., 2024). Mittels der Vermittlung von Fachinhalten in einem Kontext, sollen Lernende „erkennen“ welche Probleme sie in ihrer Lebenswelt damit lösen können.

Ob jedoch kontextorientierter Unterricht im Allgemeinen einen messbaren Mehrwert für den Unterricht bietet, konnte die Forschung bisher nicht eindeutig belegen, jedoch konnten keine Leistungsminderungen sowie Leistungssteigerungen verzeichnet werden (Nawrath & Komorek, 2013). Die größte Schwierigkeit für Lehrkräfte und Forschende stellt sich in der Konkretisierung des Begriffs „Kontext“ beziehungsweise „Kontextorientierung“ dar (Nawrath & Komorek, 2013).

2.2. Was ist Bier?

„Deutschland ist nach wie vor ein Biertrinkerland.“ (Nathusius, 2025, 22. Juli). Als eines der beliebtesten alkoholischen Getränke der Deutschen gehört Bier noch immer in die Liste der Top-5-Liebblingsgetränke (Müllmaier, 2024). Dabei sind vor allem das Pils und das Export weit oben auf der Liste zu vermerken. Bereits über 500 Jahre Brautradition prägen das deutsche Kulturerbe (Leinfelden-Echterdingen, 2016).

Auf die Frage „Was ist Bier?“ lässt sich grundsätzlich erstmal antworten: Es ist ein Gemisch aus Wasser, Malz und Hopfen mithilfe von Hefe vergoren. Aber Bier ist nicht gleich Bier. Es gibt heutzutage viele verschiedene Sorten von Bieren, die sich hauptsächlich in kleinen Veränderungen ihrer Brauart unterscheiden. Außerdem werden verschiedene Sorten an Malz und Hopfen verwendet, um unterschiedliche Geschmäcker zu erlangen. Das Malz ist zum Keimen gebrachtes Getreide, meist Gerste. Durch das Mälzen, also den kontrollierten Keimvorgang, werden die Enzyme im Malz aktiviert, die fürs Bierbrauen entscheidend sind („Mälzen“, 2024). Die Hefe wird je nach gewünschter Biersorte gewählt. Unterschieden wird zwischen obergäriger und untergäriger Bierhefe.

Die untergärige Bierhefe bevorzugt Temperaturen von 5 °C bis 10 °C („Die Hefe“, o. J.). Sie wird zum Brauen von Pils, Märzen, hellem und dunklem Lager, wie Export verwendet. Weiß- und Weizenbier, Alt und Kölsch sind bekannte Beispiele für obergärige Biere, bei denen die Hefe bei Temperaturen von 15 °C bis 25 °C arbeitet („Die Hefe“, o. J.). Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Bierhefen war es früher nur möglich beispielsweise im Winter Pils und im Sommer Weizenbier zu brauen. Für einige Hobbybrauer, ohne entsprechend einstellbaren Gärkeller, ist es auch heutzutage relevant, wie die Temperaturen sich verhalten, je nach Lagerungsmöglichkeit während der Gärung.

Die Stammwürze beschreibt den Alkoholgehalt, sowie den Geschmack eines Bieres. Sie wird vor der Gärung durch Spindeln bestimmt oder mittels eines Refraktometers gemessen. Wie die Spindel funktioniert, wird in Kapitel 4.4.1 genauer erläutert. Ein Refraktometer misst den Brechungsindex des Lichtes in der Würze (Redders, 2018). Der Wert wird dann mithilfe eines Korrekturfaktors in die Stammwürze umgerechnet. Welchen Wert der Stammwürze das Bier

erreichen soll, hängt hierbei von der Sorte des Bieres ab. So liegt ein Pils ungefähr zwischen 10 °Plato und 13 °Plato, während ein IPA (Indian Pale Ale) zwischen 16 °Plato und 19 °Plato liegt (Redders, 2018).

Der Brauprozess des Bieres kann in drei verschiedene Stationen unterteilt werden: das Sudhaus, der Gärkeller und die Abfüllung. Dabei unterscheidet sich das Hobbybrauen nicht großartig von der Hausbrauerei einer Gastronomie oder der industriellen Brauerei. In Kapitel 2.2.1 wird daher der Brauprozess in seinen einzelnen Schritten anhand von Fotos erläutert, die beim Hobbybrauen entstanden sind.

2.2.1. Der Brauprozess

Grundlegend werden folgende Zutaten benötigt, um ein Bier herzustellen: Malz, Wasser, Hopfen und Hefe.

Im Gegensatz zu früher, mälzen Brauereien heutzutage selten selbst. Daher wird hier der Brauprozess ab Malzlieferrung erläutert.¹

Der Maischeprozess



Abbildung 1 - ungeschrotetes Malz



Abbildung 2 - Mühle



Abbildung 3 - geschrotetes Malz

Zuerst wird das Malz mittels einer Mühle geschrotet, siehe Abbildungen 1 bis 3. Dieses wird dann mit Wasser gemischt, den Prozess nennt man Einmaischen. Es entsteht die Maische, wie in Abbildung 4 gezeigt.

¹ Die Informationen über das Bierbrauen wurden in einem persönlichen Gespräch mit dem Bierbrauer Julian Schultis von der Brauerei Schmucker im Odenwald gesammelt.



Abbildung 4 - Einmaischen

Während des Maischeprozesses wird die im Malz enthaltene Stärke durch Enzyme in Einfachzucker umgewandelt. Dabei werden verschiedene Rasten eingehalten, das heißt die Maische wird auf bestimmten Temperaturen für einen gewissen Zeitraum gehalten, um entscheidende chemische Prozesse der Enzyme zu fordern. Diese Enzyme sind die sogenannten Amylasen, die die Stärke in kleine Zuckerpäckchen spalten. Sie stammen aus dem Malz (Blume, 2015). Es wird zwischen der β -Amylase, die in der Maltoserast stattfindet und der α -Amylase, die in der Verzuckerungsrast stattfindet, unterschieden. Die Maltoserast findet zwischen 62 °C und 64 °C statt. Sie ist die wichtigste Rast, denn sie bestimmt, ob das Bier süß oder schlank sein soll. Die β -Amylase schneidet die Enden der Stärkekette in zweier Zuckerpäckchen ab. Die α -Amylase hingegen schneidet zufällig ab, siehe Abbildung 5. Daher ist es entscheidend, wie lange die β -Amylase, also die Maltoserast, stattfindet, denn durch eine längere β -Amylase wird bei der α -Amylase mehr Einfachzucker produziert. Dadurch entsteht mehr Alkohol und weniger Süße. Die Dauer des Maischeprozesses ist also davon abhängig, wie die Stärkekette gebrochen werden sollen. Je nach Biersorte soll mehr oder weniger der Kette aufgebrochen werden.

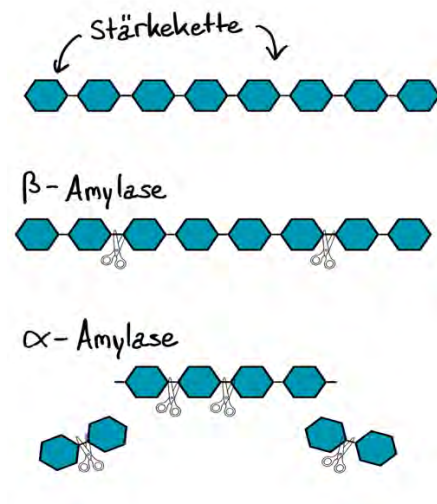


Abbildung 5 - Skizze Stärkekette

Die Maische wird nun aus dem Maischebottich in den Läuterbottich umgefüllt, siehe Abbildung 7.

Das Läutern

Im Läuterbottich, siehe Abbildung 6, befindet sich auf dem Boden ein Siebboden oder bei Hobbybrauern ein Läuterblech oder eine Läuterhexe.



Abbildung 6 - Läuterbottich mit Läuterblech

Beim Läutern wird das Malzschorf von der Würze getrennt. Die Feststoffe setzen sich am Boden ab und bilden den sogenannten Treberkuchen, wie in Abbildung 10 zu sehen ist. Dieser übernimmt die Filterfunktion, da er die Würze von Feststoffen des Malzes trennt.



Abbildung 7 - Maische wird
den Läuterbottich gegeben

Abbildung 8 - Wasser wird drauf
gegeben

Abbildung 9 - Vorderwürze wird
abgegossen

Der Brauer gießt heißes Wasser auf den Inhalt im Läuterbottich, siehe Abbildung 8. Diese Nachgüsse spülen den restlichen Extrakt aus dem Treberkuchen, solange bis nur noch Glattwasser (Zuckergehalt von 2 % - 0 %) austritt. Die anfangs durch die Schwerkraft abgeläuterte Vorderwürze ist die vom Zuckergehalt stärkste Flüssigkeit während des Brauprozesses, siehe Abbildung 9.

Der Treber, Abbildung 11, der am Ende des Läuterprozesses übrigbleibt, kann zum Backen von beispielsweise Brot verwendet oder im Rahmen der Viehhaltung verfüttert werden.



Abbildung 10 - Glattwasser tritt aus



Abbildung 11 - Treber

Die Würze wird gekocht

Die abgeläuterte Würze wird in die Würzepfanne umgefüllt, dort wird sie aufgekocht und Hopfen hinzugegeben, siehe Abbildung 12 und Abbildung 13.



Abbildung 12 - Hopfengabe



Abbildung 13 - Würze kocht

Beim Kochen werden die Enzyme inaktiviert und es findet die Isomerisierung der Hopfenbitterstoffe (α -Säure) statt. Der Hopfen ist an sich nicht bitter. Die α -Säuren sind die wichtigsten Bitterstoffe im Hopfen. Durch Energiezufuhr werden sie beim Würzekochen in Isomere umgewandelt (iso- α -Säuren). Die sind wasserlöslich und haben einen hohen Bitterwert, durch das Kochen werden sie löslich und verleihen dem Bier die bittere Note. Eine bessere Isomerisierung wird durch eine längere Kochzeit oder eine frühere Hopfengabe erlangt. Während des Würzekochens findet die Ausdampfung unedler Aromastoffe statt, die für den Geruch beim Brauen verantwortlich ist. Außerdem wird die Würze währenddessen sterilisiert. Durch das Verdampfen von Wasser wird der Extraktgehalt bestimmt und auf den gewünschten pH-Wert gesenkt. Dies ist notwendig, um ideale Bedingungen für die Hefe zu schaffen.



Abbildung 14 - Würze wird gespindelt

Beim Kochen wird ein wenig Würze in einen Messzylinder gegeben und dann mittels einer Spindel die Dichte bestimmt, also der Zuckergehalt und damit die Stammwürze. Die Spindel ist auf 20 °C geeicht und hat in der Regel ein integriertes Thermometer, das anzeigt, was man dem Wert der Dichte hinzurechnen muss, um dann auf den richtigen °Plato zu kommen. Dadurch wird bestimmt, wie viel Wasser hinzugefügt werden oder ob die Würze länger kochen muss.



Abbildung 15 - durch kräftiges Umrühren wird die Würze in Rotation gebracht



Abbildung 16 - die Würze rotiert

Als nächstes wird die Würze in den Whirlpool geleitet. Beim Hobbybrauen ist dies kein extra Gefäß und wird von Hand gemacht, siehe Abbildung 15 und Abbildung 16. Hierbei wird die Würze in Rotation versetzt. Dabei sammeln sich die Trubstoffe (Heißtrub) in der Mitte des Behälterbodens in einer Art Kegel, siehe Abbildung 17 und Abbildung 18. So kann nun die klare Würze in einen Gärbottich geleitet werden.



Abbildung 17 - durch den Whirlpool sammeln sich Feststoffe in der Mitte



Abbildung 18 - klare Würze kann am Rand abgesogen werden

Das Abkühlen der Würze

Mittels des Würzekühlers kann die Würze nun abgekühlt werden. Hierfür wird beim Hobbybrauen kaltes Wasser in die Kühlspirale eingeschossen, siehe Abbildung 19 und Abbildung 20. Während es durch die Spirale läuft, wird Wärme von der Würze abgegeben, sodass sich das Wasser erwärmt und die Würze kühler wird. Ein anderes Beispiel für einen Würzekühler ist der Plattenkühler, bei dem kaltes Wasser gegen heiße Würze durch verschiedene Platten läuft. Das daraus gewonnene heiße Wasser wird dann zum Reinigen oder zum Einmaischen wieder genutzt, was sehr energieeffizient ist.



Abbildung 19 - Würze wird abgekühlt



Abbildung 20 - Kühlspirale (links kaltes Wasser aus dem Hahn, rechts erwärmtes Wasser)

Ist die Temperatur nun für die entsprechende Hefe passend, so kann sie nun hinzugegeben werden. Während des kompletten Bierbrauprozesses ist Sauerstoff unerwünscht außer jetzt. Die Würze wird belüftet und die Hefe hinzugegeben, siehe Abbildung 21 und Abbildung 22. Dies ist notwendig, da die Hefe Sauerstoff zum Reproduzieren braucht. Bei der Reproduktion verarbeiten die frischen aktiven Hefezellen den Sauerstoff, wodurch der Sauerstoffgehalt sinkt. Sobald kein Sauerstoff mehr vorhanden ist, produziert die Hefe Alkohol,

Kohlensäure und Energie. Dadurch steigt die Wärme der Würze an. Während der Gärung wird Malzzucker von der Hefe in Alkohol umgewandelt.



Abbildung 21 - Hefe wird in die Würze gegeben Abbildung 22 - Sauerstoff wird mittels einer Suppenkelle hinzugefügt

Beim industriellen Brauen wird bis zu einem bestimmten Zeitpunkt vergoren. Ab diesem wird geschlaucht, also das Bier umgepumpt und der Tank zugemacht, so dass der Druck steigt und sich die Kohlensäure am Bier bindet. Nach der Hauptgärung wird das Bier zügig von der Hefe genommen, um eine Autolyse, also die Selbstverstoffwechselung von Hefe, zu vermeiden. Darunter können sonst der Bierschaum, sowie der Geschmack leiden.

Im Gegensatz dazu wird beim Hobbybrauen die komplette Gärung vollzogen. Dabei wird die Kohlensäure durch die Zuckergabe durch beispielsweise Malzbier, Zucker oder Würze im Nachhinein bestimmt. Die Nachgärung wird hierbei künstlich in die Länge gezogen.



Abbildung 23 - im Gärbottich gärt das Bier

Die Gärung

Die Gärung des Bieres hängt davon ab, ob es unter- oder obergäriges Bier ist. Bei untergärigem Bier, wie beispielsweise Pils, dauert sie 7 bis 12 Tage, je nach Gärtemperatur. Beim Hobbybrauen richtet sich die Gärtemperatur meist nach der Außentemperatur, wohingegen eine industrielle Brauerei über einen Gärkeller mit korrekter Temperatur verfügt. Das obergärige Bier, wie Weizen, braucht 4 bis 5 Tage für die Gärung. Nach der Gärung findet die Lagerung des Bieres statt. Diese kann in Flaschen, siehe Abbildung 24, im Fass oder im Tank geschehen und dauert circa 4 Wochen unabhängig der Biersorte.



Abbildung 24 - Bier wird nach der Gärung in Flaschen gefüllt, um sie darin 4 Wochen zu lagern

In der industriellen Brauerei wird das Bier dann filtriert. Dabei wird dem Bier die Hefe und andere Trubstoffe entzogen, damit ein klares und haltbares Bier entsteht. Vor der Filtration wird das Bier unter einem Druck von etwa 7 bar CO_2 homogenisiert. So verteilt sich die restliche Hefe und ein homogenes Bier-Hefe-Gemisch wird dann der Filtration zugeführt. Nach der Filtration wird das Bier in den Drucktank gegeben und ist bereit zur Abfüllung.

Die Abfüllung

Die Abfüllung in der Brauerei funktioniert so, dass das Bier aus dem Drucktank über eine Kurzzeiterhitzung (KZE) für die Verlängerung der Haltbarkeit, in die mit Kohlensäure vorgespannte Flasche geleitet wird. Die Flasche hat zu dem Zeitpunkt den gleichen Druck wie der Drucktank, sodass ein Übersäumen beim Abfüllen des Bieres vermieden wird. Mittels einer Hochdruckeinspritzung (HDE) wird ein kleiner Wasserstrahl mit hohem Druck in das Bier in der Flasche geschossen, um ein Übersäumen zu erzwingen und somit Sauerstoff im Flaschenhals zu verdrängen. Anschließend wird die Flasche mit einem Kronkorken verschlossen, um Oxidation zu vermeiden. Das Bier ist nun Verzehr bereit.

2.2.2. Bier als Kulturgut der Deutschen

Wie bereits zu Beginn in Kapitel 2.2 erwähnt, ist Deutschland ein „Biertrinkerland“ (Nathusius, o. J.). Als Stereotyp der Deutschen wird das klassische Bild eines Mannes in Lederhose, einer Frau im Dirndl, mit Weißwurst oder Sauerkraut und vor allem mit Bier gezeichnet. Doch inwiefern lässt sich Bier als deutsches Kulturgut bezeichnen?

Bier beziehungsweise das Brauen von Bier gehört zu langer deutscher Tradition. Im Jahr 2020 hat die UNESCO-Weltkulturerbe-Kommission das handwerkliche Bierbrauen zum immateriellen Kulturerbe ernannt (*Handwerkliches Bierbrauen*, o. J.). Auch die Zeitschrift *Stern* beschäftigte sich im Oktober 2025 mit der Frage, warum Bier zum Kulturerbe der Deutschen gehört und brachte einen Artikel heraus, der zu dieser Frage sieben Gründe lieferte. Schaut man sich die Gründe genauer an, so zeigt sich, die Relevanz des Bieres für die Deutschen. Dazugehört, dass Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern die höchste Brauereidichte und die günstigsten Bierpreise hat. Außerdem entwickelt sich die Craft-Szene weiter, die zwar in den USA schon länger und weiter verbreitet ist, jedoch zeigt dies die Vielfältigkeit der deutschen Biersorten. Dabei haben deutsche Braumeister ebenfalls einen großen Einfluss auf andere Länder und prägen dort die Bierkultur. Innerhalb Deutschlands wird auch die Politik durch Bier beeinflusst. Die letzten zwei Gründe sind die Prägung der deutschen Sprache und das Bestehen etlicher Lieder über Bier, auf die im Weiteren nochmal genauer Bezug genommen wird (Heidböhrer, 2025). Für Kinder und Jugendliche stellen diese beiden Gründe ebenfalls einen Lebensweltbezug dar. Zum einen sind in der deutschen Sprache mittlerweile etliche Sprichwörter in Bezug auf Bier integriert. Beispiele hierfür sind: „Da ist Hopfen und Malz verloren“, „Das ist nicht mein Bier“ (Das geht mich nichts an), aber auch Begriffe wie: Bierbauch, Bierlaune, Bierernst, um nur ein paar der Begriffe, die gar im Duden vermerkt sind, zu nennen. Des Weiteren lautet ein Zitat aus dem bekannten Märchen Rumpelstilzchen „heute back‘ ich, morgen brau‘ ich, übermorgen hol‘ ich der Königin ihr Kind; ach, wie gut ist [dass] niemand weiß [dass] ich Rumpelstilzchen heiß‘!“ (zitiert nach Nolte, 2019). Interessanterweise könnte dieses Zitat den Brauprozess verbunden mit dem Backen in früheren Zeiten widerspiegeln. Jedoch lassen sich keine Hinweise finden, dass die Brüder

Grimm bewusst auf den historischen Brauverlauf Bezug nehmen wollten (Nolte, 2019).

Ein weiterer Aspekt, der an Kindern und Jugendlichen nicht vorübergeht, ist große Auswahl an Liedern über Bier. Gibt man den Begriff Bier in einer Musik-Streaming-App, hier *Spotify*, ein, so erhält man eine große Übersicht an Liedern, siehe Abbildung 25.

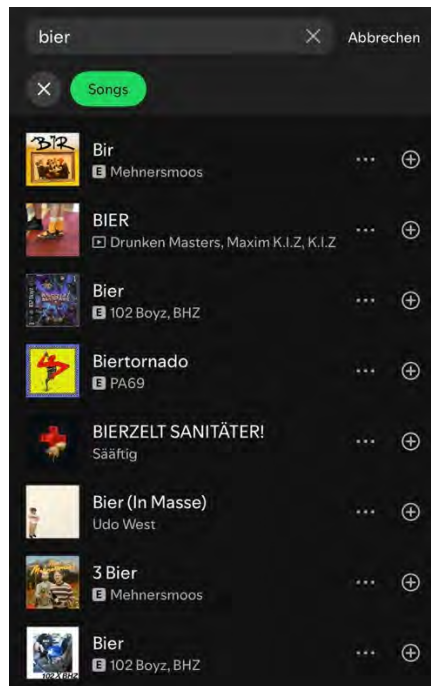


Abbildung 25 - Screenshot "Bier"-Lieder auf Spotify

Beachtet man dann die Streamingzahlen, wenn man bei den Künstlern auf die Spotifyseite schaut, so zeigt sich, dass Mehnersmoos mit Bir 12,5 Millionen, K.I.Z. mit BIER 38,8 Millionen und PA69 mit Biertornado 19,5 Millionen Streams eine hohe Reichweite erzielen konnten. Würde man sich hier nun auch die umgangssprachlich genannten „Ballermann-Hits“ anschauen, so würde sich eine weitgrößere Menge an Liedern mit großer Reichweite zeigen.

Die Betrachtung dieser Aspekte zeigt, dass Bier nicht nur für Erwachsene in Deutschland einen alltäglichen Kontext sowie eine Art Kulturgut der Deutschen darstellt, sondern auch Kinder und Jugendliche früh mit diesem Getränk konfrontiert werden.

2.3. Potenzial Genuss-/ Lebensmittel als Kontext

2.3.1. Chancen & Grenzen

Schon lange bekannt, ist der Abwärtstrend des Interesses von Schülerinnen und Schülern am Physikunterricht im Laufe der Sekundarstufe 1 (Welberg et al., 2021). Inwiefern Genuss- und Lebensmittel die Chance haben als Kontext dieses Interesse zu steigern und wo die Grenzen des Kontextes sind, werden hier aufgezeigt.

Die Forschung unterscheidet das situative und das persönliche Interesse (Hoy & Usher, 2025). Das situative Interesse wird in einer Situation durch Neugier erzeugt. Wenn es dann aufrecht erhalten wird, bildet sich mit der Zeit persönliches Interesse (Hoy & Usher, 2025). Wie sich Interesse entwickelt, wird im Vier-Phasen-Modell erklärt. Die Vier-Phasen werden in je zwei Phasen für das situative und das individuelle Interesse aufgeteilt (Krey et al., 2025). Die erste Phase beschreibt das Auslösen des situativen Interesses. In der zweiten Phase wird dieses aufrechterhalten. Dadurch entwickelt sich in der dritten Phase ein individuelles Interesse, welches in der vierten Phase zu einem gut entwickelten stabilen Interesse wird (Krey et al., 2025). Vor allem Emotionen, Spaß und Neugier prägen das situative Interesse (Hoy & Schönpflug, 2014). Durch das Befriedigen der Neugier werden positive Gefühle ausgeschüttet und das Interesse gesteigert. Durch den, dadurch erreichten Wissenszuwachs wird die Neugier größer und weitere positive Gefühle ausgeschüttet (Hoy & Schönpflug, 2014). Die Aufgabe der Lehrkraft ist daher nicht nur das situative Interesse zu wecken, sondern dieses aufrecht zu erhalten und in persönliches Interesse umzuwandeln. Dabei zeigt sich, dass vor allem das aktive Mitexperimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie lebensnahe Aufgaben das Interesse der Lernenden nicht nur anregt, sondern dieses auch aufrechterhalten wird. Auch kulturelle Inhalte zeigen eine große Relevanz für Schülerinnen und Schüler, denn sie projizieren diese auf ihr eigenes Leben (Hoy & Schönpflug, 2014).

Jedoch ist im naturwissenschaftlichen Unterricht die Motivation ebenfalls wichtig (Krey et al., 2025). Um intrinsische Motivation entwickeln sowie situatives und individuelles Interesse aufrechterhalten zu können, müssen

psychologische Grundbedürfnisse erfüllt sein. Diese sind das Erleben von Autonomie, Kompetenz und soziale Eingebundenheit (Krey et al., 2025).

Durch eine Verknüpfung fachlicher Inhalte mit persönlichen oder gesellschaftlichen Aspekten wird das situative Interesse gefördert (Krey et al., 2025). In diesem Zusammenhang konnte außerdem gezeigt werden, dass Kontextorientierung im Unterricht positive Ergebnisse ermöglicht (Krey et al., 2025).

Jedoch gibt es bis heute keine Studien über Genuss- beziehungsweise Lebensmittel als Kontext. Des Weiteren darf nicht unbeachtet bleiben, dass Alkohol für viele ein sensibles Thema darstellen kann. Durch Alkoholabhängigkeit in der Familie können Kinder bei dem Thema getriggert werden. Im Jahresbericht des Bundesgesundheitsministeriums aus dem Jahr 2020 wird aufgezeigt, dass in etwa 2,65 Millionen Kinder in Deutschland alkoholranke Eltern zuhause haben (*DSB_Jahresbericht_2020_bf*, o. J.). Das macht den größten Teil der 3 Millionen Kinder aus. Besonders Kinder von suchtkranken Eltern sind außerdem gefährdet selbst süchtig zu werden. Ungefähr jedes Dritte von ihnen wird eine Suchterkrankung, ein weiteres Drittel wird eine psychische Erkrankung erleiden. Somit ist für zweidrittel der Kinder suchtkranker Eltern ein gesundheitliches Risiko in ihrem späteren Leben absehbar. Jedoch ist diese Entwicklung insbesondere durch ein aufmerksames Umfeld und Aufklärung eindämmbar (*DSB_Jahresbericht_2020_bf*, o. J.). Für Jugendliche gehört der Konsum und der Umgang mit Alkohol teilweise zum Erwachsen werden dazu, sie wollen auf Partys gehen und nicht hören welche Gefahren der Konsum birgt. Jedoch können sowohl gesundheitliche als auch soziale Beeinträchtigungen folgen. Umso wichtiger ist daher ein sensibler Umgang mit dem Thema, auf den im nächsten Kapitel genauer eingegangen wird.

2.3.2. Umgang mit sensiblen Inhalten

Die Suchtprävention bei Kindern und Jugendlichen ist in Deutschland neben dem Elternhaus auch Aufgabe der Schule. Das Land Hessen, um ein Beispiel zu nennen, fordert ein Präventionskonzept jeder Schule, welches stetig evaluiert und überarbeitet wird (Hessisches Kultusministerium, 2023). Dieser Präventionsauftrag ist unabhängig von Lehrkraft, Fach und Jahrgangsstufe.

Empfohlen wird eine Thematisierung des Konsums von Alkohol ab Jahrgang 8. Hier können verschiedene Programme und Unterrichtsmaterialien verwendet werden, um die Jugendlichen zu sensibilisieren.

Ab einem Alter von 16 Jahren dürfen Jugendliche in Deutschland Sekt, Wein und Bier kaufen sowie trinken (*Jugendschutzgesetz Alkohol*, o. J.). Sind sie zwischen 14 und 15 Jahren alt, dürfen sie diese in Anwesenheit eines Erziehungsberechtigten in der Öffentlichkeit konsumieren, das sogenannte „begleitete Trinken“ (*Jugendschutzgesetz Alkohol*, o. J.). Damit zeigt das Jugendschutzgesetz, dass dem Alkohol im Alltag der Kinder und Jugendlichen eine hohe Relevanz zuzuschreiben ist und die Prävention des Konsums eine zentrale Aufgabe in der Erziehung darstellt. Eine Studie zeigt, dass im Jahr 2023 mehr als 60 % der Jugendlichen im Alter zwischen 12 und 17 Jahren schon einmal Alkohol getrunken haben (*BIÖG: Neue BZgA-Daten zum Alkoholkonsum 12- bis 25-Jähriger: Rauschtrinken bei Jugendlichen steigt auf Vor-Corona-Niveau*, o. J.). Dies betrifft also über die Hälfte der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe 1.

Die Prävention muss jedoch nicht erst bei Jugendlichen beginnen, die sowieso schon ihre ersten Erfahrungen mit dem Konsum von Alkohol machen. Auch Kinder sollten frühzeitig über Risiken aufgeklärt werden, da auch sie schon früh in Kontakt mit Alkohol kommen. Als ein Beispiel ist hier das Malzbier zu nennen, welches umgangssprachlich auch als „Kinderbier“ bekannt ist. Überprüfbar ist diese Aussage, indem man lediglich den Suchbegriff „Kinderbier“ bei einer Suchmaschine im Internet eingibt, so gelangt man sofort bei Malzbier oder Braurezepten für Kinderbier. Damit wird die Relevanz des Bieres für Kinder in Deutschland gezeigt. Durch das Mitfeiern von Kindern mit Kinderbier möchten Eltern oft den Kindern ein Zugehörigkeitsgefühl vermitteln, jedoch wird dabei außer Acht gelassen, dass sie so ihre Kinder an den Geschmack gewöhnen (Schnellbach & Gehrke, 2024). Weitere diverse Beispiele für den frühen Kontakt von Kindern mit dem Thema Alkohol zeigen sich in der Öffentlichkeit, bei Festen im Dorf, in der Werbung im Fernsehen, auf Werbetafeln und in den sozialen Medien, überall wird Alkohol beworben und somit der Alkoholkonsum für Kinder und Jugendliche verharmlost. Schwierig dabei ist vor allem, dass die Gefahren des Alkohols nicht genannt werden. Mittlerweile hat sich Alkohol in der Gesellschaft so weit integriert, dass er gerne

auch als akzeptierte, legale Droge bezeichnet wird (*Volksdroge Alkohol*, o. J.). Vor allem in der Debatte um die Cannabis-Legalisierung wurden Vergleiche zwischen den beiden Drogen gezogen. Dabei haben vor allem Vertreterinnen und Vertreter der Legalisierung auf den gesellschaftlich akzeptierten Überkonsum von Alkohol hingewiesen (*Volksdroge Alkohol*, o. J.).

Die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) konnte im Jahr 2023 in ihrer Statistik aufzeigen, dass im Vergleich zu den letzten 20 Jahren, der Alkoholkonsum der Jugendlichen und jungen Erwachsenen zurückgegangen ist und seit einiger Zeit stagniert (*BIÖG: Neue BZgA-Daten zum Alkoholkonsum 12- bis 25-Jähriger: Rauschtrinken bei Jugendlichen steigt auf Vor-Corona-Niveau*, o. J.). Das Rauschtrinken, also das Trinken von mindestens 60g Alkohol an einem Tag im Monat, steigt jedoch bei Jugendlichen wieder auf vor Corona-Niveau. Der verantwortungslose Alkoholkonsum kann bis zur Alkoholvergiftung führen und bei mehrfachem Konsum organische Schäden verursachen und eine Alkoholabhängigkeit fördern. Im Jahr 2021 wiesen ein Fünftel der Deutschen einen riskanten Konsum von Alkohol auf (*Wann wird Alkoholkonsum problematisch?*, o. J.).

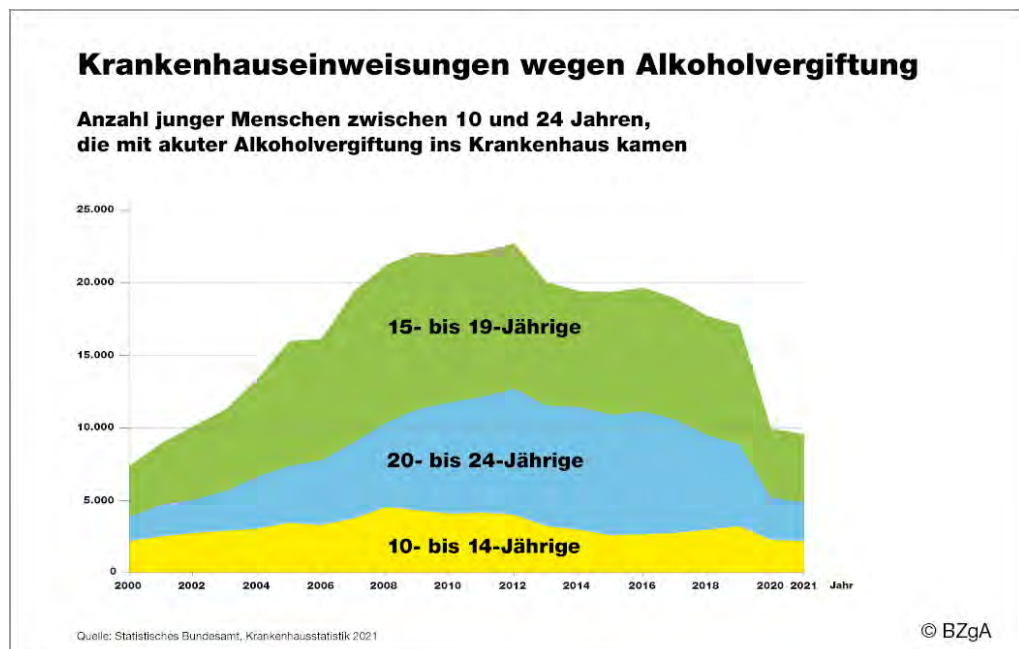


Abbildung 26 - Krankenhauseinweisungen wegen Alkoholvergiftung (Kenn dein Limit, 2023)

In Abbildung 26 wird deutlich, dass vor allem Jugendliche im Alter zwischen 15 und 19 Jahren in den letzten Jahrzehnten aufgrund einer Alkoholvergiftung ins Krankenhaus eingeliefert wurden (*Alkoholvergiftungen*, o. J.). Die Anzahl

der 10- bis 14-Jährigen, die wegen ihres massiven Alkoholkonsums eingeliefert wurden, ist zwar viel geringer, jedoch in Anbetracht des Alters sehr hoch. Das zeigt, dass die beiden Altersgruppen, die vor allem in der Sekundarstufe 1 vertreten sind, mehr Präventionsmaßnahmen benötigen.

3. Bier im Physikunterricht

3.1. Warum?

Im vorherigen Kapitel 2.3.2. wurden die Gefahren des Alkoholkonsums, sowie dessen Präsenz im Leben der Kinder und Jugendlichen kritisch betrachtet. Dennoch beschäftigt sich diese Examensarbeit mit dem Thema „Bier als Kontext – Beiträge zum kontextorientierten Physikunterricht in der Sekundarstufe 1“. Da stellt sich die Frage – Warum sollte Bier im Physikunterricht als Kontext herangezogen werden?

Wie in 2.3.1 aufgezeigt, ist vor allem das situative Interesse der Schülerinnen und Schüler für Lehrkräfte relevant, um das Interesse für einen Lehrinhalt zu wecken und beizubehalten. Spaß, Emotionen und Neugier sollen bei den Lernenden geweckt werden und dafür bieten sich kulturelle Kontexte, sowie beeindruckende Experimente. Welche Relevanz Bier für die Deutschen hat, wurde im Kapitel 2.2.2 aufgezeigt. Vor allem im ländlichen Bereich werden traditionelle Feiern wie beispielsweise Kirchweihen, Sonnenwendfeuer oder Herbstfeste, wie Oktoberfeste, oft mit dem Zusammenkommen der Nachbarschaft und dem Griff zum Alkohol verbunden. Je nach Klassenstufe kann sich das Thema Alkoholkonsum bei den Schülerinnen und Schülern als alltäglicher Kontext oder besonderer Kontext erweisen. Auch wenn die Kinder und Jugendlichen noch keine persönliche Berührung damit gemacht haben, findet der Konsum in ihrem familiären Umfeld mit großer Wahrscheinlichkeit statt. Auch durch Werbekampagnen ist ihnen bewusst, was Alkohol ist. Es wird oft dabei mit dem Erwachsen werden verbunden und hat somit einen gewissen Reiz. Dabei sollte vor allem im Vordergrund stehen einen verantwortungsbewussten Konsum zu etablieren und ein Vorbild für Kinder und Jugendliche darzustellen. Dabei orientieren sich Kinder und Jugendliche hauptsächlich an Erwachsenen, die sie kennen (*Jugendliche und Alkohol* |Maßvoll genießen, o. J.).

Der hohe Stellenwert des Alkoholkonsums in unserer Gesellschaft wird nicht nur durch die Statistiken zur Alkoholabhängigkeit sichtbar, sondern er wird noch prägnanter schaut man sich den Umgang mit Menschen an, die auf Alkohol verzichten. Beobachtbar ist hierbei, dass diese sich für ihren Verzicht rechtfertigen müssen und von ihrem sozialen Umfeld oft zum Konsum gedrängt werden (Rundfunk, o. J.). Für die Person, die nicht trinkt, wird das häufig zu einer unangenehmen Situation. In ihr breiten sich Gefühle wie Übergriffigkeit, Druck, fehlende Dazugehörigkeit und das Gefühl sich rechtfertigen zu müssen aus (Rundfunk, o. J.). In der Gesellschaft wird der Alkoholkonsum mit Spaß und Leichtigkeit verbunden. Er gehört zum Feiern dazu, weswegen Menschen, die nicht mittrinken, als prüde und Spaßbremsen angesehen werden. Vor allem die Selbsteinschätzung im Konsumverhalten mit Alkohol fällt vielen Menschen der heutigen Gesellschaft schwer (Biringer, 2022). Wenn diese durch Verzichtende aufgezeigt bekommen, dass sie keinen Alkohol benötigen, fühlen sie sich angegriffen und wollen von sich ablenken. Für sie entspricht ihr Alkoholkonsum dem Verhalten der Norm der Gesellschaft wohingegen die Verzichtenden aus dem System fallen (Biringer, 2022).

Bier als Kontext soll jedoch nicht beziehungsweise nicht ausschließlich den vernünftigen Umgang mit Alkohol und den Respekt gegenüber Menschen, die nicht trinken möchten, lehren. Das Thema Bier kann das Interesse von Schülerinnen und Schülern im Unterricht steigern. Durch eine Tabuisierung des Themas im Unterricht wird der Konsum von Alkohol nicht weniger alltagsrelevant für Jugendliche. Des Weiteren stellt Bier einen komplett neuen Kontext dar, den die Lernenden auf diese Art und Weise noch nicht im Unterricht behandelt haben. So versucht diese Examensarbeit einen Weg aufzuzeigen, wie man im Physikunterricht das Thema Alkohol physikalisch aufgreifen kann. Im weiteren Verlauf werden diverse Beiträge vorgestellt, physikalisch erklärt und gezeigt, wie sie im Unterricht integriert werden können. Jedoch wird nicht weiter aufgezeigt, wie die Lehrkraft die Lerngruppe über Alkoholkonsum aufklären sollte. Sobald sich eine Lehrkraft dazu entscheidet, diesen Kontext zu wählen, sollte ihr bewusst sein, dass dazu auch der sensible Umgang mit dem Thema einhergeht und an Vernunft zu appellieren ist. Wie genau sich diese Prävention gestalten lässt, ist individuell von der Lerngruppe abhängig zu machen, wodurch hier eine allgemeingültige Lösung nicht gegeben werden kann. Jedoch ist es

möglich im Physikunterricht die universelle Prävention, also das Thematisieren für alle Schülerinnen und Schüler beispielsweise einer Klasse, durchzuführen (Hessisches Kultusministerium, 2023). Durch das Angebot eines interessanten Kontextes kann die Lehrkraft mit den Schülerinnen und Schülern ins Gespräch über den Alkoholkonsum, sowie dessen Gefahren kommen. Dabei wird bei Experimenten das Hauptaugenmerk jedoch weiterhin auf das Experiment selbst gerichtet, wodurch für die Jugendlichen eine neue Betrachtung des Konsums gefördert wird. Statt nur zu trinken, können so physikalische Aspekte untersucht und die Jugendlichen motiviert werden. Im Unterrichtsgespräch kann die Lehrkraft bewusst darauf aufbauen mehr Lebenskompetenz für Schülerinnen und Schüler zu schaffen, so dass diese einen besseren Umgang mit Stress und sozialem Druck erlernen (Hessisches Kultusministerium, 2023). Eine verantwortungsvolle Integration des Themas ermöglicht also reflektierte Gespräche mit Schülerinnen und Schülern.

Es zeigt sich, dass die Debatte um Alkohol im Unterricht als Kontext vielschichtig ist. Jedoch überwiegen die Argumente für den Kontext. Durch seine Besonderheit und dadurch, dass es ein wichtiges und sensibles Thema ist, ist es umso spannender dieses im Unterricht zu thematisieren.

4. Ausgewählte Beiträge

In diesem Kapitel wird eine zahlreiche Auswahl verschiedener Phänomene und Experimente in Bezug auf Bier und Physik präsentiert. Dabei werden zunächst die jeweiligen physikalischen Grundlagen erläutert. Im Anschluss daran wird ein möglicher Unterrichtsbeitrag vorgestellt.

4.1. Wenn Bier Kreise zieht – Eine Videoanalyse zur Untersuchung der Kreisbewegung am Beispiel eines rotierenden Bierkruges

4.1.1. Physikalische Grundlagen

Das erste Newtonsche Axiom besagt, dass ein kräftefreier Körper sich in Ruhe befindet oder geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit ausbreitet. Ändert der Körper seine Richtung, so muss es eine Kraft geben und somit auch eine Beschleunigung, die auf ihn wirkt und ihn von seiner geradlinigen Ausbreitung abbringt.

Bei einer Kreisbewegung ändert ein Körper stetig seine Richtung. Es muss daher eine radiale Kraft geben, die den Körper auf die Kreisbahn zwingt. Bewegt sich ein Körper auf einer Kreisbahn, so hat er eine Beschleunigung. Gäbe es diese Beschleunigung nicht, so würde der Körper sich aufgrund seiner Trägheit weiter auf einer geradlinigen Strecke bewegen, zumindest so lange bis er aufgrund von Reibung gestoppt werden würde. Eine Kreisbewegung zählt zu den beschleunigten Bewegungsformen. Die stetige Änderung der Geschwindigkeit, durch den Richtungswechsel, bedeutet Beschleunigung und wird durch eine Kraft bewirkt. Diese Beschleunigung heißt Zentripetalbeschleunigung und ist auf den Mittelpunkt der Kreisbahn gerichtet (Roth & Stahl, 2022). Mit Hilfe der Formel $a_{\text{Zentri}} = \frac{v^2}{r}$ wird deutlich, dass die Zentripetalbeschleunigung bei einer gleichförmigen Kreisbewegung proportional zum Quadrat der Bahngeschwindigkeit v ist und somit bei doppelter Geschwindigkeit viermal so groß wird. Außerdem nimmt sie bei größerem Radius, also Abstand des Objekts zum Kreismittelpunkt ab (Roth & Stahl, 2022).

Die Zentripetalkraft wirkt zum Drehzentrum. Sie ist jedoch keine eigenständige Kraft sowie die Gewichtskraft F_G , sondern eine oder mehrere Kräfte, die als Zentripetalkraft wirken (*Zentripetalkraft* | *LEIFIphysik*, o. J.). Die Gewichtskraft

wirkt, wie immer, nach unten zur Erdoberfläche. Dies passiert in jedem Punkt gleichermaßen. In Abbildung 27 ist eine vertikale Kreisbahn dargestellt. Die Kräfte, die am höchsten und am niedrigsten Punkt auf das Objekt wirken, wurden eingezeichnet. Die Gewichtskraft wirkt nach unten zur Erdoberfläche, die Normalkraft F_N zeigt mit der gesamten Kraft F_{ges} zum Drehzentrum. Die Gesamtkraft aus der Gewichtskraft und der Normalkraft stellt die Zentripetalkraft dar. Es gilt daher in jedem Punkt: $F_{ges} = F_G + F_N$. Im untersten Punkt ist eine große Normalkraft nötig, da die Gewichtskraft in die gegenüberliegende Richtung zeigt und somit negativ ist. Im oberen Punkt ist keine große Normalkraft nötig, sie könnte sogar Null betragen, da die Gewichtskraft zum Kreismittelpunkt zeigt. Ist die Gewichtskraft größer als die notwendige Zentripetalkraft, führt das zu einem kleineren Radius r . Die Gewichtskraft muss also an diesem Punkt kleiner oder gleich der nötigen Zentripetalkraft sein.

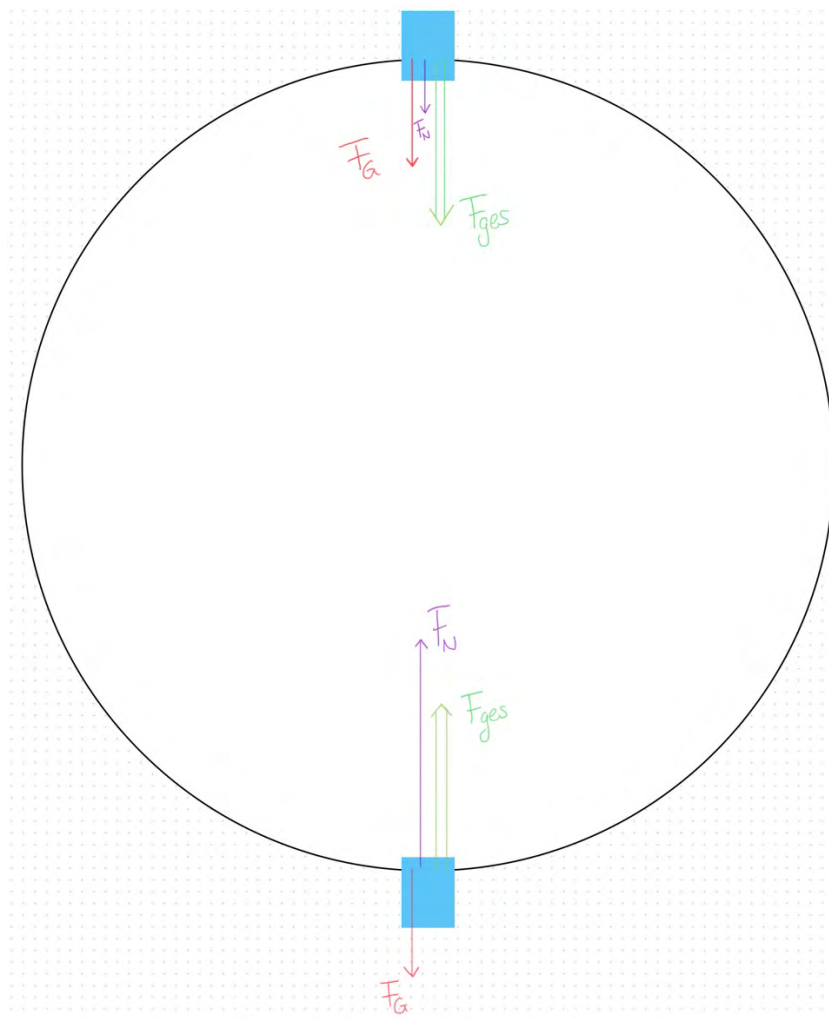


Abbildung 27 - Skizze Kräfteverteilung in der Kreisbewegung

In dem Versuch wird ein gefüllter Bierkrug von der Lehrkraft vertikal in einer Kreisbewegung über den Kopf bewegt, wie in der Abbildung 28 gezeigt. Die Bewegung startet in Position 1 und wird entsprechend der Nummerierung der Positionen durchgeführt. Da die folgenden Abbildungen aus der Beobachtersicht erstellt wurden, beziehen sich die Angaben der Seiten „rechts“ und „links“ stets auf die Perspektive des Beobachters und nicht auf die der ausführenden Person.

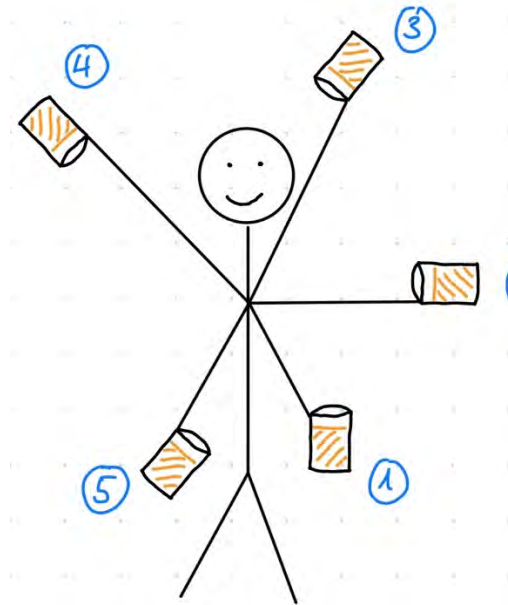


Abbildung 28 - Skizze Rotation Bierkrug

Schaut man sich in dem Versuch den Bierkrug als Gesamtobjekt an, so wirkt die Gewichtskraft des Krugs. Legt man das Hauptaugenmerk jedoch auf das Bier, welches sich im Krug befindet, so wirkt zusätzlich die Normalkraft F_N , welche von der Glaswand des Krugs auf das Bier wirkt und dafür sorgt, dass dieses sich mit dem Krug auf der Kreisbahn bewegt.

Damit die Lehrkraft sich nicht mit Bier übergießt, muss im oberen Umkehrpunkt die nötige Zentripetalkraft größer oder gleich der Gewichtskraft sein. Durch Gleichsetzen der Formeln kann nun ermittelt werden, wie groß die Geschwindigkeit des Bierkruges sein muss, damit die Zentripetalbeschleunigung größer oder gleich ist.

$$F_{\text{Zentri}} \geq F_{\text{Gewicht}}$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} \geq m \cdot g$$

$$v \geq \sqrt{g \cdot r}$$

Dieser Versuch ist auch als „kreisender Eimer“ oder „rotierender Eimer“ bekannt. Bei ihm wird anstelle eines mit Bier gefüllten Bierkrugs ein Eimer mit Wasser über den Kopf bewegt.

4.1.2. Vorgehensweise zur Erstellung der Videoanalyse

Mithilfe eines geeigneten Videoanalyseprogramms kann die Kreisbewegung aufgenommen und anschließend analysiert werden. Hier wurde das Programm *measure dynamics* genutzt. Um ein geeignetes Video aufnehmen zu können, müssen folgende Aspekte beachtet werden: Stabilität der Kamera oder des Smartphones durch ein Stativ, geeignete Kameraqualität, Belichtung des Objekts, Maßstab im Bild zur Analyse sowie ein neutraler Hintergrund. Im Programm selbst müssen einige Optionen eingestellt werden, wie eine sinnvolle Schrittweite, ein zeitlich und räumlich passender Analyserahmen und ein geeigneter Maßstab.

Sobald die Analyse automatisch vom Programm oder manuell vom Benutzer ausgeführt wurde, füllt sich die Tabelle mit Werten und es können Diagramme und graphische Darstellungen erstellt werden. Diese können so angepasst werden, dass man die Größen untersuchen kann, welche präsentiert werden sollen. Außerdem ist es möglich die Darstellungen als Bild abzuspeichern oder synchron zum Video laufend abspielen zu lassen. Dadurch ergeben sich eine Vielzahl an Möglichkeiten die Videoanalyse in den Unterricht zu integrieren, dazu in Kapitel *Didaktische Überlegungen* mehr.

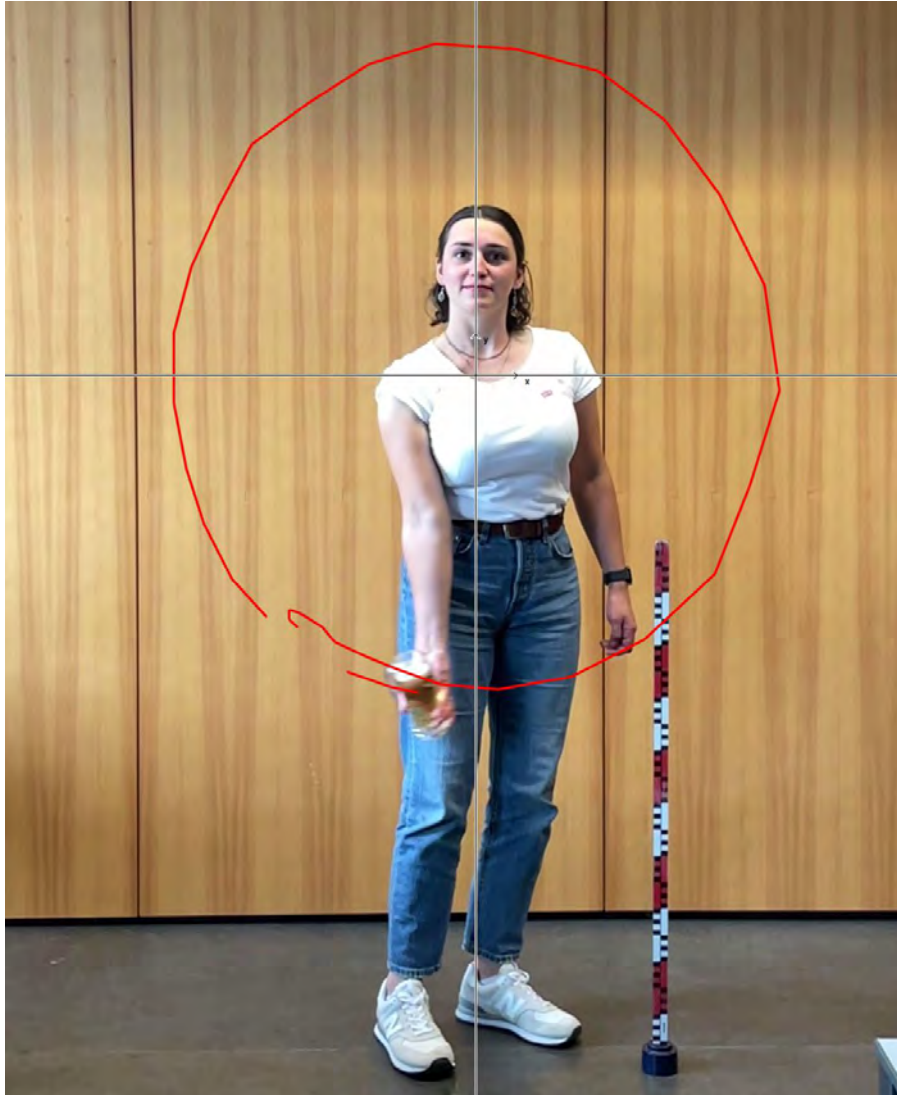


Abbildung 29 - Koordinatenursprung wählen

Wie in der Abbildung 29 gezeigt muss der Koordinatenursprung sinnvoll gewählt werden. Hier wurde zunächst ein willkürlicher Ursprung gewählt und die Analyse durchgeführt, daraufhin kann man sich die Bewegung als Linie darstellen lassen. Der Kreismittelpunkt wird als Koordinatenursprung gewählt.

Da es sich in dem hier gewählten Beispiel um eine Kreisbewegung handelt, reicht es in x - oder y -Richtung zu analysieren, da die Graphen lediglich phasenverschoben sind.

4.1.3. Beitrag zum Physikunterricht

Im Physikunterricht kann die Videoanalyse in verschiedenen Unterrichtsphasen und auf unterschiedliche Arten eingebracht werden (Wilhelm, 2023). In diesem Kapitel werden anhand des Beispiels der Rotationsbewegung mit einem Bierkrug verschiedene Darstellungsmöglichkeiten der Videoanalyse aufgezeigt.

Da im Video die Bewegung nicht sofort gestartet hat, wird nur die Zeitspanne von 4,5 s bis circa 11 s betrachtet, in der die Kreisbewegung stattfand.

Diagramme

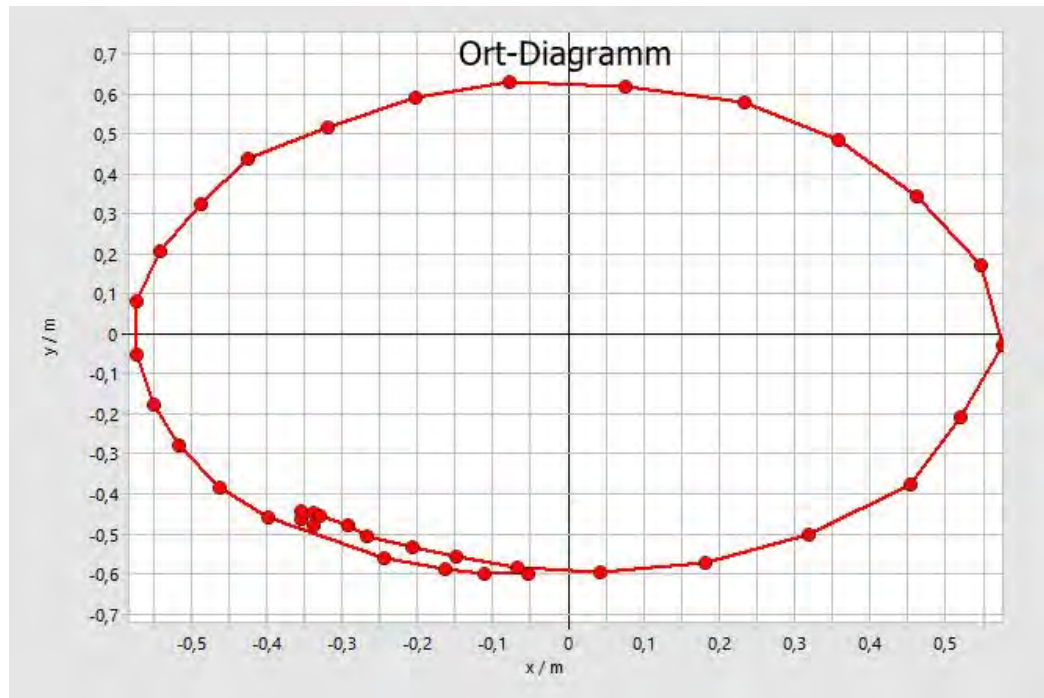


Abbildung 30 - Ortdiagramm (Bahnkurve)

Das Ortdiagramm in Abbildung 30 zeigt, wo sich der Krug in Bezug auf das festgelegte Koordinatensystem befindet. Es lässt keine Aussagen über Geschwindigkeit oder Zeit zu. Jedoch kann hier betrachtet werden, dass es sich um eine Kreisbewegung handelt, bei der der Radius ungefähr $r = 0,6 \text{ m}$ beträgt.

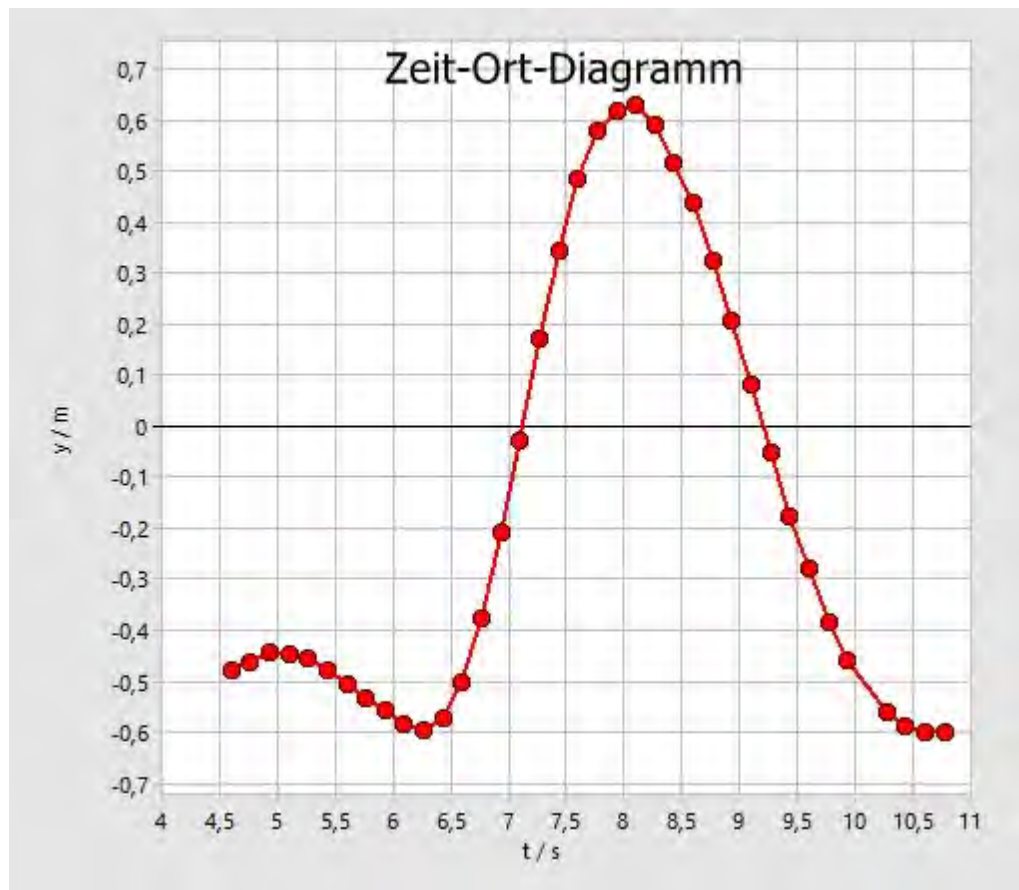


Abbildung 31 - Zeit-Ort-Diagramm

Die Abbildung 31 zeigt ein Zeit-Ort-Diagramm, bei dem auf der x -Achse die Zeit t in Sekunden s und auf der y -Achse der Ort y in Meter m aufgetragen ist. Zu erkennen ist, dass im Bereich von 4,5 s bis 6,25 s Schwung geholt wurde. Bei 6,25 s befindet sich der Bierkrug am tiefsten Punkt und von dort steigt er in die Höhe. An der ersten Schnittstelle mit der x -Achse befindet sich der Krug bei $y = 0$ m ist bei $t = 7,1$ s. Am Punkt $t = 8$ s ist der Krug genau über dem Kopf der Person, also am Wendepunkt, dann sinkt der Krug wieder, schneidet wieder die x -Achse bei $t = 9,25$ s und sinkt wieder auf die tiefste Höhe von $-0,6$ m bei $t = 10,5$ s. Es ist zu erkennen, dass der Krug zu Beginn eine geringe Geschwindigkeit hat, da viele Messpunkte nah beieinander liegen. Sobald der Krug nach oben bewegt wird, wird die Bewegung schneller, was man daran erkennt, dass die Messpunkte weiter auseinander liegen. Beim Umkehrpunkt wird der Krug wieder langsamer und sinkt dann langsamer ab als er hoch bewegt wurde. Außerdem kann man sehen, dass die Amplituden im positiven und negativen Bereich nahezu gleich groß sind.

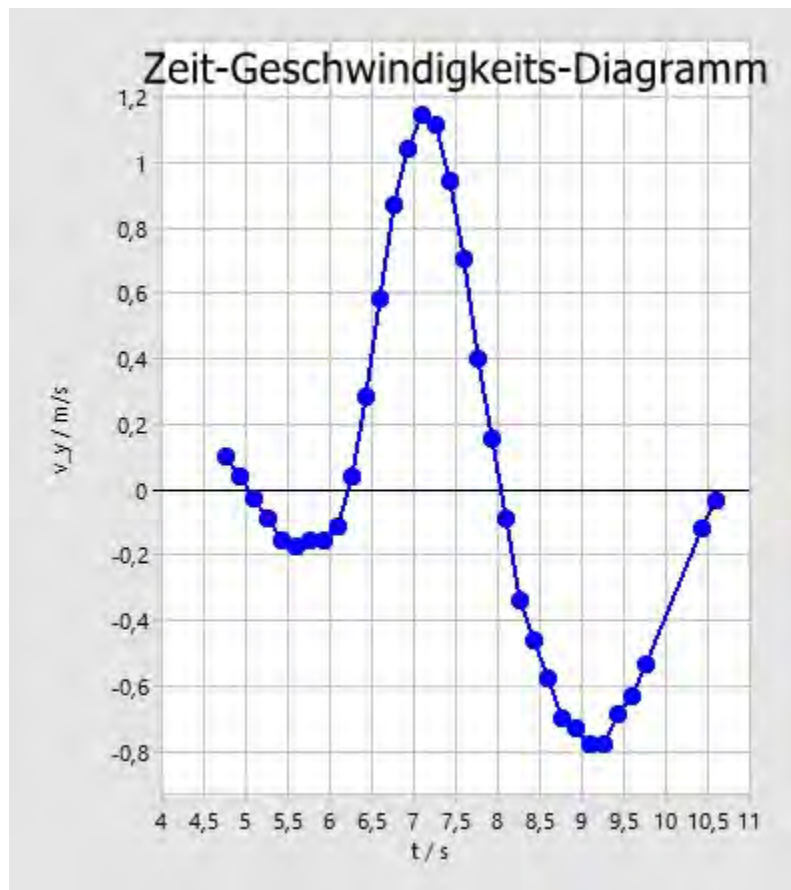


Abbildung 32 - Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm

Das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm zeigt, den Verlauf der Geschwindigkeit v_y in y -Richtung in Abhängigkeit von der Zeit. Auf der x -Achse ist die Zeit in Sekunden dargestellt, auf der y -Achse die Geschwindigkeit v_y in Meter pro Sekunde.

Zwischen $t = 4,7$ s und $t = 6$ s wird Schwung für die Bewegung geholt. Erkennbar ist dies, da die Geschwindigkeit zunächst in den negativen Bereich abnimmt. Zum Zeitpunkt $t = 6,25$ s befindet sich der Krug unterhalb des Kreismittelpunktes, da sich nun die Geschwindigkeit in positive v_y - Richtung weiterbewegt. Bei $t = 7,1$ s befindet sich der Krug ganz rechts, dort erreicht die Geschwindigkeit ihren Maximalwert $v_y = 1,18$ m/s. Danach sinkt die Geschwindigkeit bis sie bei $t = 8$ s das Vorzeichen ändert. Dort befindet sich der Krug genau über der Person und die Bewegung wird in negative y -Richtung fortgesetzt. Zwischen $t = 9$ s und $t = 10,5$ s wird der Krug von ganz links nach ganz unten bewegt und die Geschwindigkeit nimmt wieder zu. Das Diagramm zeigt einen typischen Geschwindigkeitsverlauf einer Kreisbewegung.

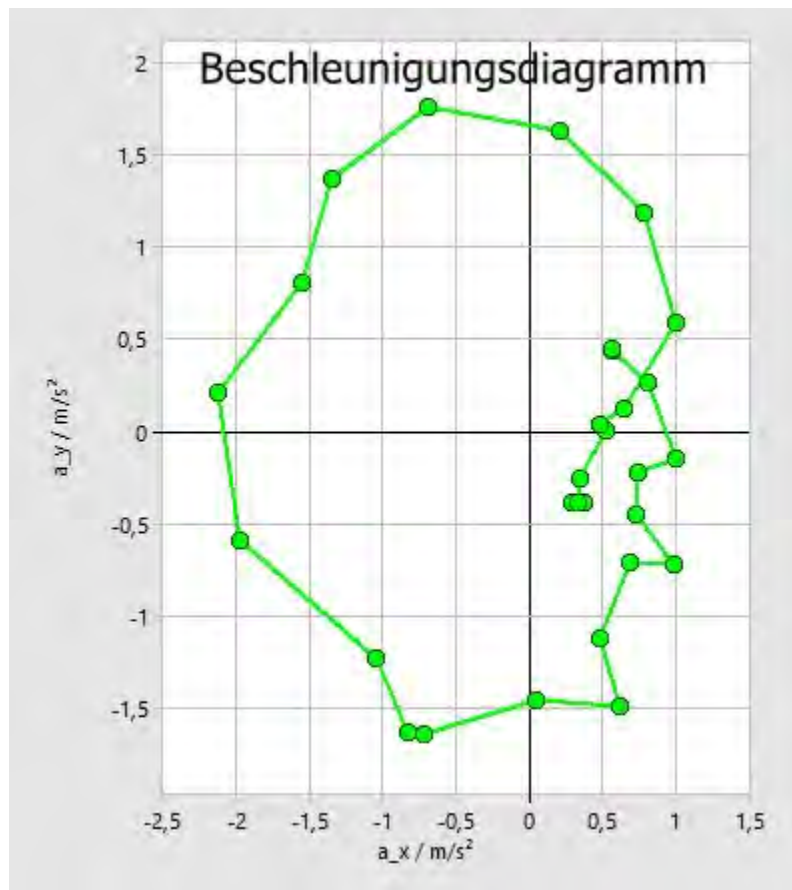


Abbildung 33 - Beschleunigungsdiagramm

Das Beschleunigungsdiagramm stellt die Beschleunigung des Kruges in x -Richtung a_x und in y -Richtung a_y in m/s^2 dar.

Der Startpunkt der Bewegung liegt bei $a_x = 0,4 \text{ m/s}^2$ und $a_y = -0,4 \text{ m/s}^2$. Von dort aus bewegt sich der Krug auf einer ovalen, fast kreisförmigen Bahn und ändert stetig seine Beschleunigung, was auf eine Kreisbewegung hindeutet. Wenn der Krug sich ganz rechts befindet, hat er die Beschleunigungen $a_x = -2,1 \text{ m/s}^2$ und $a_y = 0 \text{ m/s}^2$. Am höchsten Punkt hat er die Beschleunigungen $a_x = 0 \text{ m/s}^2$ und $a_y = -1,5 \text{ m/s}^2$, also nur eine Beschleunigung nach unten. Ganz links zeigen sich Beschleunigungen von $a_x = 0,9 \text{ m/s}^2$ und $a_y = 0 \text{ m/s}^2$, der Krug hat hier also nur eine seitliche Beschleunigung.

Erkennbar ist, dass die Bewegung mit einer geringen Beschleunigung beginnt. Die Messpunkte sind dort nah beieinander. Ein größerer Abstand der Punkte deutet auf eine höhere Beschleunigung in diesem Bereich hin. Die größte Beschleunigung erfährt der Krug während der Abwärtsbewegung, am Ausgangspunkt wird er wieder abgebremst.

Die Punkte bilden im Diagramm annähernd einen Kreis um den Ursprung, was auf eine nahezu konstante Beschleunigung deuten lässt. Die Richtung der Beschleunigung ändert sich kontinuierlich. Es wird daher in etwa eine gleichförmige Kreisbewegung dargestellt. Da sich die Zentripetalbeschleunigung aus den a_x - und a_y -Komponenten zusammensetzt, ergibt sich immer eine zum Kreismittelpunkt gerichtete Beschleunigung. Dies lässt sich gut an den vier markanten Punkten (rechts, oben, links, unten) erkennen. Bei den Punkten rechts und links gibt es nur eine seitliche Beschleunigung jedoch keine in y -Richtung. Bei den Punkten oben und unten ist es dementsprechend umgekehrt. Durch den Abstand jedes einzelnen Punktes zum Koordinatenursprung (Bezugssystem), wird der Betrag der Beschleunigung dargestellt. Um dies weiter zu thematisieren, könnten vom Ursprung ausgehend Pfeile zu den einzelnen Punkten gezeichnet werden und diese in ihrer Länge verglichen werden.

Eine größer gewählte Schrittweite führt zu einer glatteren Kurve der Messwerte.

Vektoren

Unter dem Reiter „Filter und Einblendungen“ ist es möglich sich Symbole, Linien, Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile einblenden zu lassen. Diese können synchron zum Abspielen des Videos angezeigt oder als Bild am Ende der Bewegung dargestellt werden.

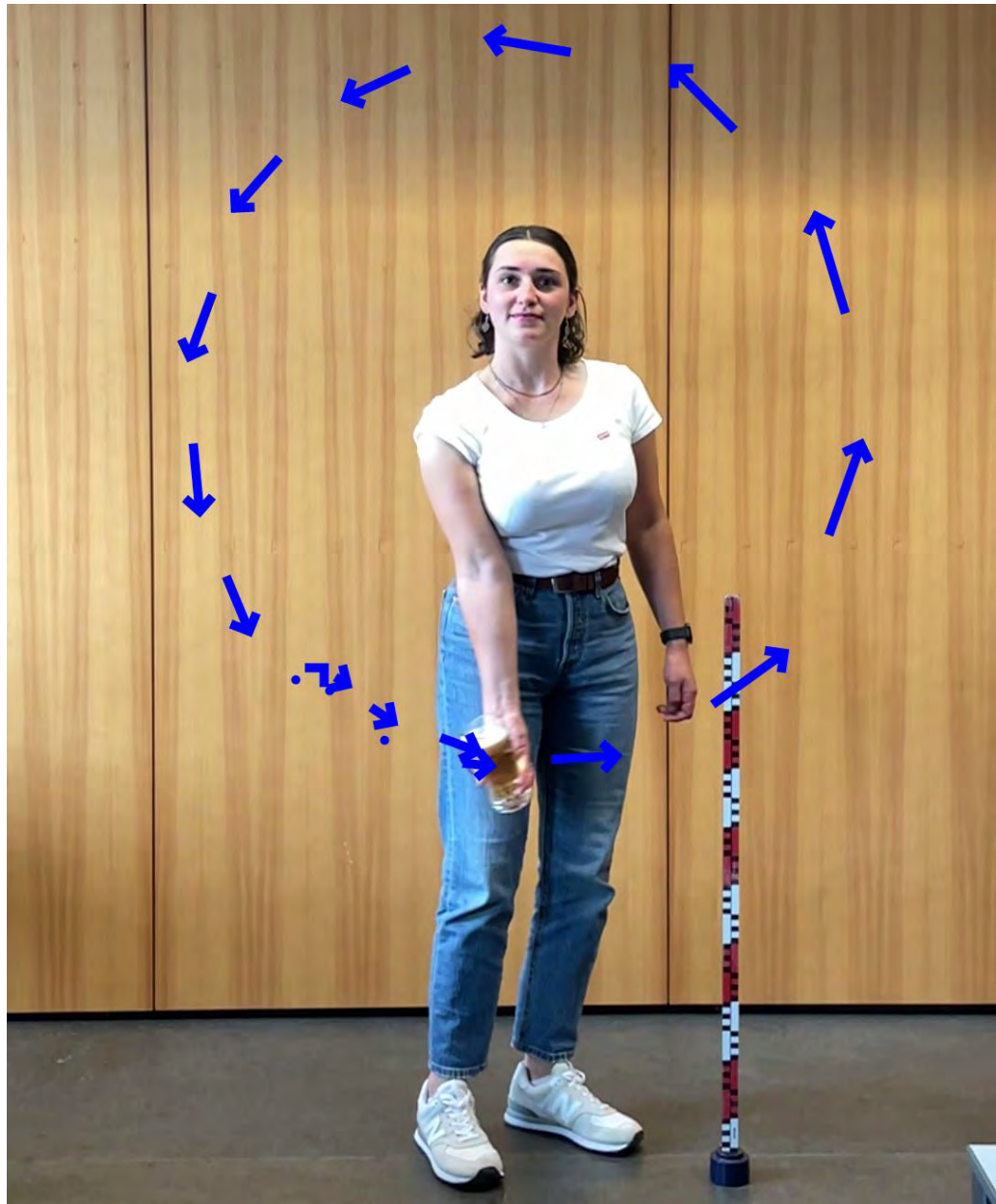


Abbildung 34 - Geschwindigkeitsvektoren

Die Abbildung 34 zeigt die Geschwindigkeitsvektoren an den einzelnen Punkten. Es wurde ausgewählt, dass nur jeder zweite Pfeil dargestellt werden soll, um eine übersichtlichere Darstellung zu erreichen. Außerdem wurden die Pfeile um einen Streckungsfaktor von 15 % gestreckt und breiter gemacht, damit sie deutlich erkennbar sind. Die Geschwindigkeitsvektoren sind tangential zur Kreisbahn ausgerichtet und stehen somit senkrecht zum Radius der Kreisbahn. Damit zeigt sich, dass die Geschwindigkeit ihre Richtung an jedem Ort ändert, wodurch die Kreisbahn gebildet wird.

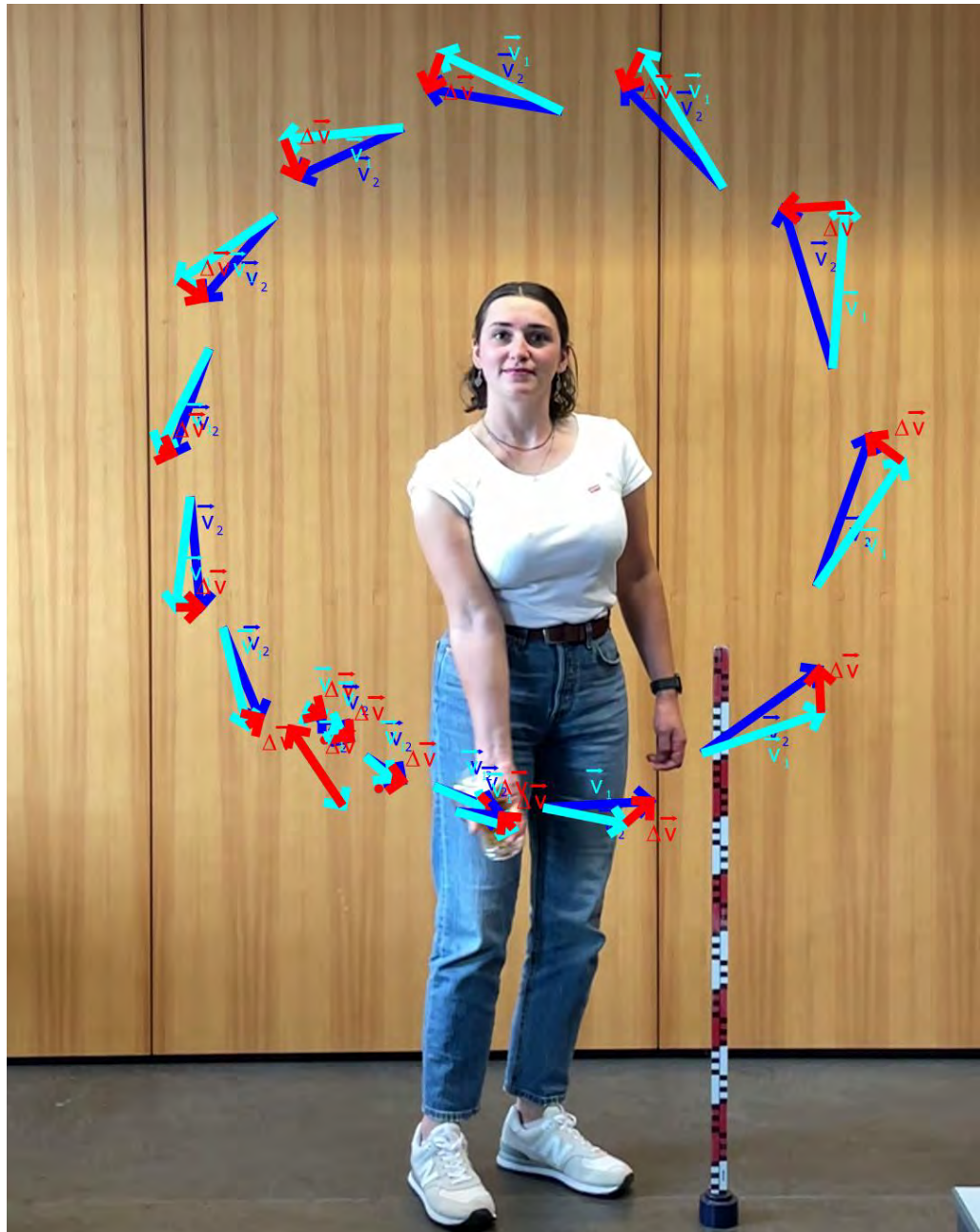


Abbildung 35 - Vektordarstellung Geschwindigkeitsänderung

Die Abbildung 35 zeigt die Geschwindigkeitsänderung in einem Zeitintervall als Vektordarstellung. Hierbei wird vor allem der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Beschleunigung, also der Geschwindigkeitsänderung pro Zeit, bei einer Kreisbahn deutlich gemacht. Die türkisenen Vektoren zeigen die vorherige Geschwindigkeit, die blauen die neue Geschwindigkeit und die roten die Differenz beider an. Die Differenz der alten und der neuen Geschwindigkeit zeigt die Richtung der Beschleunigung und somit stets in die Mitte des Kreises. In dieser Abbildung wird außerdem sichtbar, dass sich das Tempo nicht ändern muss, um eine Geschwindigkeitsänderung zu bewirken, denn die Vektoren für

die alte und die neue Geschwindigkeit haben fast durchgehend die gleiche Länge, also den gleichen Betrag, zeigen jedoch in unterschiedliche Richtungen, wodurch die Geschwindigkeitsänderung bewirkt wird.

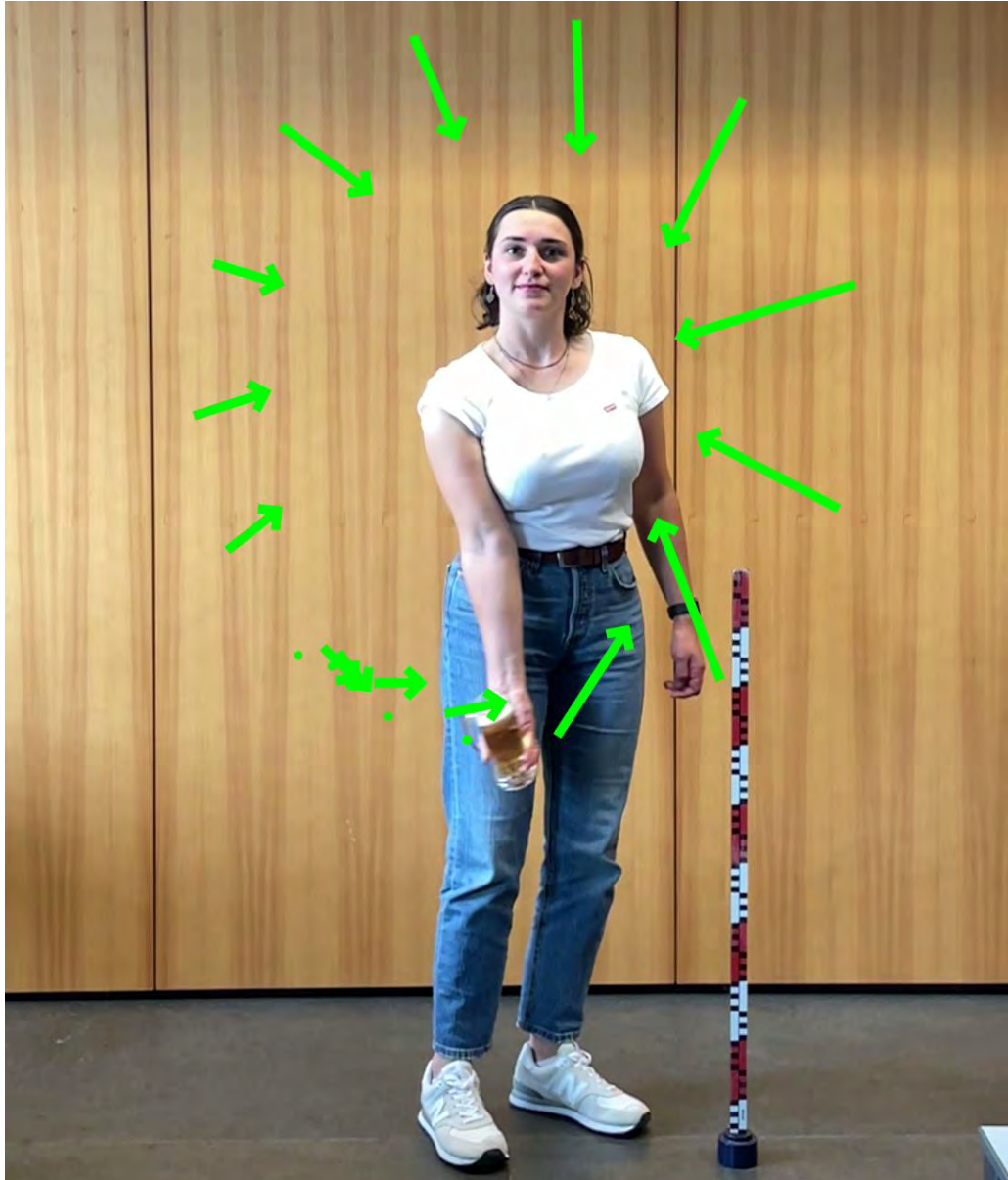


Abbildung 36 - Beschleunigungsvektoren

In der Abbildung 36 wird deutlich, dass die Beschleunigung nach innen zur Kreismitte zeigt, so wie es bereits in Kapitel 4.1.1 beschrieben wurde. Die grünen Pfeile zeigen somit die Zentripetalbeschleunigung, die als Beobachter außerhalb des Systems wahrgenommen wird. Das Bier im Krug würde, wenn es könnte, die Kraft als nach außen wirkend beschreiben und würde somit von der Zentrifugalbeschleunigung sprechen.

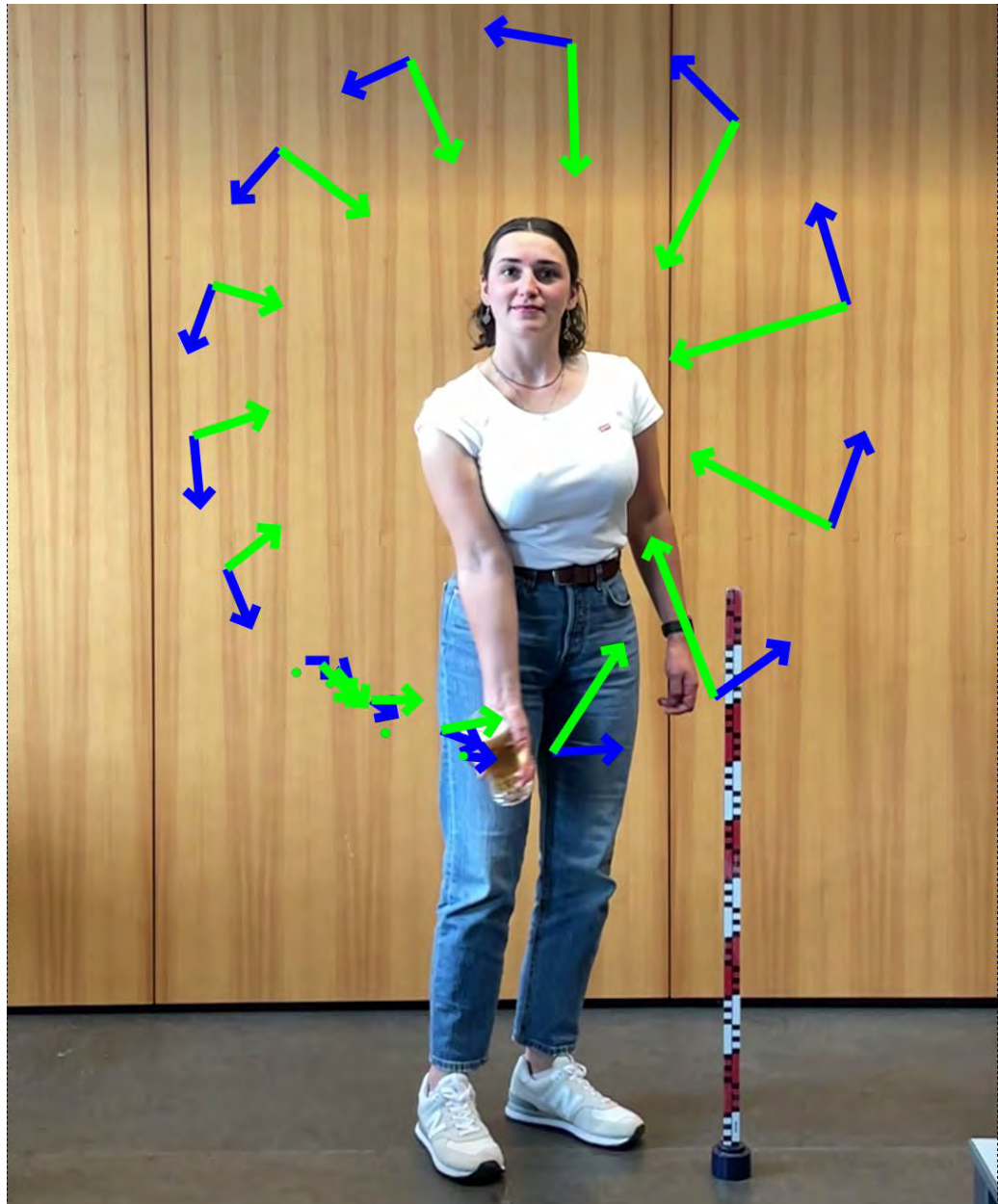


Abbildung 37 - Geschwindigkeits- & Beschleunigungsvektoren

Auch ist es möglich zeitgleich die Geschwindigkeits- und die Beschleunigungsvektoren darstellen zu lassen, siehe Abbildung 37. Das hat den Vorteil, dass gezeigt werden kann, dass Geschwindigkeit und Beschleunigung in den gleichen Positionen unterschiedliche Richtungen und Beträge haben. Somit kann der Unterschied zwischen den beiden Größen thematisiert werden.



Abbildung 38 - Stroboskopbild

Das Stroboskopbild in Abbildung 38 wurde mit jedem zehnten Bild erstellt. Erkennbar ist der Bewegungsverlauf des Bierkrugs. Durch das Verwenden jedes zehnten Bildes anstelle von jedem, erhält man ein übersichtlicheres Bild, das trotz allem alle relevanten Informationen darstellt. Durch die Schaumkrone, welche man bei dem Verlauf beobachten kann, wird deutlich, dass das Bier im Krug bleibt und nicht ausläuft.

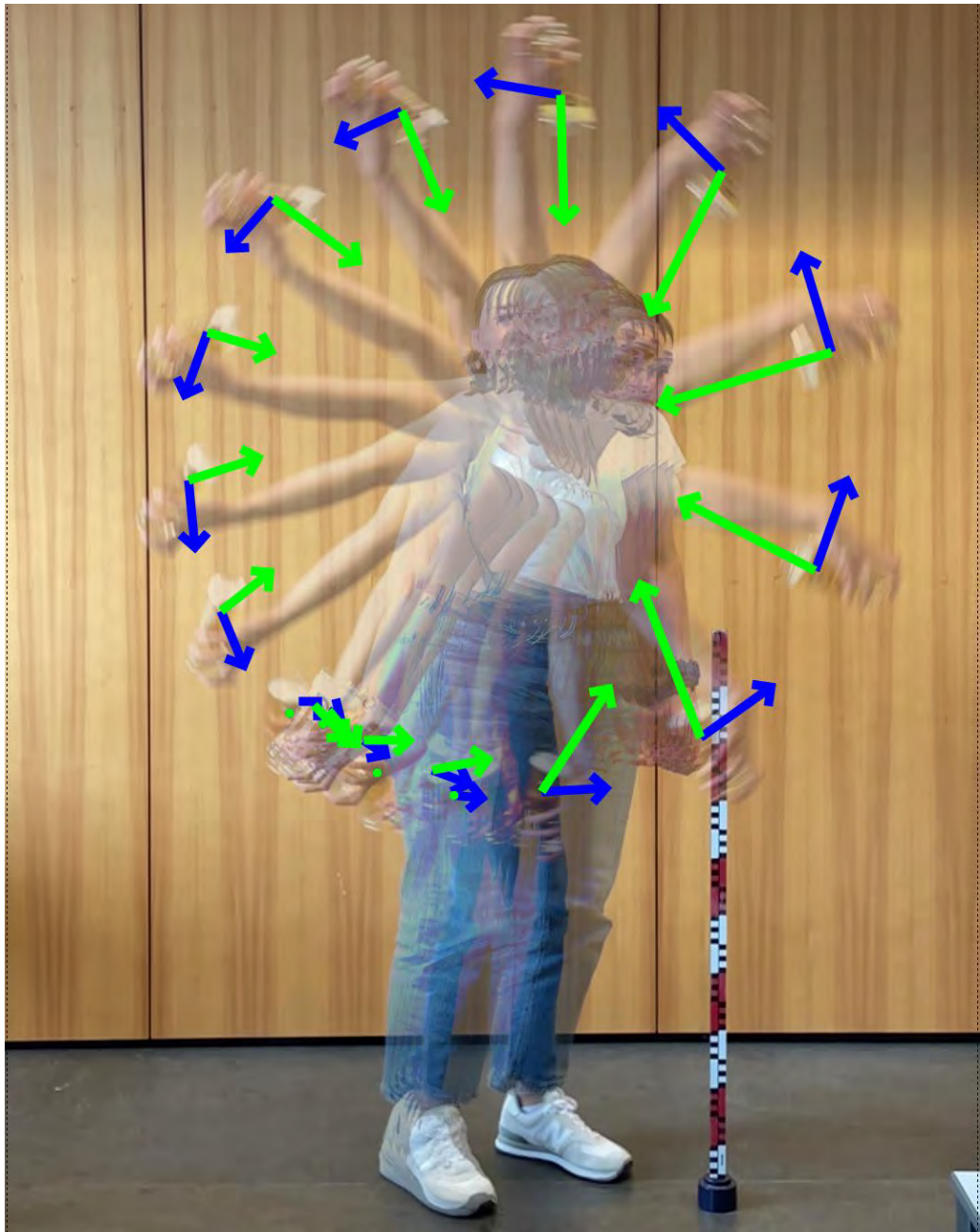


Abbildung 39 - Stroboskopbild mit Geschwindigkeits- & Beschleunigungsvektoren

Des Weiteren ist es möglich die Geschwindigkeits- und die Beschleunigungsvektoren im Stroboskopbild darstellen zu lassen, wie in Abbildung 39 zu sehen ist. Hierbei liegt der Vorteil vor allem in der Visualisierung für Schülerinnen und Schülern, da der Krug an jedem Punkt mit samt Geschwindigkeit und Beschleunigung zu sehen ist und es so vereinfacht die Bewegung nachzuvollziehen.

Didaktische Überlegungen

Neben der physikalischen Analyse stellt sich die Frage, wie eine Videoanalyse im Unterricht sinnvoll eingesetzt werden kann. In diesem Kapitel werden Vor- und Nachteile beleuchtet.

Mithilfe eines Videoanalyseprogramms können Schülerinnen und Schüler eigenständig Bewegungen analysieren und auswerten. Dadurch bieten sich für Lehrkräfte viele Möglichkeiten dieses digitale Werkzeug in den Unterricht einzubringen. Auch zuhause können bereits Videos aufgenommen und im Anschluss im Unterricht analysiert und präsentiert werden. Dabei wird vor allem ein Lebensweltbezug zu dem Alltag der Lernenden erstellt (Wilhelm, 2023). Durch die steigende Präsenz eines digitalen Endgeräts bei den Kindern und Jugendlichen kann fast jedes Kind ein eigenes Video mit in den Unterricht bringen, wodurch eine vielfältige Auswahl verschiedener Bewegungen entsteht und so eine große Bandbreite zur Diskussion der unterschiedlichen Bewegungen geboten werden.

Aber auch die Lehrkraft kann die Videoanalyse für die Lehrinhalte nutzen. Dabei zeigt sich vor allem der Vorteil, dass das Video und die Vektoren oder die Graphen synchron abgespielt werden können. An interessanten Punkten können Lehrkraft und Lerngruppe anhalten oder zurückspulen und so besonders beim Analysieren von Graphen viele Fehlvorstellungen klären.

Durch die Möglichkeit der Videoanalyse kann Zeit eingespart werden, da die Messwerte automatisch vom Programm aufgenommen und ausgewertet werden und die Lehrkraft keine zahlreichen Messungen in Tabellen auftragen muss (Wilhelm, 2023). Die verschiedenen Darstellungsformen können ebenfalls in kürzester Zeit vom Programm erstellt und bei der Präsentation stetig gewechselt werden. So können Analysekompetenzen der Lernenden gezielt gefördert werden, da so verschiedene Darstellungsformen zu einer Bewegung gezeigt und analysiert werden können, wofür ohne Videoanalyse erheblich mehr Zeit benötigt werden würde.

Für die Nutzung der Videoanalyse sind jedoch einige Aspekte zu beachten, derer sich die Lehrkraft vorher bewusst sein muss. Zum einen muss besonders zu Beginn viel Zeit eingeplant werden, denn zunächst benötigt man ein brauchbares Video und dann ist es notwendig sich mit dem Programm auseinanderzusetzen.

Besonders für Schülerinnen und Schüler kann dies mit dem Programm *measure dynamics* zu Beginn schwierig sein. Hier kann man sich jedoch überlegen, ob auf ein anderes Programm wie *NewtonDV* ausgewichen wird, da dies intuitiver als App gestaltet ist, womit sich Schülerinnen und Schüler mittlerweile eher auskennen als mit der Arbeit an einem Laptop. Außerdem kann ein wenig Zeit eingespart werden, indem man die Schülerinnen und Schüler bereits zuhause ein Video aufnehmen lässt. Ein weiterer Aspekt ist, dass die durchführende Person eine hohe Frustrationstoleranz benötigt, denn es kann einige Anläufe brauchen, bis die Ergebnisse des Versuchs mit der Vorstellung decken. Des Weiteren sollte vorab mit den Lernenden über Datenschutz gesprochen werden, da sie sich eventuell gegenseitig filmen möchten.

4.2. Kronkorken mit einem Hebel öffnen

4.2.1. Physikalische Grundlagen

Mithilfe von Hebeln, können wir in unserem Alltag schwere Gegenstände ohne viel Kraftaufwand bewältigen. Der Hebel ist ein starrer Körper, welcher sich um eine feste Achse, die Drehachse, drehen lässt (*Hebel* | *LEIFIphysik*, o. J.).

Ein starrer Körper lässt sich weder in seiner Form noch in seiner Struktur verändern. Da dies in der Realität aufgrund des atomaren Aufbaus von Materialien nicht möglich ist, muss hier erwähnt werden, dass es sich um ein Ideal handelt (Roth & Stahl, 2022). Für den Unterricht genügt jedoch die Näherung, daher wird im Folgenden mit der Idealisierung weitergearbeitet.

Wir unterscheiden hierbei zwischen einem ein- und zweiseitigem Hebel.

Einseitiger Hebel

Der Drehpunkt beim einseitigen Hebel befindet sich an einer seiner Enden („Hebel (Physik)“, 2025). Ein bekanntes Beispiel aus dem Alltag ist die Schubkarre. Der Kraftarm und der Lastarm überlagern sich somit. Betrachtet man das Drehmomentgleichgewicht, so wirken die Kräfte in entgegengesetzte Richtungen. Wird jedoch der Hebel als Kraftwandler verwendet, so zeigen die Kräfte in die gleiche Richtung.



Abbildung 40 - Kronkorkenverschlussgerät (einseitiger Hebel)

In der Abbildung 40 ist ein Kronkorkenverschlussgerät zu sehen. Am Hebel wird nach unten gedrückt, wodurch ein mit einem Magnet befestigter Kronkorken auf die Flaschenöffnung gedrückt wird.

Zweiseitiger Hebel

Bei einem zweiseitigen Hebel befindet sich die Drehachse innerhalb der Länge des starren Körpers. Somit bildet die Drehachse den Punkt zwischen dem Kraft- und dem Lastarm.

Wirken die Kräfte F_1 und F_2 am Hebel senkrecht zu diesem, ergibt sich für die Berechnung folgende Formel: $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ (Hebel | LEIFIphysik, o. J.). Hierbei meint l_1 und l_2 die Abstände von den Wirkungslinien der Kräfte zur Drehachse.

Im Alltag verwendet man oft einen kurzen Lastarm und einen langen Kraftarm, da so eine kleine Kraft aufgewendet werden muss, um die Last zu bewegen (Kumrić & Roser, 2020). Dieser Zusammenhang ist auch als die goldene Regel der Mechanik bekannt „Wer an Kraft spart, muss an Weg zu setzen“.

In dem hier vorgestellten Versuch soll eine Bierflasche mittels eines Hebels geöffnet werden. Bei der Flasche handelt es sich um eine mit einem Kronkorken verschlossenen Flasche, daher setzt der Hebel an diesem an.

Schwierigkeiten beim Hebel

In der Realität wirkt im Drehpunkt eine Reibung, wodurch mehr Kraft aufgewendet werden muss. Durch die Reibung wird ein Teil der Energie in Wärme umgewandelt. Außerdem kommt es je nach Material des Hebels zu Verformungen, wodurch auch dort Energie umgewandelt wird. („Hebel (Physik)“, 2025).

4.2.2. Vorgehensweise

Für den Versuch benötigte Materialien:

- Stativfuß
- Stativstangen (3)
- Muffen (4)
- Klemmen (2)
- Eventuell Holzbretter
- Holzstab in der Höhe der Flasche
- Maßstab als Hebel
- Tablet oder Laptop mit *Sparkvue*
- Digitaler Kraftmesser *Pasco*

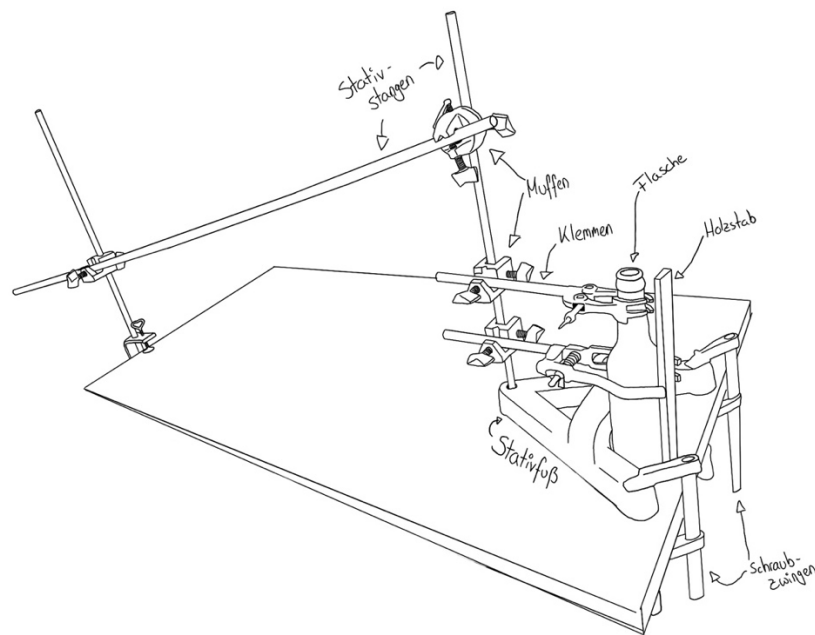


Abbildung 41 - Skizze Versuchsaufbau Hebel

Der Versuch wird wie in der Abbildung 41 gezeigt auf einem Rolltisch aufgebaut. Der Stativfuß wird mit zwei Schraubzwingen am Tisch gesichert, damit sich das System nicht beim Hebeln nach oben bewegen kann. Eine Stativstange wird am anderen Ende des Tisches befestigt und eine weitere wird in den Stativfuß gesteckt. Beide werden mithilfe von zwei Muffen und einer langen Stativstange miteinander verbunden, sodass das System unbeweglich ist. An der Stativstange im Stativfuß werden zwei weitere Muffen befestigt, in welche je eine Klemme gesichert wird. Die Klemmen dienen dazu, dass die Bierflasche sicher am Bauch und am Hals gehalten wird. Ein Holzstab, in der Größe der Flasche, wird vor die Flasche gestellt. Er dient als Drehpunkt in diesem Versuch. Damit der Holzstab nicht wegrutscht, wird dieser mit Kabelbindern am Bauch und Hals der Flasche befestigt. Diese sind in der Skizze nicht miteingezeichnet, da dieser Lösungsansatz noch optimiert wird. Ist der Versuch so weit aufgebaut, kann der Maßstab präpariert werden. Hierfür wurde ein gewöhnlicher Holzmaßstab, der sich in jeder Physiksammlung finden lässt, genutzt. Um den digitalen Kraftmesser nun befestigen zu können, wurde alle zehn Zentimeter ein Loch in den Maßstab gebohrt. So kann beim Versuch ein Stück Schnur hindurchgefädelt und der Kraftmesser daran eingehakt werden. Möchte man den Maßstab nur für diesen Versuch nutzen und ist sich sicher, dass man diesen Versuch genau so wieder aufgebaut bekommt, so bietet es sich an,

den Maßstab so zu präparieren, dass vom Auflagepunkt beim Holzstab, also dem Drehpunkt, die Null beginnt und dann von dort aus in zehn Zentimeter-Schritten Löcher gebohrt werden. Zur einfacheren Visualisierung würde sich anbieten den Maßstab zu übermalen und eine Skala dementsprechend aufzuzeichnen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Kreppband auf den Maßstab zu kleben und die neue Skala darauf zu zeichnen. Dadurch könnte vermieden werden, dass bei erneutem, jedoch leicht verändertem Aufbau, die Skala nicht mehr mit dem Experiment übereinstimmt. Die vereinfachte Visualisierung hätte vor allem den Vorteil, dass die Schülerinnen und Schüler die Länge des Kraftarms zügig und ohne große Schwierigkeiten ablesen könnten.

In der folgenden Abbildung sieht man ein Foto des Aufbaus mit Hebel, Kraftmesser und Tablet mit entsprechender App. Anzumerken ist hier, dass die Bierflasche auf Holzbretter gestellt werden musste, da der Holzstab von der Länge nicht gepasst hätte und dieser nicht beschädigt werden sollte.

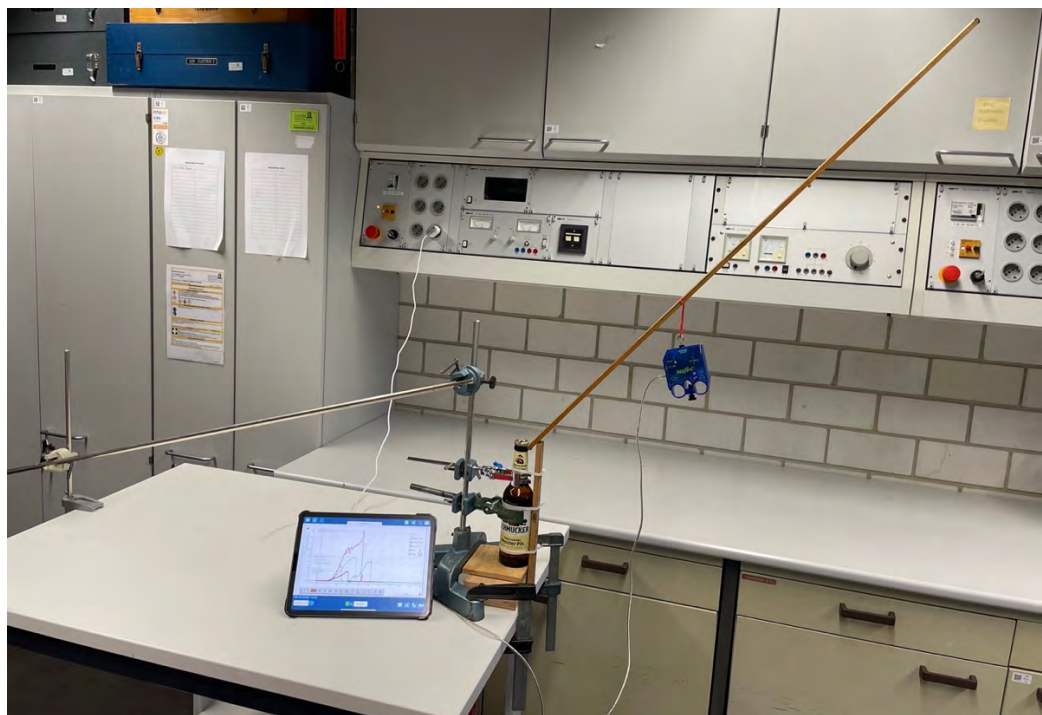


Abbildung 42 - Aufbau Hebelversuch

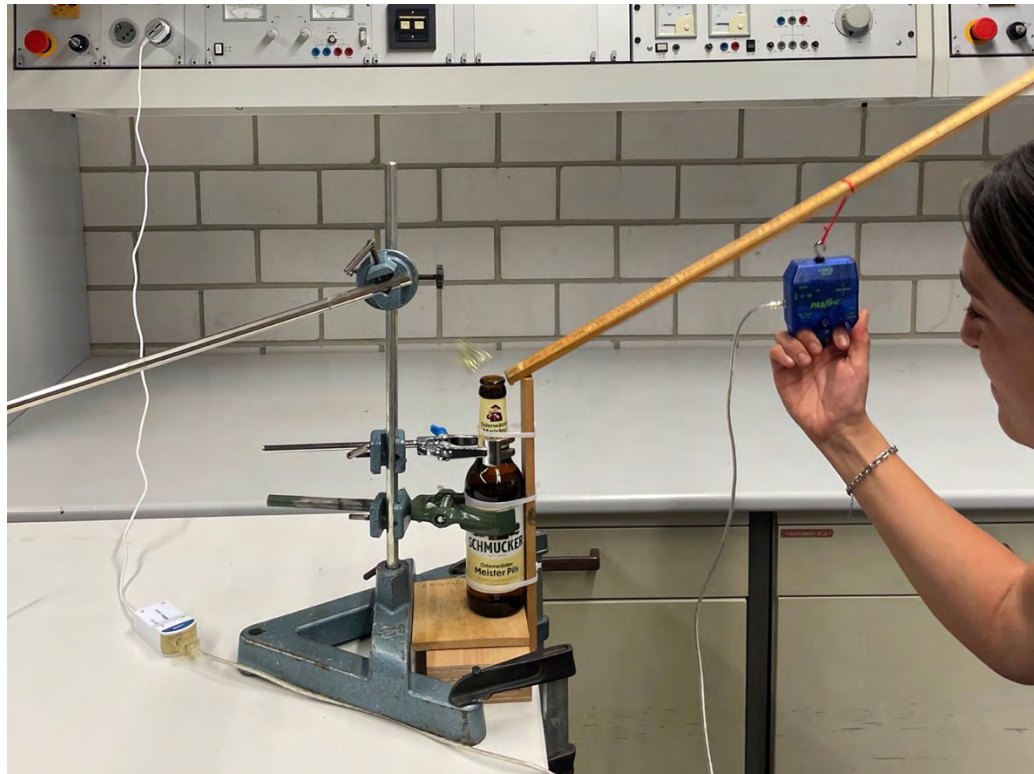


Abbildung 43 - Durchführung des Versuchs

Mithilfe des Kraftmessensors wird an verschiedenen Angriffspunkten gezogen, so soll das Verhältnis zwischen benötigter Kraft und Länge des Kraftarms bestimmt werden. Der Lastarm sowie die Drehachse bleiben bei diesem Versuch konstant. Wichtig ist, dass versucht werden muss, dass die Zugkraft senkrecht zum Hebel wirken soll. In der Abbildung 43 ist die Durchführung des Versuchs zu sehen. Es ist eine Momentaufnahme, in der der Kronkorken durch den Hebel gelöst und weggeschleudert wird.

4.2.3. Beitrag zum Physikunterricht

Der Versuch kann im Physikunterricht als Demonstrationsexperiment durch die Lehrkraft oder von Schülerinnen und Schülern vorgeführt werden. Mittels des Kraftmessers wird die Kraft, welche benötigt wird, notiert. Es werden verschiedene Längen von Drehpunkt zu Angriffspunkt genutzt, um den physikalischen Sachverhalt zu demonstrieren. Zu erwähnen ist, dass hier die Längen 20 cm, 40 cm und 80 cm als Längen für den Kraftarm angegeben wurden, jedoch wurde beim Bohren missachtet, dass die Länge für den Lastarm abgezogen werden müsste. Daher ergibt sich ein Versatz von etwa 1,5 cm. Dies wird jedoch nicht weiterberücksichtigt, da es sich hier hauptsächlich um eine qualitative Analyse handelt.

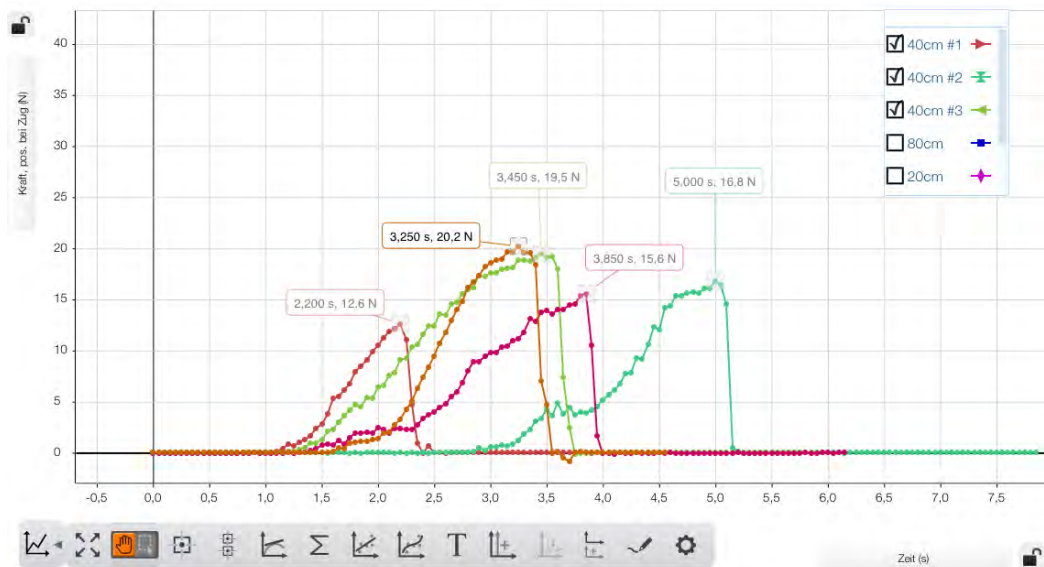


Abbildung 44 - Diagramme zu Messungen mit 40cm

Zunächst kann gezeigt werden, dass bei gleichbleibender Länge, nahezu ein identischer Wert für die Kraft herauskommt, wie aus den folgenden Werten entnommen werden kann und in Abbildung 44 dargestellt.

Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5
15,6 N	20,2 N	19,5 N	16,8 N	12,6 N

Der Mittelwert mit Standardabweichung der fünf Messungen beträgt hier: $(16,94 \pm 2,12)$ N.

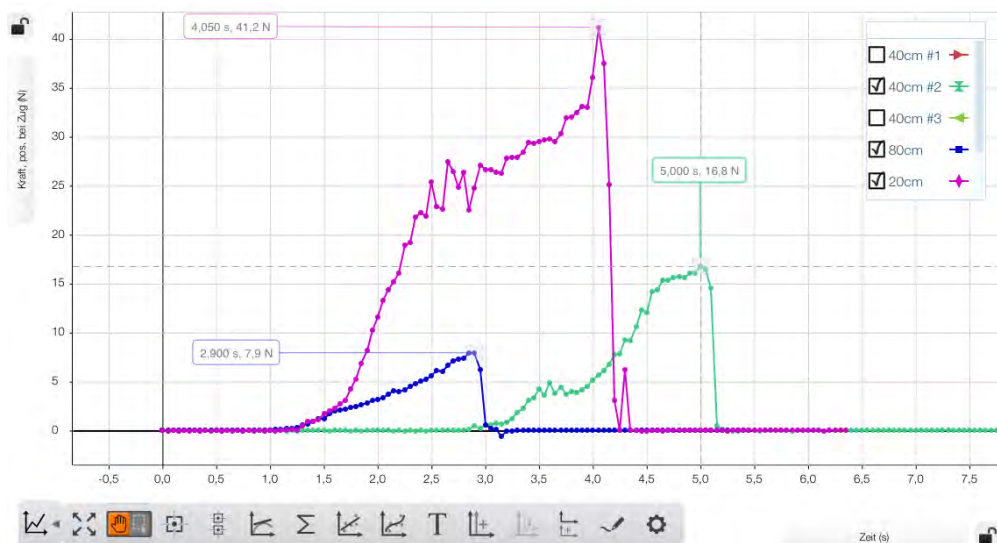


Abbildung 45 - Diagramme Vergleich 20 cm, 40 cm, 80 cm

Die Visualisierung der Ergebnisse findet über die *Sparkvue*-App statt, welche über einen Beamer oder eine smarte Tafel für die Schülerinnen und Schüler

sichtbar projiziert werden kann. Die Ergebnisse können als Graphen protokolliert werden, was den Vorteil hat, dass die Amplitude die Maximalkraft darstellt, welche zur Öffnung des Kronkorkens benötigt wurde. In Abbildung 45 sind die Graphen der Kraftmessung für die Längen 20 cm, 40 cm und 80 cm dargestellt.

Berechnet man nun die mechanische Arbeit, welche geleistet werden muss, so ergibt sich:

$$W = F \cdot s$$

$$W_{80cm} = 7,9 \text{ N} \cdot 0,800 \text{ m} = 6,3 \text{ Nm}$$

$$W_{40cm} = 16 \text{ N} \cdot 0,400 \text{ m} = 6,4 \text{ Nm}$$

$$W_{20cm} = 41 \text{ N} \cdot 0,200 \text{ m} = 8,2 \text{ Nm}$$

Die Werte für die längeren Hebelarme passen sehr gut zueinander. Der Wert für den kurzen Hebelarm fällt aus der Reihe. Schaut man sich den Verlauf des Graphens genauer an, so ist erkennbar, dass die Kraft nicht gleichmäßig gewirkt hat. Es entsteht eine Spitze, die zu Interpretationsschwierigkeiten führen kann. Der Graph zeigt vor dem Ausbruch zur 41 N Spitze eine Kraft von 33 N an. Berechnet man die Arbeit mit dem Wert so erhält man:

$$W_{33N} = 33 \text{ N} \cdot 0,200 \text{ m} = 6,6 \text{ Nm}$$

Das würde also besser zu den Werten der anderen beiden Dreharme passen.

Zu beachten ist daher bei der Ausführung, dass die Kraft langsam erhöht wird, um solche Peaks zu vermeiden.

Der Versuchsaufbau sollte zu Beginn mit den Schülerinnen und Schülern besprochen werden, um zu zeigen, dass sich der physikalische Aspekt, der beobachtet werden soll, sich lediglich auf Abbildung 46 begrenzt.

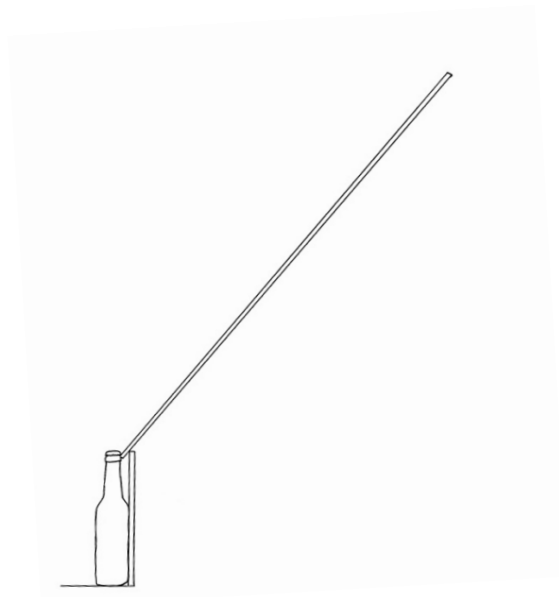


Abbildung 46 - Skizze Vereinfachung Hebel

Zeichnet man nun die wirkenden Kräfte für die verschiedenen Hebellängen, sowie die Kraft des Kronkorkens auf den Hebel ein, so erhält man folgendes Bild:

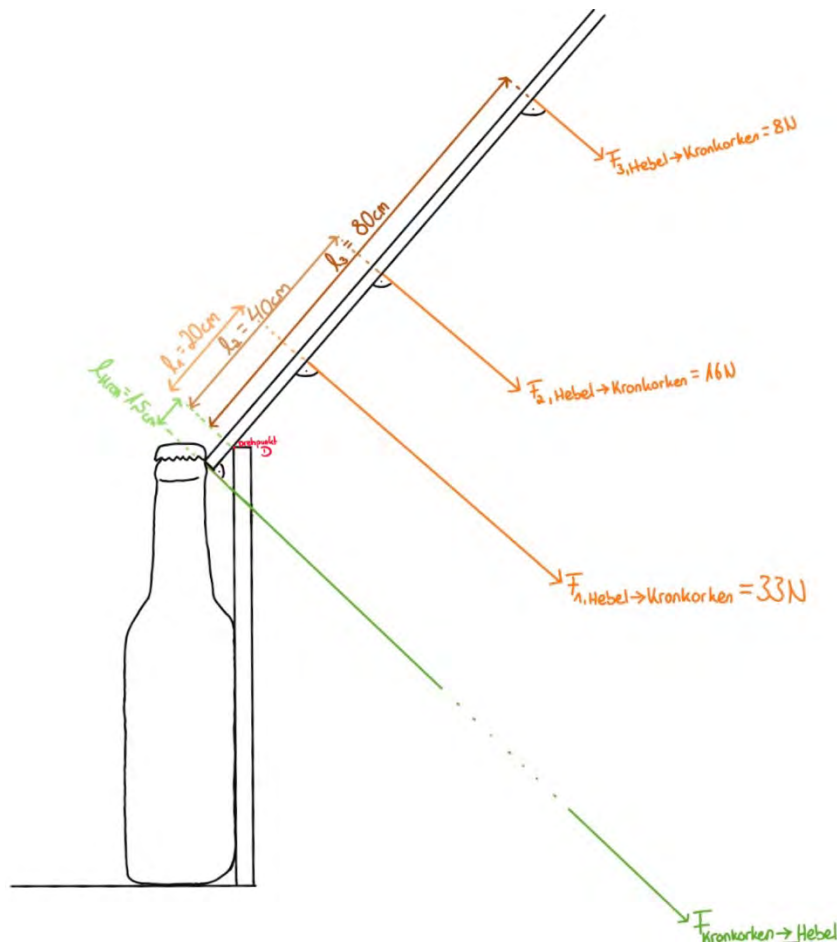


Abbildung 47 - Skizze Kräfte Hebel

In der Abbildung 47 wurde für die Kraft vom Hebel auf den Kronkorken bei einem Abstand von 20 cm $F_{1,\text{Hebel} \rightarrow \text{Kronkorken}} = 33 \text{ N}$ genutzt, da dieser Wert sinniger ist als die gemessenen 41 N.

4.2.4. Auswertung der Unterrichtsstunde

Der Versuch wurde in zwei Physikklassen einer integrierten Gesamtschule in Bad König (Odenwaldkreis) ausgeführt. Die beiden Klassen befinden sich im Jahrgang 9 und werden im Physikunterricht im Klassenverband, jedoch differenziert in Grund- und Erweiterungskurs unterrichtet. Das Experiment wurde in Bezug zum Thema mechanische Arbeit, genauer zu kraftsparende Maschinen behandelt. Den Schülerinnen und Schülern ist der Begriff der mechanischen Arbeit bereits bekannt gewesen.

Zu Beginn der Stunde wurde mit den Lerngruppen der bisherige Lernstoff wiederholt. Danach begann der Einstieg in das Experiment mit einer kleinen Anekdote, in der erzählt wurde, wie die Idee zu dem Experiment kam. Dabei ging es, um verschiedene Methoden eine Bierflasche zu öffnen und der Frage warum diese unterschiedlich gut funktionieren. Die Schülerinnen und Schüler hatten dazu einige Ideen und wussten, dass es mit der Hebellänge zu tun hat. Ein Schüler berichtet, dass er dies schon gemerkt hat, wenn er eine Flasche mit einem Feuerzeug öffnen möchte, da es je nach Länge des Feuerzeuges einfacher oder schwieriger funktioniert.

Daraufhin wurde der Versuchsaufbau aus der Sammlung gefahren und die einzelnen Elemente kurz erläutert. Die Bierflasche wurde eingespannt und drei Längen wurden vorgegeben (20 cm, 40 cm, 80 cm).

Mit der Klasse 9b wurde mit den 40 cm angefangen. Danach wurde der Versuch mit den 20 cm und zuletzt mit den 80 cm durchgeführt. Die Lernenden sollten vorab sagen, was sie erwarten, ob mehr Kraft benötigt wird oder weniger als im Vergleich zu den 40 cm. Die verschiedenen Längen wurden von je einem Schüler durchgeführt.

Es ergab sich folgendes Bild der Messwerte:

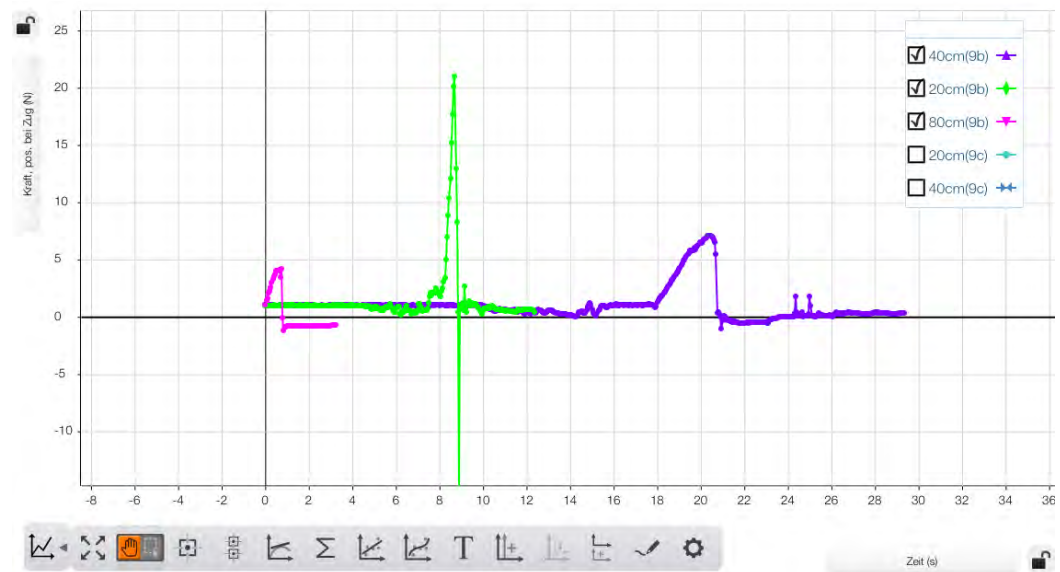


Abbildung 48 - Screenshot Messwerte Klasse 9b

Der Beginn der Messungen liegt leicht über den 0 N, da der Kraftmesser an der Schnur im Maßstab hing und so durch seine Gewichtskraft bereits eine Zugkraft aufgenommen hat. Da die zwei weiteren Messungen die gleiche Zugkraft durch die Gewichtskraft erfahren, ist der Versatz für eine qualitative Analyse irrelevant. Mit den Schülerinnen und Schülern wurde das bei der Analyse der Graphen besprochen. Es zeigte sich, dass es für sie keine erheblichen Missverständnisse hervorgebracht hat. Während der Durchführung hat die Lerngruppe gespannt auf die Graphen geschaut und die drei Schüler haben ihre Werte verglichen. Durch lauten Jubel, fröhliches Lachen und neckische Sprüche wurde die emotionale Neugier bei dem Experiment sehr deutlich. Besonders interessant war zu beobachten, dass der Schüler, der bei einer Länge von 20 cm gezogen hat, sich profilierend vor die anderen stellte und meinte, dass er die meiste Kraft „benutzt“ hat. Die Klasse hat ihn daraufhin schnell zurechtgewiesen, dass dies an der Länge des Hebels und nicht an seiner Fähigkeit lag.

Im weiteren Verlauf der Unterrichtsstunde wurden die drei Graphen miteinander verglichen und die Zusammenhänge durch die Lernenden zwischen Kraft und Hebellänge mittels „Je... desto...“-Aussagen erläutert. Die Ergebnisse wurden schließlich an der Tafel gesichert.

Die Messungen in der Klasse 9c sahen wie folgt aus:

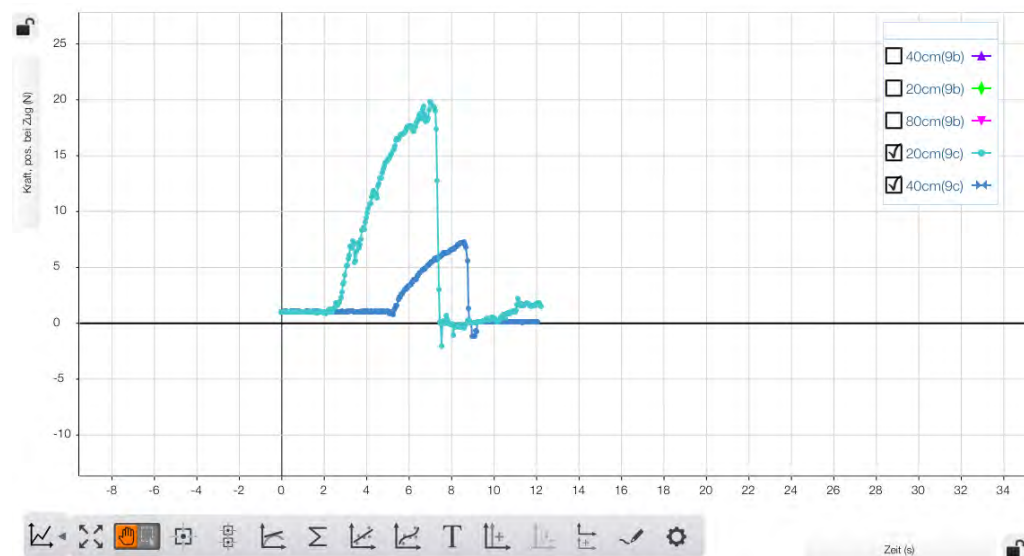


Abbildung 49 - Screenshot Messwerte 9c

Im Screenshot in Abbildung 49 fehlt eine Messung, da diese für eine Hebellänge von 80 cm einen sehr ähnlichen Wert der 40 cm geliefert hat. Diese fehlerhafte Messung wurde mit den Lernenden thematisiert, jedoch hat es für sie keinen großen Unterschied gemacht, da der Unterschied zwischen 20 cm und 40 cm schon erkenntlich war und das Experiment einen Bezug zu einem alltäglichen Problem hat, wodurch ihnen der Ausgang schon im Vorhinein klar war. Die Messung ist nicht zu sehen, da die Schülerinnen und Schüler sich gewünscht haben, die Messkurven ausgedruckt fürs Heft zu bekommen und es als verwirrend empfanden, eine fehlerhafte Messung ins Heft aufzunehmen. Die restliche Stunde war entsprechend aufgebaut. Der Versuch wurde ebenfalls von einem Schüler und einer Schülerin durchgeführt. Auch in dieser Klasse wurde über die Graphen diskutiert und es wurde direkt thematisiert, als die Schülerin mehr Kraft ausübte als der Schüler.

Mit der Klasse 9c wurde im Anschluss eine *Mentimeter*-Abstimmung zum Versuch durchgeführt, siehe Anhang. Aus zeittechnischen Gründen und aufgrund des Handyverbot in der Schule konnten nicht alle Schülerinnen und Schüler der Klasse teilnehmen. Jedoch hat mit 12 bis 14 Schülerinnen und Schülern mehr als die Hälfte der Anwesenden teilgenommen. Da dies jedoch keine repräsentativen Ergebnisse zeigt, sind diese lediglich im Anhang angehängt. Schaut man sich die Ergebnisse der Umfragen an, so zeigt sich, dass das Bedürfnis nach mehr alltagsbezogenen Versuchen gewünscht wird.

Außerdem wurde die Motivation mitzumachen als gefördert empfunden, sowie der Zusammenhang zwischen Versuch und Hebelgesetz als nachvollziehbar eingestuft. Besonders interessant für diese Arbeit war die Abstimmung bei der Aussage „Ich fand es in Ordnung, dass das Beispiel mit einer Bierflasche gemacht wurde.“ Hier wurde hauptsächlich gestimmt „Stimme voll und ganz zu!“, die zweitmeiste Aussage war „Ist mir egal!“, gefolgt von „Stimme teilweise zu!“ und eine Stimme für „Stimme nicht zu!“. Interessant wäre zu wissen, ob es Lernende gab, die zufällig getippt haben und ob, die Person, die nicht zustimmt, sich bei dem Thema unwohl fühlte.

Am Ende wurde die Möglichkeit geboten eine Word Cloud zu eröffnen. Dabei konnten die Lernenden bis zu drei Wörter eintippen. Die Frage dazu hieß „Ich fand den Bierflaschen-Hebelversuch...“. Wörter, die öfter genannt wurden, werden größer dargestellt. Da die Arbeit mit *mentimeter* für die Klasse ungewohnt und neu war, schrieb ein Schüler zu Beginn vor der Instruktion zur Word Cloud dreimal „moin“, wodurch dieses Wort in der Mitte das Zentrum schmückt.

Vergleicht man nun die Werte, welche während der beiden Unterrichtsstunden gemessen wurden, so zeigen sich sehr ähnliche Ergebnisse, siehe Abbildung 50 und Abbildung 51.

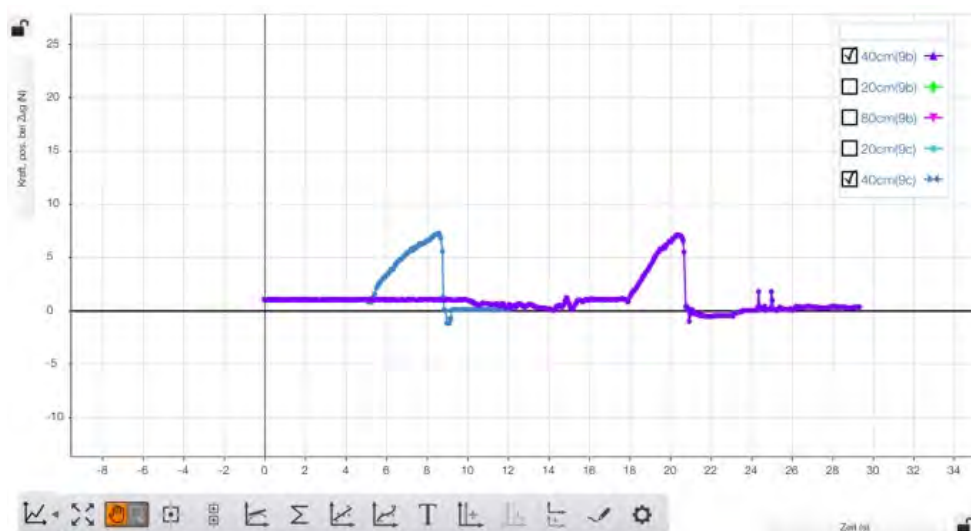


Abbildung 50 - Vergleich Ergebnisse 9b & 9c bei 40 cm

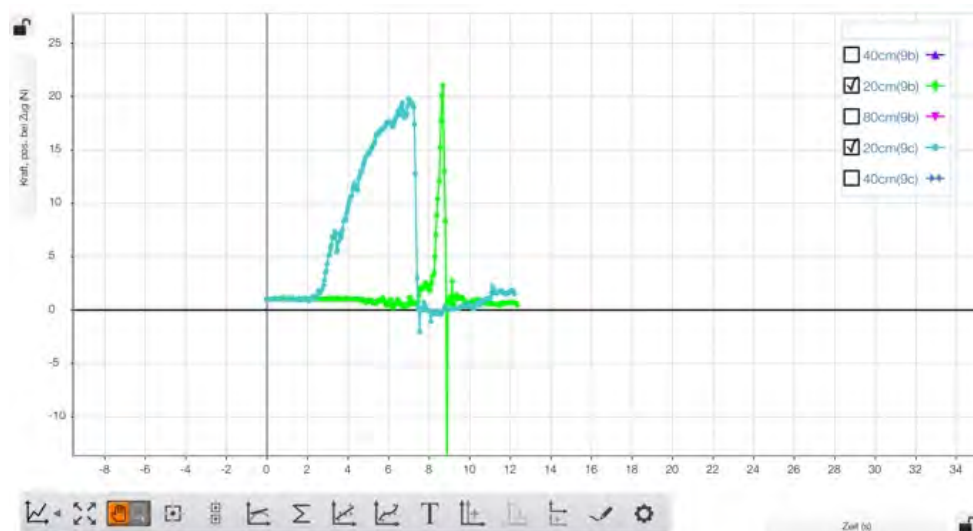


Abbildung 51 - Vergleich Ergebnisse 9b & 9c bei 20 cm

Aufgrund der ähnlichen Ergebnisse trotz verschiedener Schülerinnen und Schüler, welche den Versuch durchgeführt haben, wird dieser Versuch als Demonstrationsexperiment, durchgeführt von Lernenden, empfohlen. Dadurch lässt sich das Interesse der Lerngruppe steigern und Kompetenzen in der Durchführung von Experimenten gewinnen.

4.3. Teetasseneffekt beim Bierbrauen

4.3.1. Physikalische Grundlagen

Schon Albert Einstein hat sich mit dem Effekt auseinandergesetzt, warum sich Teeblätter nach dem Umrühren in der Mitte des Tassenbodens als Kegel sammeln (Physik, 2019). Dieser Effekt findet heutzutage einige Anwendungen in der Technik. So wird er nicht nur beim Bierbrauen, dazu später mehr, verwendet, sondern auch in der Medizintechnik zur Trennung von roten Blutkörperchen von anderen Partikeln (Physik, 2019). Außerdem begegnet einem das Phänomen im Alltag, wenn man beispielsweise Zucker in eine Flüssigkeit gibt und diese umrührt oder wenn man in einem Pool im Kreis laufend eine Rotation anregt, damit die Schmutzpartikel sich in der Mitte des Poolbodens sammeln und man diese leichter mit einem Kescher entfernen kann.

Der Effekt widerstrebt der Funktionsweise einer Zentrifuge (Mould, 2022). In einer Zentrifuge werden durch Rotation Stoffe voneinander getrennt („Zentrifuge“, 2024). Dort bewegen sich die Bestandteile mit größerer Dichte aufgrund der Trägheit nach außen. Beispiele aus dem Alltag sind die

Salatschleuder oder die Wäscheschleuder. Der Teetasseneffekt zeigt jedoch andere Strömungsphänomene auf, die im weiteren Verlauf erklärt werden.

Die Rotation, welche durch das Umrühren entsteht, bewirkt, dass sich auf der Oberfläche der Flüssigkeit eine Art Delle bildet, siehe Abbildung 52 (Physik, 2019). Hierbei wird die Flüssigkeit beim Umrühren, durch die Zentrifugalkraft, welche auf die Wasseratome wirkt, an den Rand des Behälters geschleudert, wodurch der Flüssigkeitsspiegel am Rand höher ist als in der Mitte (Mould, 2022; Physik, 2019).



Abbildung 52 - Foto Wasser mit Teeblättern in Rotation

Der Druck am Rand ist aufgrund der längeren Wassersäule höher als der Druck in der Mitte der Flüssigkeit (Mould, 2022). In der folgenden Abbildung stellen die zwei Kreise zwei Wasseratome auf gleicher Höhe in der Tasse dar. Auf den ersten Kreis in der Mitte wirkt der Druck p_1 . Das zweite Wasseratom am Rand erfährt den Druck $p_2 = p_1 + \Delta p$. Da der Druck in der Mitte niedriger ist, fließt das Wasser dorthin, weil es einen Druckausgleich herstellen will. Somit ergibt sich eine Kraft aus der Druckdifferenz zwischen den beiden Atomen. Es wirkt also eine Kraft F nach innen, siehe Abbildung 56 (Mould, 2022).

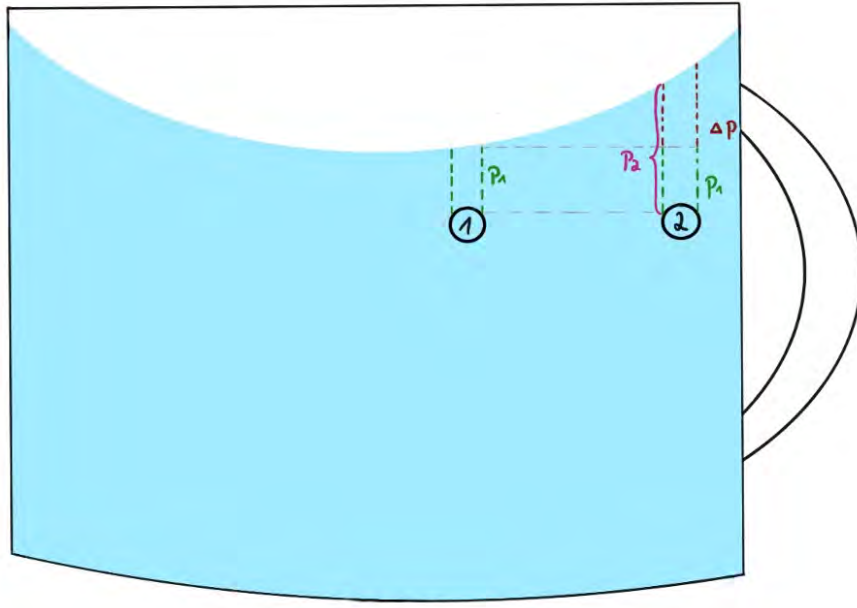


Abbildung 53 - Druck auf Wasseratom gleicher Höhe (oben)

Für Kreisbewegungen gilt, dass die Beschleunigung a , die zum Kreismittelpunkt zeigt und die Geschwindigkeit v des Wasseratoms ausgeglichen sein müssen. Außerdem gilt: $a = \frac{v^2}{r}$. Der Radius r bleibt sowohl oben in der Tasse als auch unten am Tassenboden gleich, da sich das Teilchen nur in einer anderen Höhe, jedoch nicht an einer anderen Position befindet. Aufgrund der gleichen Druckdifferenz wirkt außerdem die gleiche Kraft und damit auch die Beschleunigung.

Ist die Geschwindigkeit v zu hoch, so wird das Teilchen gegen die Wand geschleudert, ist sie zu niedrig, so wird das Teilchen in den Kreismittelpunkt befördert, siehe Abbildung 54 (Mould, 2022).

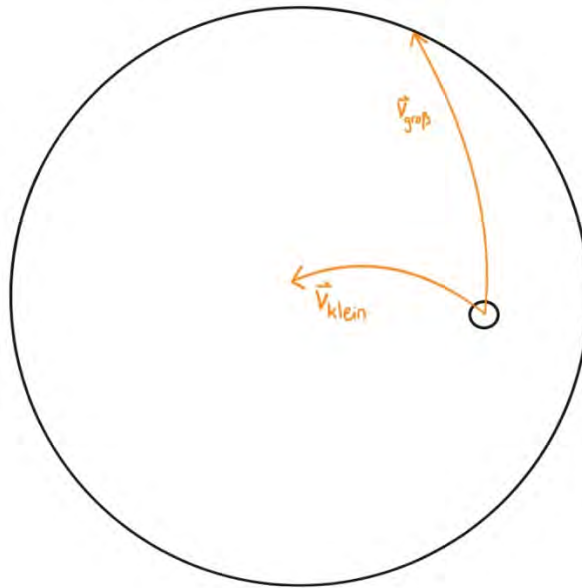


Abbildung 54 - Tassenboden Geschwindigkeiten

Für den Großteil der Flüssigkeit gilt, dass die Geschwindigkeit der Flüssigkeit und die Beschleunigung ausgeglichen sind, siehe Abbildung 55. Am Boden der Tasse gibt es jedoch eine Widerstandskraft aufgrund der Reibung.

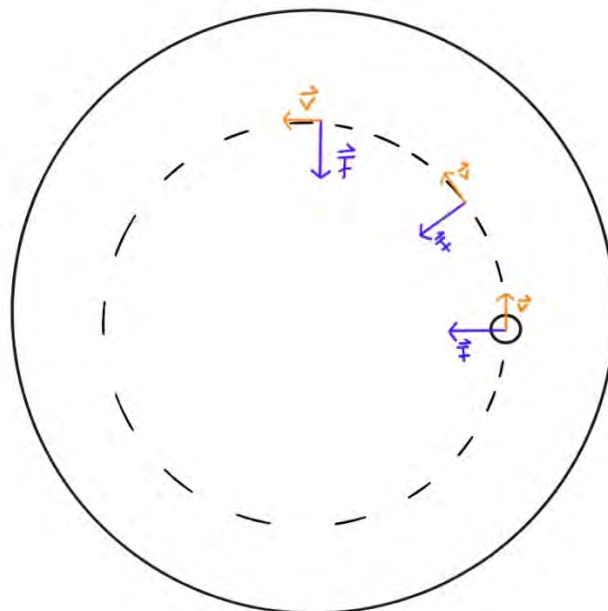


Abbildung 55 - Tassenboden Geschwindigkeit & Zentrifugalkraft

Auch am Boden der Tasse, wie in Abbildung 56 gezeigt, besteht die Druckdifferenz und dadurch wirkt die Kraft zum Kreismittelpunkt hin. Da der Druckunterschied sich an gleicher Stelle in unterschiedlichen Höhen nicht unterscheidet, ist die Kraft zum Kreismittelpunkt sowohl oben als auch unten vom Betrag und Richtung sowie dessen Beschleunigung gleich groß. Die

Geschwindigkeit ist jedoch nicht gleich groß wie oben, sie ist aufgrund der Reibung geringer. Dadurch fließt also die Flüssigkeit dort nicht mehr auf einer Kreisbahn, sondern in das Zentrum des Kreises, dies nennt man Sekundärströmung.

Die Primärbewegung ist die Wirbelbewegung der Flüssigkeit. Die Sekundärbewegung die Strömung in den Kreismittelpunkt. Daher sammeln sich die Teeblätter, welche eine geringere Dichte als Wasser haben in der Mitte.

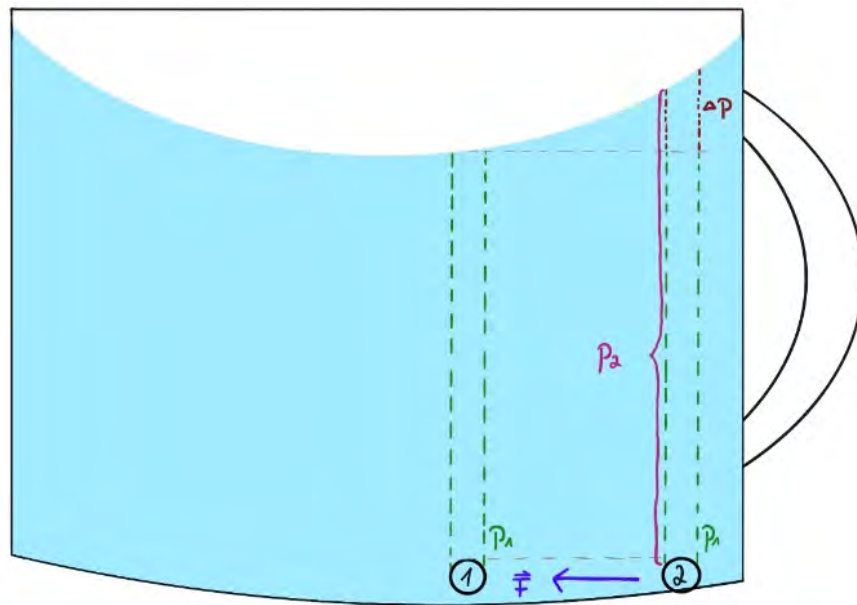


Abbildung 56 - Skizze Druck am Tassenboden

Durch die Reibung, welche der Tee am Rand und am Boden erfährt, wird dieser abgebremst und die Zentrifugalkraft wird kleiner. Durch das nun vorhandene Ungleichgewicht der Zentrifugalkraft und der Druckkraft außen, verändert sich die Strömung in der Tasse. Es findet eine Überlagerung der primären horizontalen Zirkulation von der sekundären vertikalen Zirkulation statt. Dadurch entsteht eine Konvektionswalze, wobei der Tee am Rand der Tasse absinkt, in die Mitte strömt und dort wieder aufsteigt. Da der Tee eine geringere Dichte als Wasser hat, werden nicht alle Teeblätter bei der Zirkulation mit nach oben gerissen, so entsteht durch mehrfache Zirkulationsdurchläufe in der Mitte der Tasse ein Häufchen, siehe Abbildung 57, (Mould, 2022).



Abbildung 57 - Teetasseneffekt Kegelbildung in der Mitte

In der Natur tritt das Phänomen bei der Mäanderbildung und bei der Entstehung von Wind auf.

Auch beim Bierbrauen wird der Effekt während des Whirlpools genutzt. Dafür nutzt man in der Regel ein Braupaddel. Mit diesem rührt man kräftig die Würze um, damit sich die Trubstoffe aufgrund der Rotation in der Mitte als Kegel sammeln. Dies ermöglicht das Ablassen einer klaren Würze, siehe Abbildung 18.

4.3.2. Beitrag zum Physikunterricht

Der Teetasseneffekt ist ein sehr komplexes Phänomen, welches nicht leicht in den Unterricht integrierbar ist. Bricht man den Effekt in seiner Erklärung jedoch auf die wesentlichen Bestandteile herunter, so kann er mit Fachwissen zu Druck, Kräfte und Kreisbewegung verstanden werden. In der Sekundarstufe 1 würde sich dabei vor allem Jahrgang 10 anbieten, da die Lernenden bis dahin genug Wissen gesammelt haben und sie eher in der Lage sind komplexe Sachverhältnisse nachzuvollziehen.

Zu Beginn der Stunde zeigt die Lehrkraft ein Glas gefüllt mit Wasser und losem Tee. Der Tee sollte mehrfach abgekocht sein, sodass die Blätter keine Farbe mehr abgeben und somit das Wasser klar bleibt. Die Teeblätter befinden sich in wildem Chaos im Wasser ohne erkennbare Struktur. Nun wird die Frage in den Raum

gestellt, was passiert, wenn man das Ganze nun mit einem Löffel umrührt. Hypothesen werden dabei gesammelt und in Gruppen- oder Partnerarbeit werden Gläser mit gleichem Inhalt ausgegeben. Dabei können die Schülerinnen und Schüler selbst umrühren und ihre Beobachtungen notieren.

Sobald die sich bildende Delle im Wasser erkannt wurde, wird über den Druckunterschied in der Mitte und am Rand gesprochen. Zuerst thematisiert die Lehrkraft den Druckunterschied oben und fragt, wie der Druckunterschied am Tassenboden ist. Sobald dieser erste Ansatz geklärt und als Skizze visualisiert wurde, kann über die Beschleunigung, welche entsteht gesprochen werden. Dabei wird das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zum Thema Kreisbewegung gefordert.

Mittels einer Animation lässt sich der gleiche Druckunterschied in verschiedenen Höhen und die Bewegung des Teilchens mit verschiedenen Geschwindigkeiten visualisieren. So lässt sich auch ein solch komplexes Phänomen schülergerecht aufbereiten. Mit einem Kontextwechsel kann geübt werden den komplexen Sachverhalt zu erläutern. Hier bietet sich an gruppenweise verschiedene Kontexte zu erklären. Dabei können Lernende ihre Kommunikationskompetenz in Bezug auf den Austausch und das Präsentieren physikalischer Sachverhalte üben, sowie das konzeptuelle Denken fördern.

4.4. Dichtebestimmung beim Bierbrauen

4.4.1. Physikalische Grundlagen

Die Dichte eines Stoffes, eines Materials, eines Gases oder einer Flüssigkeit ist eine Eigenschaft. Sie ist von der Masse m des Stoffes, sowie dessen Volumen V abhängig. Es gilt $\rho = \frac{m}{V}$. In der Sekundarstufe 1 geht man von homogenen Körpern und Stoffen aus, so dass die Dichte überall gleich ist. Für die Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten kann man ein Aräometer zur Hilfe ziehen. Diese Dichtespindel funktioniert nach der Funktionsweise des Archimedischen Prinzips. Das besagt, dass die Auftriebskraft eines Körpers und die Gewichtskraft der von ihm verdrängten Flüssigkeit den gleichen Betrag haben.

Ein Skalenaräometer besteht aus Glas („Aräometer“, 2024). Oben befindet sich ein dünnes Rohr mit Dichteskala, an der die Dichte der Flüssigkeit abgelesen

werden kann, wenn das Aräometer in der Flüssigkeit schwimmt. Der untere Teil ist ein Schwimmkörper, welcher mit Bleischrot zum Beschweren gefüllt ist, siehe Abbildung 58.

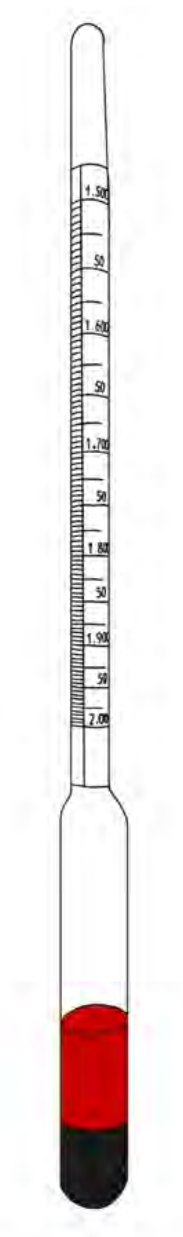


Abbildung 58 - Skizze Aräometer

Spindelt man nun während des Bierbrauprozesses die Würze, so müssen einige Dinge beachtet werden, siehe Kapitel 2.2.1. Zunächst benötigt man einen schmalen, aber hohen Behälter, in den man die Würze einfüllt. Er muss hoch genug sein, dass die Spindel in der Flüssigkeit schwimmen kann. Dann wird das Gefäß und damit auch die Würze im Gefäß, von außen mit kaltem Wasser abgekühlt, so dass die Würze in etwa eine Temperatur von 20 °C annimmt. Falls die Temperatur nicht erreicht wird, hilft eine Temperaturkorrektur-Tabelle, die

angibt welchen Wert man hinzu- oder abrechnen muss, von der Aräometerablesung, siehe Abbildung 59. Diese Tabelle dient auch zum Bestimmen der Stammwürze in °Plato, dafür wird die Temperatur der Würze gemessen, die Dichte mittels eines Aräometers bestimmt und in der Tabelle bei entsprechender Temperatur und Dichte der Wert für die Stammwürze gesucht. Mithilfe der Mathematik wird dann umgerechnet, wie viel Wasser man ergänzen muss, um einen zu hohen Stammwürzegehalt auf den richtigen Alkoholgehalt zu senken oder inwiefern die Kochzeit verlängert werden muss, um einen zu niedrigen Stammwürzegehalt zu erhöhen.

Dichte (g/ml) 20/4°C	Ablesung (°Plato) auf Bezugstemperatur des Aräometers (i.d.R. 20°C) zurückverfolgen							
	0°C	5	10	12	14	16	18	20°C
0,998	0,42	0,45	0,39	0,33	0,27	0,19	0,10	0,00
1,002	1,47	1,47	1,41	1,34	1,27	1,19	1,10	1,00
1,006	2,51	2,47	2,43	2,35	2,26	2,18	2,09	2,00
1,010	3,55	3,50	3,45	3,36	3,27	3,19	3,10	3,00
1,014	4,58	4,52	4,46	4,37	4,28	4,19	4,10	4,00
1,018	5,61	5,53	5,46	5,37	5,27	5,18	5,09	5,00
1,022	6,66	6,57	6,48	6,39	6,29	6,20	6,10	6,00
1,026	7,70	7,60	7,50	7,41	7,31	7,21	7,11	7,00
1,030	8,73	8,62	8,51	8,41	8,32	8,22	8,12	8,00
1,034	9,76	9,64	9,52	9,42	9,32	9,21	9,11	9,00
1,038	10,78	10,65	10,52	10,41	10,31	10,20	10,10	10,00
1,042	11,82	11,68	11,55	11,44	11,33	11,23	11,12	11,00
1,047	12,85	12,71	12,57	12,46	12,35	12,24	12,13	12,00
1,051	13,87	13,73	13,58	13,47	13,36	13,25	13,13	13,00
1,055	14,89	14,74	14,59	14,48	14,36	14,25	14,13	14,00
1,059	15,90	15,74	15,59	15,48	15,36	15,24	15,12	15,00
1,064	16,94	16,78	16,61	16,50	16,38	16,26	16,14	16,00
1,068	17,97	17,80	17,63	17,51	17,39	17,27	17,15	17,00
1,072	19,00	18,81	18,63	18,51	18,39	18,27	18,15	18,00
1,077	20,01	19,82	19,63	19,51	19,39	19,26	19,14	19,00
1,081	21,02	20,82	20,62	20,50	20,37	20,25	20,13	20,00
1,085	22,06	21,85	21,64	21,52	21,39	21,27	21,14	21,00
1,090	23,08	22,87	22,66	22,53	22,40	22,28	22,15	22,00
1,095	24,09	23,88	23,66	23,53	23,41	23,28	23,15	23,00
1,099	25,10	24,88	24,66	24,53	24,40	24,27	24,14	24,00
1,104	26,10	25,87	25,65	25,52	25,39	25,25	25,12	25,00

Ablesung (°Plato) auf Bezugstemperatur des Aräometers (i.d.R. 20°C) zurückverfolgen									Dichte (g/ml) 20/4°C
22	24	26	28	30	35	40	50	60°C	
-0,11	-0,24	-0,37	-0,51	-0,65	-1,07	-1,55	-2,64	-3,91	0,998
0,89	0,77	0,64	0,49	0,34	-0,15	-0,67	-1,75	-2,93	1,002
1,89	1,78	1,64	1,49	1,34	0,77	0,20	-0,87	-1,95	1,006
2,89	2,78	2,64	2,48	2,32	1,81	1,30	0,18	-0,95	1,010
3,89	3,78	3,64	3,47	3,31	2,85	2,39	1,22	0,04	1,014
4,88	4,77	4,62	4,45	4,28	3,88	3,47	2,26	1,03	1,018
5,89	5,78	5,63	5,47	5,30	4,89	4,48	3,27	2,04	1,022
6,90	6,78	6,64	6,48	6,31	5,90	5,48	4,27	3,05	1,026
7,90	7,78	7,64	7,48	7,32	6,90	6,48	5,27	4,05	1,030
8,89	8,77	8,63	8,47	8,31	7,89	7,47	6,26	5,04	1,034
9,88	9,75	9,62	9,46	9,31	8,88	8,45	7,25	6,03	1,038
10,89	10,77	10,63	10,47	10,31	9,88	9,45	8,24	7,03	1,042
11,90	11,78	11,64	11,48	11,32	10,88	10,44	9,23	8,02	1,047
12,90	12,78	12,64	12,48	12,31	11,87	11,42	10,22	9,00	1,051
13,90	13,78	13,63	13,47	13,30	12,85	12,39	11,19	9,98	1,055
14,88	14,76	14,62	14,45	14,28	13,82	13,36	12,16	10,95	1,059
15,90	15,78	15,63	15,47	15,30	14,84	14,38	13,18	11,97	1,064
16,90	16,78	16,63	16,47	16,31	15,85	15,39	14,20	12,99	1,068
17,90	17,77	17,63	17,47	17,31	16,85	16,40	15,20	14,00	1,072
18,89	18,76	18,62	18,46	18,30	17,85	17,39	16,20	15,00	1,077
19,87	19,74	19,60	19,44	19,29	18,84	18,38	17,19	15,99	1,081
20,89	20,75	20,61	20,45	20,29	19,84	19,39	18,21	17,02	1,085
21,89	21,76	21,61	21,45	21,29	20,84	20,38	19,21	18,03	1,090
22,89	22,75	22,60	22,44	22,27	21,82	21,37	20,21	19,05	1,095
23,88	23,74	23,59	23,42	23,25	22,80	22,35	21,21	20,05	1,099
24,86	24,72	24,57	24,39	24,22	23,77	23,32	22,19	21,05	1,104

Abbildung 59 - Umrechnungstabelle Bierbrauen (Hanghofer, 2016)

4.4.2. Beitrag zum Physikunterricht

Im Physikunterricht kann mit Aräometern in Gruppenarbeitsphasen die Dichte verschiedener Flüssigkeiten bestimmt werden. Hierfür bietet es sich an die Dichte von Wasser zu bestimmen und als Vergleichswert zu nutzen. Passend zum Thema wurde zur Demonstration hierfür ein Weizenglas benutzt, das außerdem die erforderliche Länge besitzt, siehe Abbildung 60 und Abbildung 61.



Abbildung 60 - Dichtebestimmung von Wasser in einem Weizenglas (500 ml) Abbildung 61 - Nahaufnahme des Aräometers in einem Weizenglas (500 ml)

Mittels der Zugabe von Zucker kann gezeigt werden, dass Zuckerwasser eine höhere Dichte hat und mit steigendem Zuckergehalt zunimmt. Das entspricht also der Würze vor der Gärung, bevor der Zucker zu Alkohol umgewandelt wurde. Während der Gärung sinkt die Dichte aufgrund des entstehenden Alkohols. Um das zu demonstrieren, kann man mit ein wenig Ethanol ein Ethanol-Wasser-Gemisch hergestellt und dessen Dichte bestimmt werden. Wichtig hierbei zu beachten ist die RiSU (Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht), die durch die KMK (Kultusministerkonferenz) beschlossen wurde. Vor allem die Menge an Ethanol und dessen Konzentration sollte vor Unterrichtsbeginn von der Lehrkraft überprüft werden. Da Ethanol leicht entzündlich ist, sollten Flammen vermieden werden und um vor Reizungen mit Haut und Augen zu bewahren, sollten Handschuhe und Schutzbrillen aufgezogen werden. Außerdem hat die Lehrkraft ihrer Aufsichtspflicht nachzukommen (Kultusministerkonferenz, 2023).

Nach der Durchführung der drei Versuche, haben die Schülerinnen und Schüler die Dichte für Zuckerwasser, Wasser und ein Ethanol-Wasser-Gemisch bestimmt. Im Anschluss stellt sich die Frage, wo sich Bier in Bezug auf die Dichte einordnen lässt. Für die Lerngruppe ist bereits nachvollziehbar, dass Bier größtenteils aus Wasser besteht, daneben Alkohol und auch Zucker enthält. Die Lernenden sollen ihre Vermutung abgeben, in welchen Bereich sich Bier von der

Dichte einordnen lässt. Die Lehrkraft spindelt ein Bier und ein Schüler darf ablesen. Dabei zeigt sich, dass Bier etwa im Dichtebereich von Wasser liegt.

Vor der Gärung enthält die Würze noch keinen Alkohol, aber sehr viel Zucker. Dadurch hat sie eine höhere Dichte. Sobald der Zucker in Alkohol und CO₂ umgewandelt wird, wird die Dichte geringer. Jedoch bleibt ein Teil des Zuckers ungelöst im Bier zurück, wodurch sich die Dichte vom fertigen Bier an den Wert des Wassers annähert. So kann für die Schülerinnen und Schüler ein Bezug zu einer realen Anwendung der Dichtebestimmung hergestellt werden. In einigen Berufen, wie Brauer oder Lebensmitteltechnologe spielt die Bestimmung der Dichte eine zentrale Rolle.

Nach dem Exkurs zum Bier kann die Lehrkraft der Lerngruppe weitere Flüssigkeiten zur Dichtebestimmung bereitstellen oder die Lernenden ermutigen (alkoholfreie und ungefährliche) Flüssigkeiten, wie Öl, Kuhmilch, Pflanzenmilch, Essig, Limonade, Cola light, mitzubringen. So können experimentell weitere Dichten bestimmt werden.



Abbildung 62 - Dichte von Zuckerwasser (500 ml Wasser + 100 g Zucker)

In Abbildung 62 erkennt man ein Zuckerwasser-Gemisch, das aus 500 ml Wasser und 100 g Zucker besteht und eine Dichte von $\rho = 1085 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ hat. Demnach werden für die Durchführung des Experimentes kleinschrittige Aräometer empfohlen.

4.5. Schallgeschwindigkeit messen

4.5.1. Physikalische Grundlagen

Die Geschwindigkeit, mit der sich Schall ausbreitet, wird als Schallgeschwindigkeit bezeichnet („Schallgeschwindigkeit“, 2025). Sie ist von dem Medium, dessen Temperatur und dem Druck abhängig und wird mit dem Formelzeichen c abgekürzt. Der Schall ist eine mechanische Welle, er benötigt also ein Medium zur Ausbreitung. Anders gesagt, im Vakuum breitet sich Schall im Gegensatz zu Licht nicht aus. Dabei meint Schall Geräusche, Klänge und Töne, inwiefern die Begriffe unterschieden werden, wird am Ende des Kapitels erklärt. Eine Welle ist eine Schwingung, die sich periodisch im Raum ausbreitet. Dadurch kommt es in der Luft zu Druckschwankungen. Im Regelfall breitet sich Schall als Longitudinalwelle aus. Das heißt, dass die Teilchen längs des Mediums in Bewegungsrichtung der Welle schwingen. In Festkörpern und Flüssigkeiten kann Schall sich jedoch auch als Transversalwelle ausbreiten, die Teilchen schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

Den Entstehungsort von Schall nennt man Schallquelle, an diesem Ort muss das Medium in Schwingung versetzt werden. Den Auslöser für den Schall nennt man Schallsender. Diese Schwingungen breiten sich dann im Medium als Welle aus. Das Medium ist dann der Schallüberträger. Die Ohren sind der Schallempfänger.

Das Betrachten der Zusammensetzung der Luft hilft die Ausbreitung von Schall zu erklären. Luft besteht aus vielen kleinen Luftteilchen. Durch die Anregung des Schallsenders werden diese Teilchen in Schwingung gebracht. Die Luftteilchen werden dann zusammengedrückt, es entsteht eine Luftverdichtung. Schwingt der Schallsender wieder zurück so liegt eine Luftverdünnung vor, die Luftteilchen liegen also weiter auseinander. Je dichter die Teilchen des Mediums beieinander liegen, desto besser kann sich der Schall ausbreiten. Daher breitet sich Schall in festen Stoffen besser aus als in Luft, in Wasser ist er etwa viermal größer als in Luft.

Die Frequenz eines Tons gibt an wie viele Schwingungen ein Teilchen pro Sekunde macht. Sie bestimmt also dessen Klang. Je höher die Frequenz ist, desto höher ist der Ton. Je nach Anregung der Schwingung, schwingt die Welle unterschiedlich schnell. Je nach Frequenz können Menschen diese hören. Also bestimmt die Anregung, ob und wie welches Lebewesen den Schall hören kann.

Man berechnet die Frequenz, indem man den Kehrwert der Dauer einer Schwingungsperiode, also die Periodendauer T , berechnet: $f = \frac{1}{T}$.

Die Begriffe Ton, Klang und Geräusch werden wie folgt unterschieden. Ein Ton ist eine einzelne Schwingung in einer bestimmten Frequenz. Ein Klang ist die Überlagerung von mehreren Tönen und schwingt auch periodisch. Bei Geräuschen hingegen ist die Schwingung unregelmäßig.

Analog zur Ausbreitung von Lichtwellen, werden auch Schallwellen von Oberflächen reflektiert, wenn diese auf sie treffen.

Im weiteren Verlauf werden die physikalischen Aspekte eines Versuchs erläutert, bei dem mittels einer Bügelflasche die Schallgeschwindigkeit gemessen werden kann.

Öffnet man eine Bügelflasche so hört man oft ein charakteristisches „Plopp“-Geräusch (Kasper & Vogt, 2021). Das Geräusch hört man außerdem beim Entkorken von Weinflaschen oder wenn man einen angefeuchteten Finger in den Flaschenhals steckt und ihn herausschnalzen lässt. Der Ton entsteht, dadurch dass die Gassäule, welche sich im Flaschenhals befindet hin- und herschwingt (Koch et al., 2025). Wird die Flasche geöffnet, so kann das Gas plötzlich expandieren. Dadurch kühlt es sich stark ab und das Wasser in der Luft kondensiert, wodurch ein Nebel entsteht. Ein Teil des Gases bleibt jedoch im Flaschenhals und schwingt. Diese Schwingung erzeugt den hörbaren Plopp (Koch et al., 2025).

Durch die Kombination von Reibung zwischen der Flascheninnenwand und dem Korken, sowie der Luftströmung zwischen Korkenrand und Flaschenhals werden verschiedene Frequenzen erzeugt (Kasper & Vogt, 2022). Da die Flasche eine gedackte Pfeife darstellt, also ein einseitig geschlossenes Resonanzrohr (siehe Kapitel 4.6.1), schwingt die Luft in bestimmten Frequenzen. Durch das spezielle Frequenzspektrum, welches von der Flasche verstärkt wird, entsteht der spezielle Klang. Nicht vernachlässigbar ist die Längenkorrektur, auch Mündungskorrektur ΔL genannt. Diese entsteht dadurch, dass die Luftteilchen, welche sich am Rand des Flaschenhalses befinden, mitschwingen und daher außerhalb des Flaschenhalses schwingen. So wird der Wellenbauch also ein

Stück verschoben. Die Mündungskorrektur hängt vom Radius der Flaschenöffnung ab. Es gilt:

$$\Delta L = 0,61 \cdot R$$

Die Schallgeschwindigkeit wird dann berechnet:

$$c = 4 \cdot f \cdot (L + \Delta L)$$

$$c = 4 \cdot f \cdot (L + (0,61 \cdot R))$$

4.5.2. Beitrag zum Physikunterricht

Die Schallgeschwindigkeit kann als Analogie zu dem Licht als Welle thematisiert werden, jedoch ist dies in der Sekundarstufe 1 kein Themenschwerpunkt. Daher wird hier auf einen Beitrag zum Physikunterricht in Form der Betrachtung der Wellenfunktion vermieden.

Im Naturwissenschaftenunterricht wird das Ohr als Sinnesorgan thematisiert. Im Zusammenhang mit der Funktionsweise des Hörvorgangs, sowie der Ausbreitung von Schall, kann der Versuch gezeigt und durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler benötigen dafür keine großen Kenntnisse über die Wellenfunktion. Hier wird der Wert auf das Verständnis der Schallgeschwindigkeit gelegt. Nach Durchführung des Versuchs und Ermittlung des Wertes der Schallgeschwindigkeit können noch weitere Geschwindigkeiten gemessen werden, um mit der Lerngruppe Vergleichswerte zu erstellen. So ist es möglich, dass gemeinsam mit den Schülerinnen und Schüler ein passender Vergleichsrahmen erstellt wird und ein besserer Bezug zu den Werten erfolgen kann.

Für die Durchführung des Experimentes benötigt man eine Bügelflasche und ein Smartphone. Auf das Smartphone lädt man sich eine entsprechende App, um die Schallgeschwindigkeit messen zu können. Hier wird die App *phyphox* genutzt. In der App ist es möglich Versuche zu programmieren und einzuspielen. Diese selbstkreierten Versuche können dann mit anderen geteilt und ebenfalls in die App geladen werden. Für diesen Versuch benötigt man die Datei „Korkenzieher“, die noch nicht als Standardexperiment bei *phyphox* hinterlegt ist.

Einige Aspekte müssen jedoch vor Versuchsbeginn beachtet werden. Zunächst darf die Flasche nicht bis oben zum Korken gefüllt sein, was bei frisch gekauften Flaschen sowieso nicht vorkommt. Außerdem müssen sowohl die Länge L der Gassäule im Flaschenhals als auch der Durchmesser D des Flaschenhalses, in der Regel beträgt dieser 2 cm, ausgemessen werden. Diese Größen müssen dann in Zentimetern in *phyphox* eingetragen werden. Mittels dieser Angaben und der Frequenz des Plopps kann die App dann selbstständig die Schallgeschwindigkeit berechnen, wodurch schwierige Formeln vermieden werden können.

Misst man nun die Schallgeschwindigkeit bei noch nicht geöffneten Bierflaschen, so muss beachtet werden, dass aufgrund der in Kapitel *Abfüllung* beschriebenen Methode, kaum Sauerstoff im Flaschenhals vorhanden ist, sondern hauptsächlich Kohlenstoffdioxid. Dadurch muss der Wert der Messung mit dem Wert der Schallgeschwindigkeit in CO_2 bei entsprechender Temperatur verglichen werden.

Beim Ausprobieren des Versuches wurden bei einer Temperatur des Bieres beziehungsweise des Gases von $T = 13\text{ °C}$ eine Schallgeschwindigkeit von $c_{\text{CO}_2} = 207\text{ m/s}$ und $c_{\text{CO}_2} = 213\text{ m/s}$ gemessen, siehe Abbildung 63. Der Literaturwert beträgt $c_{\text{CO}_2} = 244\text{ m/s}$. Damit liegt der relative Fehler zwischen 13 % und 15 %. Was für die Schule einen akzeptablen Wert darstellt.

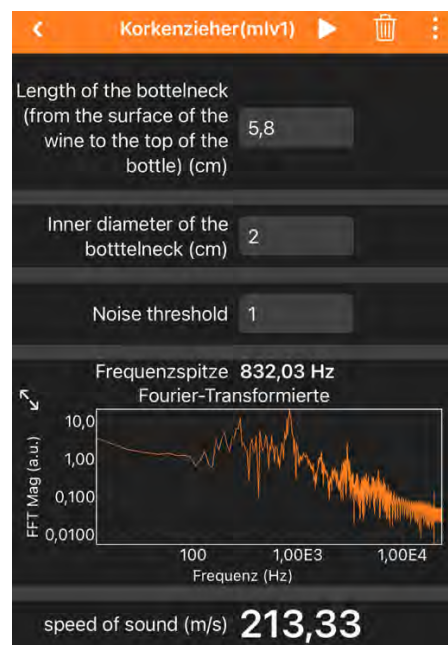


Abbildung 63 - Screenshot Schallgeschwindigkeitsmessung Bier

Führt man den gleichen Versuch mit einer Weinflasche durch, so ergibt sich für die Schallgeschwindigkeit $c = 322 \text{ m/s}$ bei einer Raumtemperatur von $T = 20 \text{ °C}$, siehe Abbildung 64. Damit liegt der Wert mit einem relativen Fehler von 6,1 % sehr nah an dem Literaturwert von 343 m/s.

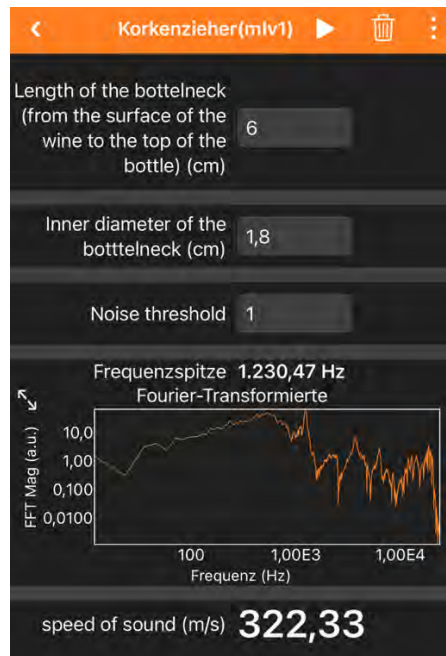


Abbildung 64 - Screenshot Schallgeschwindigkeitsmessung Wein

Zu beachten ist jedoch, dass sich die Durchführung des Versuchs mit der Experimentdatei, die hier vorgestellt wurde, als schwieriger gestaltet hat als zuvor angenommen. Im Gegensatz zu den Versuchen von Lutz Kasper und Patrick Vogt, die sie in mehreren Artikeln sowie in ihrem Buch „Physik mit Barrique“ präsentiert haben (Kasper & Vogt, 2020, 2021, 2022). Dabei haben Kasper und Vogt jedoch andere Apps für das Smartphone verwendet und bei *phyphox* die Datei nicht benutzt. Es wurde mit der App ausschließlich die Frequenz gemessen und daraus dann die Schallgeschwindigkeit berechnet. Die Schallgeschwindigkeit wird dann wie in den physikalischen Grundlagen berechnet. Dies scheint auch die Berechnungsgrundlage für die Experiment-Datei zu sein, jedoch liegt hier das Problem vor allem in der Aufnahme der Frequenz des Experimentes.

4.6. Bierflaschenorgel

4.6.1. Physikalische Grundlagen

Die Grundlagen zur Akustik und zur Erzeugung von Schall wurden bereits im Kapitel 4.5.1 erläutert. Hier werden nun die Grundlagen zur Entstehung von Tönen von Instrumenten, sowie der Unterschied zwischen offenen und gedackten Pfeifen erklärt.

Töne entstehen durch Schwingungen. Bei Instrumenten schwingen Saiten (Gitarre), Membranen (Trommeln), Luftsäulen (Flöte, Pfeife,) oder Stäbe (Xylophon). Durch Schlagen, Zupfen, Streichen oder Blasen wird eine fortlaufende Welle erzeugt. An beiden Enden entstehen durch Reflexionen stehende Wellen. Eine stehende Welle ist die Überlagerung von zwei Wellen, die sich nicht mehr weiterbewegt. Der Körper steht im Kontakt mit Luft, so dass sich Schallwellen ausbreiten und sie für uns hörbar werden. Durch das Erzeugen von Wellen entstehen mehrere Wellen verschiedener Frequenzen, die meisten davon löschen sich gegenseitig aus. Wellen bestimmter Frequenzen schwingen länger. Nur wenn auf die Länge des Instrumentes beziehungsweise des schwingenden Teils, wie beispielsweise die Saite, eine Vielzahl an Bäuche passt, kann die stehende Welle bestehen. Um Töne zu variieren, muss man den schwingenden Teil, wie die Saiten kürzen. Deswegen sind tiefe Instrumente, wie der Kontrabass länger als hohe Instrumente, wie die Geige. Die Länge des Instrumentes hat also mit dem möglichen Frequenzbereich zu tun (siehe Bierflaschen in Abbildung 67). Um die Töne zu variieren kann man aber auch verschiedene Massen oder Spannungen nutzen. Ein bekanntes Beispiel dafür sind die Gitarrensaiten. Die tieferen Saiten haben eine höhere Masse als die hohen Saiten. Durch Drehen der Stimmwirbel am Kopf der Gitarre können die Saiten unterschiedlich gespannt werden, so werden sie auf die jeweilige Frequenz beziehungsweise Musiknote gestimmt. Die Klangkörper schwingen in der Regel mit. Da sie mehr Oberfläche haben, können sie intensivere Schallwellen erzeugen. Besonders bei akustischen Instrumenten wird ein leichter, hölzerner Resonanzkörper verwendet, um den Schall zu verstärken. Im Gegensatz dazu werden bei elektrischen Instrumenten elektromagnetische Tonabnehmer verwendet, um die Saitenschwingungen in elektrische Signale umzuwandeln und mittels eines Verstärkers zu verstärken.

Die Pfeife gehört zu den einfachsten Möglichkeiten stehende Wellen zu erzeugen, da sie aus einem langen schmalen Hohlraum besteht. An den Öffnungen entstehen Turbulenzen, die Schwingungen erzeugen. Die Schwingung kann durch die Luftauslenkung oder den Luftdruck beschrieben werden. Bläst man in eine Pfeife, so erzeugt man eine Schwingung in der Luftsäule innerhalb der Pfeife. Durch die Reflexion und den weiteren Luftstrom entsteht eine stehende Welle, da sich die erzeugte und die reflektierte Welle überlagern. Je höher die Frequenz, desto geringer sind die Wellenberge und desto näher sind die Knoten aneinander. Die Wellenknoten sind Stellen, an denen es kaum bis gar nicht schwingt. Es gibt sowohl Schwingungsknoten als auch Schwingungsbäuche. Zwischen zwei Knoten schwingt alles gleichphasig. Bei stehenden Wellen liegen die Knoten immer um eine halbe Wellenlänge auseinander.

Man unterscheidet zwei Arten der Pfeifen. Es gibt die offenen und die gedeckten beziehungsweise gedackten Pfeifen.

Die offenen Pfeifen haben, wie der Name es schon erahnen lässt, zwei offene Enden. Dort bilden sich die Schwingungsbäuche der Auslenkung, wie beispielsweise bei der Flöte. Dadurch ist an den Enden ein normaler Luftdruck, wohingegen in der Mitte der Flöte der Druck schwankt. Die Frequenz des Grundtons der offenen Pfeife lässt sich wie folgt berechnen:

$$f_0 = \frac{c}{2l}$$

Die Wellenlänge des Grundtons beträgt die doppelte Pfeifenlänge. Für die Obertöne gilt:

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ mit } n = 2, 3, 4, 5, \dots$$

Je nach Anzahl der Knoten oder Bäuchen spricht man von der Grundfrequenz oder den Obertönen.

Die gedackten Pfeifen hingegen, haben ein Ende, das geschlossen ist. An dem geschlossenen Ende entsteht immer ein Bewegungsknoten. Daher ist dort der Druck konstant, während er an der Öffnung der Pfeife variiert. An dieser Stelle befindet sich immer ein halber Schwingungsbauch, wodurch die Schwingung die dreifache Frequenz erhält. Daher ergibt sich für die Berechnung der

Obertöne, dass diese durch ungeradzahlige Vielfache des Grundtons ergeben. Mittels folgender Formel lässt sich die Frequenz des Grundtons der gedackten Pfeife bestimmen:

$$f_0 = \frac{c}{4l}$$

Die Wellenlänge des Grundtons beträgt die vierfache Pfeifenlänge und die Obertöne lassen sich wie folgt berechnen:

$$l = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{4} \text{ mit } n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Da die Luftsäule also mit einem Viertel der Wellenlänge schwingt, ist die gedackte Pfeife eine Oktave tiefer als eine offene Pfeife.

Bei diesem Versuch handelt es sich um gedackte Pfeifen. Am Flaschenhals ist sie offen und das geschlossene Ende stellt der Flüssigkeitsspiegel dar, siehe Abbildung 65.

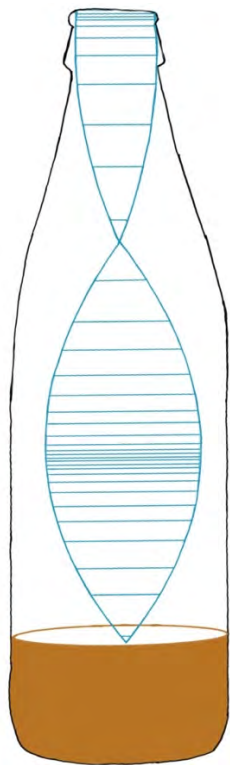


Abbildung 65 - Skizze Wellen in gedackter Pfeife (Bierflasche)

Eine Flasche ist ein Helmholtz-Resonator. Das bedeutet, dass sie ein akustisches System darstellt, in dem es einen Zusammenhang zwischen der Geometrie der mit luftgefüllten Flasche und ihrer Resonanzfrequenz beschreibt (Kasper & Vogt, 2022). Die Resonanz meint das Mitschwingen eines akustischen Systems,

wenn es durch eine äußere Anregung bei seiner Eigenfrequenz getroffen wird. Ein Helmholtz-Resonator ist ein Hohlraum mit einer engen Öffnung, bei der Luft in Bewegung gesetzt wird und dadurch Schwingungen entstehen. Die Luft im Flaschenhals verhält sich wie eine Masse und der Luftraum im Inneren, wie eine Feder, die diese Masse zurückdrückt. Dadurch wird die Resonanzfrequenz erzeugt und der Ton entsteht. Der Ton hängt daher von Form der Flasche und von dem Luftvolumen ab.

Für einen Helmholtz-Resonator gilt für die Grundfrequenz:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot R^2}{V \cdot L}}$$

Dabei stellt R den Öffnungsradius der (Bier-)Flasche dar, V das Volumen des mit luftgefüllten Raumes innerhalb der Flasche, L die effektive Länge des Flaschenhalses, also die Länge zwischen der Flaschenöffnung und dem Flüssigkeitsspiegel und c die Schallgeschwindigkeit (Kasper & Vogt, 2022).

Rechnerisch wird die Grundfrequenz für eine kleine 0,33 l Bierflasche bestimmt, indem man den Radius der Öffnung misst ($R = 1 \text{ cm}$) und die Länge des Flaschenhalses ($L = 9 \text{ cm}$). Das tatsächliche Volumen lässt sich mittels einer Waage bestimmen, indem die Flasche zunächst leer und dann komplett mit Wasser gefüllt gewogen wird ($V = 343 \text{ ml}$). Für die Schallgeschwindigkeit muss zunächst die Temperatur im Raum gemessen und dann der entsprechende Wert für die Temperatur gesucht werden ($c = 342 \text{ m/s}$).

Werden die Werte eingesetzt, so ergibt sich:

$$f_0 = \frac{342 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot (0,01 \text{ m})^2}{(3,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}) \cdot 0,09 \text{ m}}}$$

$$f_0 = 174 \text{ Hz}$$

Im Vergleich dazu der Wert, der mittels einer geeigneten Smartphone-App (hier *phyphox*) ermittelt wird, siehe Abbildung 66.

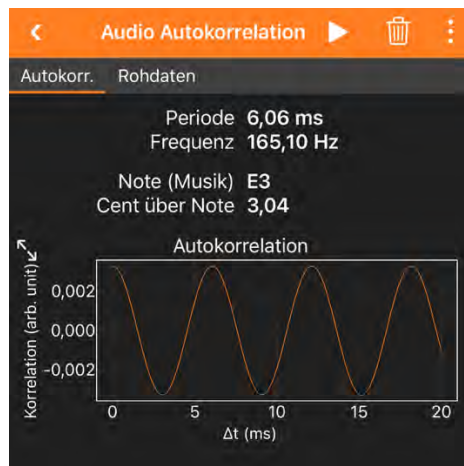


Abbildung 66 - Screenshot (phyphox) Grundfrequenz Bierflasche (330ml)

Der gemessene Wert beträgt ungefähr 165 Hz, womit der relative Fehler bei 5,17 % liegt. Die relative Abweichung ist also gering und zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment.

Mittels der Gleichung des Helmholtz-Resonators lässt sich rechnerisch das Volumen bestimmen (Kasper & Vogt, 2022).

$$V = \frac{c^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot f_0^2 \cdot L}$$

f_0 ist hier die Grundfrequenz für den gewünschten Ton.

Mittels der Formel fürs Volumen lässt sich berechnen wie viel Wasser hinzugefügt werden muss, um die gewünschte Frequenz zu erhalten.

$$V = \frac{\left(342 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot (0,01 m)^2}{4\pi \cdot (196 Hz)^2 \cdot 0,09 m}$$

$$V = 2,69 \cdot 10^{-4} m$$

$$V = 269 ml$$

Das berechnete Volumen von 269 ml ist das Luftvolumen, welches benötigt wird. Das bedeutet dieser Wert muss von dem Gesamtvolumenluft, welches in die Flasche passt abgezogen werden. Es ergibt sich daher:

$$V = 343 ml - 269 ml = 74 ml$$

Es müssen 74 ml Wasser in die Flasche gefüllt werden, um das Luftvolumen von 343 ml auf 269 ml zu reduzieren und um eine Frequenz von 196 Hz zu erreichen.

Damit ergibt sich ein relativer Fehler von 6,69 % für das Luftvolumen. Somit ist der Versuch sehr nah am theoretischen Wert und kann in der Schule gut thematisiert werden.

4.6.2. Beitrag zum Physikunterricht

Im Physikunterricht lässt sich ein Bierflaschen-Orgelorchester mithilfe der Lerngruppe erstellen. Die Lehrkraft muss hierfür zur Vorbereitung genügend Flaschen sammeln, ausspülen und gut trocknen lassen. Bestenfalls hat jeder Schüler eine eigene Flasche, um hygienisch arbeiten zu können. Die Lehrkraft sucht ein Lied aus, bestimmt die Noten und teilt Gruppen ein. Je Gruppe wird eine Musiknote zugeordnet. Die Schülerinnen und Schüler müssen dann gemeinsam mit ihren Flaschen die richtige Füllhöhe für ihre Note finden. Das funktioniert mit Smartphone-Apps wie *phyphox*. Im Modus „Audio Autokorrelation“ können sie den entstehenden Ton bestimmen und mit Wasser, welches sie in die Flasche geben, verändern. Haben alle Gruppen ihre Füllstände der Flaschen korrekt bestimmt, so kann geübt werden, im Rhythmus den Ton zu spielen. Dies ermöglicht fachübergreifend zu unterrichten und den Musikunterricht mit dem Physikunterricht zu verbinden. Zur Differenzierung bietet es sich an den Gruppen verschiedene Flaschengrößen zu geben. Dabei können die Lernenden untersuchen, welche Unterschiede die Form beziehungsweise die Länge oder das Volumen der Flasche macht. Für sehr talentierte Kinder und Jugendliche kann auch ein Vergleich zu den Formeln gezogen werden.



Abbildung 67 - Flaschenorgel (330 ml, 500 ml, 1 l)

In der obigen Abbildung werden drei Flaschen unterschiedlicher Volumina gezeigt. Links ist eine kleine Flasche für 330 ml, in der Mitte eine 500 ml Flasche und rechts befindet sich eine 1L Flasche. Mit allen drei Flaschen wurden die möglichen Frequenzen beziehungsweise Musiknoten ausprobiert. Mit einem flüssigen Korrekturmittel (*TippEx*) wurde mit einem Strich die benötigte Füllhöhe des Wassers für die jeweilige Musiknote, die mit einem goldenen Stift nebendran geschrieben wurde, markiert. Erkennbar ist dabei, dass die Möglichkeiten an Musiknoten bei der 1L Flasche am größten sind. Die Note D4 (hoch) kann mit jeder dieser Flaschen erreicht werden, wohingegen nur die 1L Flasche den Ton A2 (tief) erreichen kann. Es bietet sich daher an, bevor ein Lied gespielt werden soll, sich über die Noten zu informieren.

4.7. Das „Schlauchen“

4.7.1. Physikalische Grundlagen

Soll eine Flüssigkeit aus einem Behälter in einen anderen umgefüllt werden, so erweist sich diese Aufgabe manchmal als schwierig. Mit zwei Behältern und einem Schlauch kann dies jedoch gelingen.



Abbildung 68 - Schlauchen beim Bierbrauen

Der aufgrund der Gewichtskraft des Wassers zustande kommende Druck, heißt Schweredruck. Es gilt: $p = \rho \cdot g \cdot h$. Er ist also abhängig von der Dichte, der Gravitationskonstante, sowie von der Höhe. Die Form des Gefäßes hat keinerlei Relevanz.

Der Behälter mit der Flüssigkeit wird höher platziert als der zweite Behälter, siehe Abbildung 68. Nun gibt es zwei Varianten um die Flüssigkeit in den zweiten Behälter zu „schlauchen“.

Variante 1: Luft anziehen

Ähnlich einem Strohhalm kann auch bei dem Schlauch mit dem Mund Luft angezogen werden. Der Schlauch wird dafür in die Flüssigkeit in den Behälter oben gehängt, sodass dieser bis zum Gefäßboden reicht. Das andere Ende des Schlauches wird in den Mund genommen und daran gesogen bis der Schlauch mit der Flüssigkeit gefüllt ist. Durch das Ansaugen entsteht ein Unterdruck im Schlauch auf der Seite, an der angesaugt wird, um dieses auszugleichen fließt die Flüssigkeit aus dem Behälter zum Unterdruck. Befindet sich die Flüssigkeit schon über dem Behälterrand, so kann das Schlauchende in den auf dem Boden stehenden Behälter gehalten werden. Die Flüssigkeit bewegt sich aufgrund der Schwerkraft und dem Prinzip der kommunizierenden Röhren in den Behälter unten.

Variante 2: Schlauch mit Wasser füllen

Vor allem in Bezug auf die Lebensmittelherstellung ist das Verwenden eines mit Wasser gefüllten Schlauches hygienischer. Hierbei wird zunächst der Schlauch komplett mit Wasser gefüllt und beide Enden werden gleich hochgehalten. Aufgrund des Prinzips der kommunizierenden Röhren ist die Flüssigkeitssäule in beiden Teilen in der gleichen Höhe.

Durch Zuhalten der Enden des Schlauches kann nun mit einem Ende in die Flüssigkeit eingetaucht und mit dem anderen Ende die Öffnung in den leeren Behälter gehalten werden. Beim Hobbybrauen wird dies aus hygienischen Gründen mit einem Siphon anstelle der Hand gemacht. Durch den nun vorhandenen Höhenunterschied der beiden Öffnungen und dadurch, dass beide Behälter nun durch den Schlauch kommunizierende Röhren sind, wird die Flüssigkeit aus dem Behälter oben die Behälterwand nach oben und dann runter zum zweiten Behälter fließen.

Prinzip des Schlauchens

Beide Varianten funktionieren nach demselben Prinzip, siehe Abbildung 69.

Der Druck p_{oben} ergibt sich aus dem Luftdruck p_{Luft} , dem Schweredruck der Flüssigkeit im Behälter oben $p_{Flüssigkeit}$, und dem Schweredruck der Flüssigkeit, welche sich im Schlauch zwischen Schlauchende und höchsten Punkt $h_{l,oben}$ befindet $p_{Fl,h1}$ (Berthold, 2012).

Daher ergibt sich:

$$p_{oben} = p_{Luft} + p_{Flüssigkeit,oben} - p_{Fl,h1}$$

Analog dazu gilt für den Druck p_{unten} :

$$p_{unten} = p_{Luft} + p_{Flüssigkeit,unten} - p_{Fl,h2}$$

Mit $p_{Flüssigkeit,unten}$ beschreibt den Schweredruck des Wassers, welches sich im Behälter unten befindet, $p_{Fl,h2}$ ist der Schweredruck der Flüssigkeit, welche sich im Schlauch zwischen Schlauchende und höchsten Punkt $h_{2,oben}$ befindet.

Zwischen den Schlauchenden existiert also die Druckdifferenz:

$$\Delta p = p_{oben} - p_{unten} = \frac{\rho \cdot A \cdot (h_{oben} - h_{unten}) \cdot g}{A} = \rho \cdot \Delta h_{1,2} \cdot g$$

Mit $\Delta h_{1,2}$ der Höhenunterschied zwischen dem Flüssigkeitsspiegel in Behälter 1 und Behälter 2.

Aus dieser Druckdifferenz entsteht die resultierende Kraft, welche für die Beschleunigung des Wassers vom oberen Behälter mit höherem Druck zum unteren Behälter niedrigeren Drucks verantwortlich ist. Dieses Prinzip funktioniert bis die Flüssigkeitssäulen in beiden Behältern die gleiche Höhe erreichen. Ist dieser Punkt erreicht, so besteht keine Druckdifferenz mehr und es wirkt keine Kraft (Berthold, 2012).

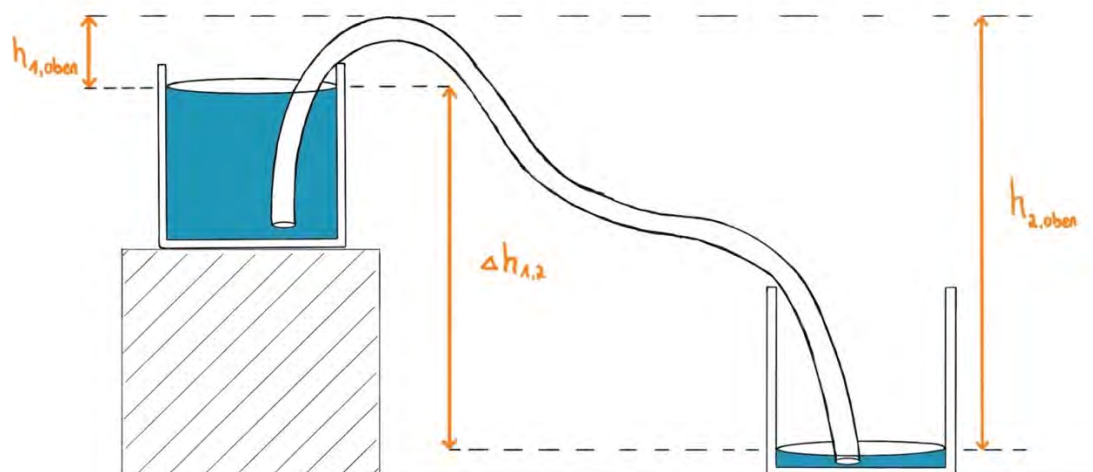


Abbildung 69 - Skizze zum "Schlauchen"

4.7.2. Beitrag zum Physikunterricht

Das Experiment bietet sich an um konzeptuelles Verständnis, Problemlösefähigkeiten und Transferorientierung zu fördern. Hierbei kann die Lehrkraft die Aufgabe stellen die Flüssigkeit aus einem Behälter in einen anderen zu bringen, ohne die Gefäße zu bewegen oder zu kippen. Dafür müssen die Behälter in unterschiedlichen Höhen positioniert sein. Zur Verfügung stellt die Lehrkraft einen Schlauch und kann noch weitere Objekte dazulegen, um es schwieriger zu gestalten. Dabei kann daraus auch ein Wettbewerb gestaltet werden, bei der die schnellste Gruppe gewinnt.

Die Schülerinnen und Schüler sind so gefordert Hypothesen zu bilden, sich auszutauschen und ihr Vorwissen zu Druck und Schwerkraft anzuwenden. Setzt man das Problem in den Kontext, wie beispielsweise das Umfüllen der Würze beim Hobby-Bierbrauen, so werden die Lernenden in eine alltagsnahe Problemstellung geführt, die ihr Interesse sowie die Motivation fördert. Durch das eigene Experimentieren wird das Verständnis physikalischer Theorien vertieft. Im Anschluss kann die Aufgabe gestellt werden, zu erklären, wie man Wasser aus einem Aquarium entfernen kann, ohne dass die Fische das Aquarium verlassen. Hierbei sollen die Schülerinnen und Schüler den Vorgang nochmals mit der physikalischen Theorie und den Fachbegriffen eigenständig erklären.

5. Fazit & Ausblick

Insgesamt zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass sich das Thema Bier als Kontext in den Physikunterricht integrieren lässt. Hierbei können verschiedene Themengebiete der Physik verschiedener Jahrgangsstufen genutzt werden. Dabei wird nicht nur das Schülerinteresse gesteigert, sondern auch eine Möglichkeit geboten die Alkoholprävention in einem Kontext anzuwenden. Dies zeigt ein hohes Potenzial, da die Möglichkeit geboten wird, den Kontext mit einem ungezwungenen Gespräch über einen verantwortungsbewussten Alkoholkonsum zu verbinden.

In dieser Arbeit konnten die physikalischen Phänomene: Rotationsbewegung, Hebelgesetz, Teetasseneffekt, Dichte, Schallgeschwindigkeitsmessung, (Bier-) Flaschenorgel, kommunizierende Röhren und Schweredruck anhand des Kontextes erklärt und dazu je ein Unterrichtsbeitrag entwickelt werden. Weitere mögliche Experimente für den Physikunterricht in diesem Kontext wären: der Tornado, Bierflaschen und ihre Farben, das Refraktometer zur Dichtebestimmung, implodierendes Bierfass, die Nebelbildung beim Öffnen einer Bierflasche und die Dichteanomalie.

Der Kontext Bier ermöglicht die Motivationssteigerung, sowie einen Lebensweltbezug für Schülerinnen und Schüler. Kritisch zu betrachten ist jedoch die Altersangemessenheit und der nötige sensible Umgang.

Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass sich Bier als Kontext nutzen lässt. Es ist möglich so dem Abwärtstrend des Interesses entgegenzuwirken. Jedoch fehlen hier noch empirische Untersuchungen. Dabei könnte zum einen der Kontext Bier mit anderen Kontexten verglichen werden, um seine Wirksamkeit zu untersuchen. Des Weiteren wäre es möglich zu analysieren, ob durch Auswechslung des Bieres durch beispielsweise Limonade, ein ähnliches Interesse erzielt werden kann.

Für Lehrkräfte ergeben sich aus dieser Arbeit diverse Unterrichtsbeiträge, die einen ungewöhnlichen Kontext und eine neue Herangehensweise aufzeigen.

6. Literaturverzeichnis

Alkoholvergiftungen. (o. J.). Abgerufen 15. Oktober 2025, von <https://www.kenn-dein-limit.de/alkoholkonsum/zahlen-und-grafiken/im-krankenhaus-wegen-alkoholvergiftung/>

Aräometer. (2024). In *Wikipedia*.

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ar%C3%A4ometer&oldid=245741164>

Berthold, C. (2012). *Physikalische Freihandexperimente* (4. Aufl.). Aulis-Verl. Deubner.

BIÖG: Neue BZgA-Daten zum Alkoholkonsum 12- bis 25-Jähriger: Rauschtrinken bei Jugendlichen steigt auf Vor-Corona-Niveau. (o. J.-a). Abgerufen 25.

September 2025, von <https://www.bioeg.de/aktuelles/2024-11-04-neue-bzga-daten-zum-alkoholkonsum-12-bis-25-jaehriger-rauschtrinken-bei-jugendlichen-steigt-auf-vor-corona-niveau/>

BIÖG: Neue BZgA-Daten zum Alkoholkonsum 12- bis 25-Jähriger: Rauschtrinken bei Jugendlichen steigt auf Vor-Corona-Niveau. (o. J.-b). Abgerufen 15. Oktober 2025, von <https://www.bioeg.de/aktuelles/2024-11-04-neue-bzga-daten-zum-alkoholkonsum-12-bis-25-jaehriger-rauschtrinken-bei-jugendlichen-steigt-auf-vor-corona-niveau/>

Biringer, E. (2022, April 23). Alkohol und Gesellschaft: Wir sind nur so lange abhängig vom Alkohol, wie wir ihn konsumieren. *Die Zeit*. <https://www.zeit.de/zeit-magazin/leben/2022-04/alkohol-gesellschaft-konsum-sucht-genuss/seite-2>

Blume, R. (2015, September 15). *Prof. Blumes Medienangebot: Alkohol*. <https://www.chemieunterricht.de/dc2/r-oh/alk-bierbr.htm>

Die Hefe. (o. J.). *Bayerisches Bier*. Abgerufen 25. September 2025, von <https://www.bayerisches-bier.de/bier-wissen/hefe/>

- DSB_Jahresbericht_2020_bf.* (o. J.). Abgerufen 21. Oktober 2025, von https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/5_Publikationen/Drogen_und_Sucht/Berichte/Broschuere/DSB_Jahresbericht_2020_bf.pdf
- Duit, R., & Mikelskis-Seifert, S. (o. J.). *Kontextorientierter Physikunterricht.*
- Gysin, D., Bollmann, S., & Brovelli, D. (2024). Die Nutzung von Transferstrategien beim Transfer von physikalischen Konzepten zum Thema Energie in Zusammenhang mit kontextorientiertem Unterricht und situationalem Interesse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 30(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s40573-024-00173-4>
- Handwerkliches Bierbrauen.* (o. J.). Deutsche UNESCO-Kommission. Abgerufen 2. November 2025, von <https://www.unesco.de/staette/>
- Hanghofer, H. (2016). *Gutes Bier selbst brauen: Schritt für Schritt - mit Rezepten.* BLV. <https://www.froelichundkaufmann.de/essen-und-trinken/getraenke/gutes-bier-selbst-brauen-schritt-fuer-schritt-mit-rezepten-blv-getraenke.html>
- Hebel | LEIFIphysik.* (o. J.). Abgerufen 13. September 2025, von <https://www.leifiphysik.de/mechanik/einfache-maschinen/grundwissen/hebel>
- Hebel (Physik). (2025). In *Wikipedia*. [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hebel_\(Physik\)&oldid=258914474](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hebel_(Physik)&oldid=258914474)
- Heidböhmer, C. (2025, Oktober 11). *Tag des Bieres: Warum deutsches Bier Weltkulturerbe werden muss.* stern.de. <https://www.stern.de/genuss/trinken/stammtisch/tag-des-bieres--wieso-deutsches-bier-weltkulturerbe-werden-sollte-6825714.html>
- Hessisches Kultusministerium. (2023). *Handreichung Suchtprävention in der Schule.*
- Hoy, A. W. (Verfasser), & Schönplflug, U. (Verfasser. (2014a). *Pädagogische Psychologie* (12., aktualisierte Auflage). Pearson.

- Hoy, A. W. (Verfasser), & Schönplflug, U. (Verfasser). (2014b). *Pädagogische Psychologie* (12., aktualisierte Auflage). Pearson.
- Hoy, A. W. (Verfasser), & Usher, E. L. (Verfasser). (2025a). *Pädagogische Psychologie* (15., aktualisierte Auflage). Pearson.
- Hoy, A. W. (Verfasser), & Usher, E. L. (Verfasser). (2025b). *Pädagogische Psychologie* (15., aktualisierte Auflage). Pearson.
- Jugendliche und Alkohol | Maßvoll genießen.* (o. J.). Abgerufen 9. Oktober 2025, von <https://www.massvoll-geniessen.de/gesundheit/jugendliche>
- Jugendschutzgesetz Alkohol: Alkohol? Kenn dein Limit.* (o. J.). Abgerufen 25. September 2025, von <https://www.kenn-dein-limit.de/alkoholberatung/informationen-fuer-eltern/jugendschutzgesetz-alkohol/>
- Kasper, L., & Vogt, P. (2020). Corkscrewing and speed of sound: A surprisingly simple experiment. *The Physics Teacher*, 58(4), 278–279.
<https://doi.org/10.1119/1.5145480>
- Kasper, L., & Vogt, P. (2021, Dezember 20). *Plopp: So schnell ist der Schall.* pro-physik. <https://pro-physik.de/nachrichten/plopp-so-schnell-ist-der-schall>
- Kasper, L., & Vogt, P. (2022). *Physik mit Barrique: Eine Weinprobe in 50 Experimenten* (1st ed. 2022). Springer Berlin Heidelberg.
- Koch, M., Tervo, M., Manso Sainz, R., Lechner, C., & Mettin, R. (2025). On the popping sound and liquid sloshing when opening a beer bottle. *Physics of Fluids*, 37(3), 036135. <https://doi.org/10.1063/5.0248739>
- Krey, O. (Herausgeber), Bernholt, S. (Herausgeber), Laumann, D. (Herausgeber), & Rabe, T. (Herausgeber). (2025). *Interesse revisited: Interessenforschung im Bereich Naturwissenschaften* (1st ed. 2025). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kultusministerkonferenz. (2023, September 21). *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU).*

- Kumrić, H. (Verfasser), & Roser, F. (Verfasser). (2020). *Experimentalphysik: Mechanik : Grundlagen und Aufgaben zu Massenpunkten, Newton, Fluiden & Co.* (1st ed. 2020). Springer Berlin Heidelberg.
- Leinfelden-Echterdingen, K. M. G. (o. J.). *Deutsche Brautradition: 500 Jahre Reinheitsgebot* | *wissen.de*. Abgerufen 13. September 2025, von <https://www.wissen.de/deutsche-brautradition-500-jahre-reinheitsgebot>
- Mälzen. (2024). In *Wikipedia*.
<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A4lzen&oldid=249637391>
- Mould, S. (2022, Juli 18). *The Inverted Whirlpool Paradox—YouTube*.
<https://www.youtube.com/>
- Müllmaier, M. (2024, Februar 29). *Bier nur auf Platz 5: Die beliebtesten Getränke der Deutschen*. CHIP. https://www.chip.de/news/Bier-nur-auf-Platz-5-Die-beliebtesten-Getraenke-der-Deutschen_185164828.html
- Nathusius, I. (o. J.). *Branche in der Krise: Weniger Bier für mehr Geld*. tagesschau.de. Abgerufen 4. September 2025, von <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/biermarkt-brauereien-100.html>
- Nawrath, D., & Komorek, M. (2013). Kontextorientierung aus Sicht von Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN*, 19, 233–257.
- Nolte, D. (2019). *Heute brau' ich, morgen back' ich* |.
<https://braumagazin.de/article/rumpelstilzchen/>
- Physik, W. der. (2019a, Dezember 27). *Warum sammeln sich Teeblätter in der Mitte?*
<https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/warum-sammeln-sich-teeblaetter-in-der-mitte/>

- Physik, W. der. (2019b, Dezember 27). *Warum sammeln sich Teeblätter in der Mitte?*
<https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/warum-sammeln-sich-teeblaetter-in-der-mitte/>
- Redders, T. (2018, Oktober 23). STAMMWÜRZE: Was ist das eigentlich?
Hopfenhelden | Das Biermagazin.
<https://www.hopfenhelden.de/stammwuerze-was-ist-das-eigentlich/>
- Roth, S. (Verfasser), & Stahl, A. (Verfasser). (2022a). *Mechanik: Experimentalphysik – anschaulich erklärt* (2nd ed. 2022). Springer Berlin Heidelberg.
- Roth, S. (Verfasser), & Stahl, A. (Verfasser). (2022b). *Mechanik: Experimentalphysik – anschaulich erklärt* (2nd ed. 2022). Springer Berlin Heidelberg.
- Rundfunk, W. (o. J.). *Wie, du trinkst nichts? Vom Druck, sich ständig zu rechtfertigen.*
 wdr.de. Abgerufen 10. Oktober 2025, von <https://reportage.wdr.de/keinen-alkohol-trinken-menschen-berichten-von-unangenehmen-erfahrungen>
- Schallgeschwindigkeit. (2025). In *Wikipedia*.
<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schallgeschwindigkeit&oldid=259499845>
- Schnellbach, J., & Gehrke, J. (2024, Januar 26). *Alkohol, Cannabis & Rauchen bei Jugendlichen: Welche Nebenwirkungen hat der Konsum?* SWR3.
<https://www.swr3.de/aktuell/service/alkohol-cannabis-rauchen-nebenwirkungen-umgang-mit-jugendlichen-100.html>
- Volksdroge Alkohol: Unterschätzt und mit vielfältigen Risiken.* (o. J.). Abgerufen 25. September 2025, von <https://www.das-parlament.de/inland/gesundheit/volksdroge-alkohol-unterschaetzt-und-mit-vielfaeltigen-risiken>
- Wann wird Alkoholkonsum problematisch?* (o. J.). Abgerufen 15. Oktober 2025, von <https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/alkohol/problematischer-konsum>
- Welberg, J., Laumann, D., & Heinicke, S. (2021). „Und für wen ist dieser Kontext?“ – Studien zu Kontexten und Interessen im Physikunterricht unter Beachtung von

Gender und Selbstkonzept. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1150>

Wilhelm, T. (Hrsg.). (2023). *Digital Physik unterrichten. Grundlagen, Impulse und Perspektiven. 1. Auflage*. Klett Kallmeyer.

Zentrifuge. (2024). In *Wikipedia*.

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zentrifuge&oldid=247249543>

Zentripetalkraft | *LEIFIphysik*. (o. J.). Abgerufen 30. August 2025, von

<https://www.leifiphysik.de/mechanik/kreisbewegung/grundwissen/zentripetalkraft>

7. Anhang

7.1. Brauprotokolle

Tschechisches Pilsener
(5.82) DK-Buch 4 3/4
mit Kristall

SPEIDEL Brauprotokoll

Basisdaten		
Datum: 18.02.23	Beginn Brauprozess – Uhrzeit: 11 ⁰⁰	Ende Brauprozess – Uhrzeit: 16 ⁰⁰
Rezept		
Malz kg – Hopfen g – Wasser Ltr.: 3,5 kg Bio-Pilsener-Malz	Saazer Pellets Typ 90 6% α	8,7 L Maische 15 L Nachguss 23,7 L
Brauprozess		
Prozessphase	Temperatur	Dauer
Einmaischen:	62°C	30 min
1. Phase Eiweißrast:		
2. Phase Maltoserast:	62°C	30 min
3. Phase Verzuckerungsrast 1:	65°C	30 min
4. Phase Verzuckerungsrast 2:	72°C	45 min
Jodprobe:	Abläutern: 78°C	Nachguss – Ltr.:
Messung Würzegehalt IST:	°Plato: 13	Liter: 15,8 l
Messung Würzegehalt SOLL:	°Plato: 12	Liter: 1,6 l
Würzekochen:	Gesamtdauer: 75 min	1. Hopfenzugabe: 24g 2. Hopfenzugabe: 1x 10 min vor Kochende 2x 12g 1x bei Kochende
Ausschlagen: 15,6 l	Abkühlen:	Würzeentnahme:
		Abfüllen:
		Würzegehalt - °P: 10,8 g/l
Gärprozess/ Nachreifeprozess		
Gärbeginn – Datum: 18.-19.02.23	Gärtemperatur: 13-14°C	
Abfülldatum – Datum: 05.03.23	Würzegehalt - °P:	Würzezugabe: 1,33 l Karanaka 0,5-l-Flaschen Reifebehälter: Silber
Verkostung		
Geschmack, Farbe, Schaumverhalten, Kohlensäure, Fehler: Druck ≈ 2 bar		
Verbesserungen		
Temperatur korrekter mischet 13° Plato → 15° Plato		



bayr. Weizen Nr. 1

Brauprotokoll mit Christin

Basisdaten

Datum: 19.08.22	Beginn Brauprozess – Uhrzeit: ca. 11 ³⁰ h	Ende Brauprozess – Uhrzeit: ca. 17 ⁴⁵
-----------------	--	--

Rezept

Malz kg – Hopfen g – Wasser Ltr.:

4,3 kg
2,58 kg Weizen (1)
1,72 kg Pilsner (5)

~~38,4 g~~
40 g

31,1 l

Brauprozess

Prozessphase		Temperatur	Dauer		
Einmaischen:		35°C	/		
1. Phase Eiweißrast:		55°C	15 min		
2. Phase Maltoserast		63°C	35 min		
3. Phase Verzuckerungsrast 1:		73°C	20 min		
4. Phase Verzuckerungsrast 2:		78°C	20 min		
Jodprobe: /	Abläutern:	78°C	Nachguss – Ltr.: 16,7		
Messung Würzegehalt IST:		°Plato: 13,5	Liter: ca. 15,7 l		
Messung Würzegehalt SOLL:		°Plato: 12,5	Liter: ca. 21 l		
Würzekochen:		Gesamtdauer: 75 min 75 min	1. Hopfenzugabe: 26g 2. Hopfenzugabe: 14g		
Ausschlagen: ca. 17 l	Abkühlen:	Würzeentnahme:	Abfüllen:	Würzegehalt - °P:	Hefezugabe:

Gärprozess/ Nachreifeprozess

Gärbeginn – Datum: 19.08.22		Gärtemperatur: 18–22°C	
Abfülldatum – Datum: 26.08.22	Würzegehalt - °P: 12,5	Würzezugabe: 1,75l Karamell	Reifebehälter: 1-l. Biggflasche

Verkostung

Geschmack, Farbe, Schaumverhalten, Kohlensäure, Fehler:

Verbesserungen

7.2. Mentimeter Auswertung (Physik Klasse 9 an IGS in Bad König)

