

Vergleich verschiedener Methoden zur Messung der Austrittsgeschwindigkeit des Geschosses einer Vakuumbazooka

Noah Kramer, Valentin Mülfarth, Philemon Flachsmeyer, Sami Razzoume, Stefan Wentzel, Prf. Dr. Krabbe

1. Einleitung

Mit einer sogenannten „Vakuumbazooka“ lässt sich ein Projektil abschießen. Dabei variiert allerdings die Schussweite in Abhängigkeit verschiedener Parameter wie zum Beispiel Abschusswinkel, Masse des Projektils oder Stärke des Staubsaugers.

Die Abhängigkeit der Schussweite von diesen Parametern wollten wir zunächst untersuchen. Um eindeutige Aussagen machen zu können ergab sich dann schnell die Notwendigkeit, die Abschussgeschwindigkeit der Projektile zu bestimmen. Zur Bestimmung dieser Geschwindigkeit fanden wir verschiedene Messmethoden, die wir nun miteinander vergleichen wollen. Bei den Messmethoden handelte es sich um die Bestimmung der Geschwindigkeit mithilfe der **Schussweite**, einer **Videoanalyse** und einem **ballistischen Pendel**.

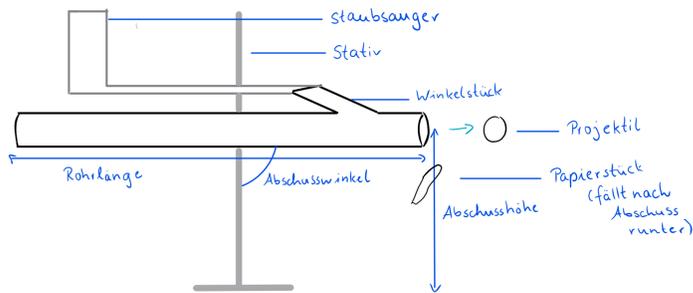


Bild 1: Skizze Versuchsaufbau Bazooka

Die „Vakuumbazooka“ besteht aus einem Staubsauger, einem längeren Rohr und einem Winkelstück. Der Staubsauger wird an das Winkelstück angeschlossen. Zudem wird an das eine Ende ein Papier- oder Pappstück gehalten, welches dann vom Staubsauger angesaugt wird. Nun entsteht ein Unterdruck im Rohr. Wenn man nun ein Projektil vor das andere Ende des Rohres hält und loslässt, drückt die nachströmende Luft das Projektil nach vorne weg. Auf Grund der Trägheit schießt es an der Ansaugstelle vorbei, so dass es aus dem Rohr hinaus geschossen wird.

Als Projektil verwenden wir ein mit Schrauben gefülltes Plastik. Im Folgenden sprechen wir deshalb nur von „Ei“.

Für alle Messungen konstante Parameter: Masse des Eis: 13g
Höhe des Rohres: 90cm
Länge des Rohrs: 1m

2. Vergleich der drei Messverfahren

Videoanalyse

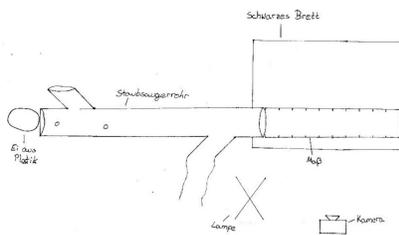


Bild 2: Skizze Versuchsaufbau Videoanalyse

Wir haben probiert eine möglichst gute Videoqualität zu erhalten, indem wir sehr helles Licht auf das Maßband geworfen haben und noch dazu ein schwarzes Brett hinter dem Maßband platziert haben. Die Kamera wurde möglichst mittig vom Maßband aus platziert, damit nicht allzu große Messfehler auftreten. Durch die 2 Löcher, welche links am Rohr zu erkennen sind, wurde bei den jeweiligen Versuchen ein Nagel gesteckt. Dadurch wurden erneut Messfehler, welche durch das unterschiedliche Hereinlegen des Eies hätten erscheinen können, vermieden.

Theoretischer Hintergrund

$$v = s/t$$

Messergebnisse

Aufnahme der Bewegung mit GoPro mit 240f/s

Versuch	Anzahl Bilder	Distanz in cm	v in km/h
1.	25	98	33,87
2.	17	96	48,79
3.	16	100	54,00
4.	15	97	55,87
5.	17	98	49,81
6.	16	99	53,46
7.	17	103	52,35

Mittelwert: 52km/h
(1. Messung nicht berücksichtigt)

Diskussion

Durch die kurze betrachtete Strecke direkt nach dem Abschuss spielen Reibungsverluste bei dieser Messung nur eine kleine Rolle. Allerdings liegen durch die Position der Kamera und der daraus entstehenden Parallaxe noch andere Fehler und Ungenauigkeiten vor. Diese könnte man durch geometrische Auswertung der Aufnahmesituation heraus rechnen.

Ballistisches Pendel

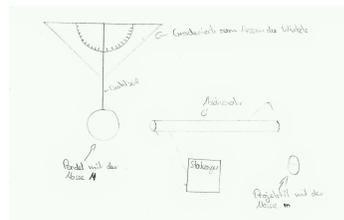


Bild 3: Skizze Versuchsaufbau Pendel

Theoretischer Hintergrund

Ein ballistisches Pendel dient zur Bestimmung der Geschwindigkeit **v** eines Geschosses mit einer bekannten Masse **m**.

Dazu wird, basierend auf dem Prinzip der Energieerhaltung, die Kugel mit der Masse **m** in ein Pendel mit der bekannten Masse **M** geschossen. Durch die Impulsübertragung wird das Pendel samt der Kugel angehoben und die kinetische Energie wird in potenzielle Energie umgewandelt. Somit lässt sich nun anhand des maximalen Winkels α die potenzielle Energie bestimmen durch welche sich die gemeinsame kinetische Energie des Pendels und des Geschosses ableiten lässt.

Wenn die Reibung vernachlässigt wird, dann gilt hierfür folgender Formel

$$v = \frac{(m + M)}{m} \sqrt{2gr(1 - \cos \alpha)}$$

Messergebnisse

Versuche	Winkel in °	Höhe in cm	v in km/h
1.	19	2,10	35,0
2.	18	1,88	33,2
3.	19	2,10	35,0
4.	18	1,88	33,2
5.	18	1,88	33,2
6.	19	2,10	35,0
7.	18	1,88	33,2

Mittelwert: 34km/h

Diskussion

Das Projektil trifft das Pendel nicht im Schwerpunkt und bringt es zum Rotieren. Dabei geht Energie in die Rotationsbewegung, was zu unkontrollierten Fehlern führt.

3. Diskussion

Beim Einsatz der verschiedenen Messmethoden fiel auf, dass die Ergebnisse der einzelnen Messungen variierten. Doch woran liegt dies?

Immerhin handelt es sich zum Beispiel bei der Videoanalyse um eine gängige Methode im Sport oder bei der des ballistischen Pendels um ein übliches Messverfahren für Geschossgeschwindigkeiten.

Wenn man die Mittelwerte der einzelnen Ergebnisse vergleicht fällt auf, dass die Videoanalyse am höchsten ist. Dies liegt daran, dass bei den anderen Messungen relativ viel Energie „verloren geht“ und die gemessenen Geschwindigkeiten dadurch kleiner sind.

Bei der Schussweite ist dies die Reibung mit der Luft, durch die Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt wird.

Beim ballistischen Pendel wird dieses vom Projektil nicht ganz frontal getroffen was dazu führt, dass sich das Pendel nicht genau nach vorne bewegt, sondern zum einen zu rotieren beginnt, zum anderen sich leicht schräg und nicht ganz gerade nach vorne.

Nur bei der Videoanalyse spielen Energieverluste aufgrund des kurzen betrachteten Flugweges nur eine untergeordnete Rolle. Die Schussweite muss mit dem bloßen Auge bestimmt werden, was das Ergebnis relativ ungenau macht. Jedoch ist hier immer noch der Vorteil, dass der Schuss an sich nicht beeinflusst ist und man hier zwei Messmethoden, nämlich die des Videos und der Schussweite, parallel nutzen kann. Beim ballistischen Pendel hingegen ist dies nicht möglich, da der Schuss ja „gestoppt“ wird.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass es einen besseren Aufbau der Messmethoden benötigt, um genauere Ergebnisse zu erhalten. Welches der Verfahren genutzt werden sollte ist im Sachzusammenhang zu entscheiden.

Für eine Untersuchung der Parameterabhängigkeit der Schussweite wäre für unsere Möglichkeiten die Videoanalyse die geeignetste Messmethode.

Schussweite

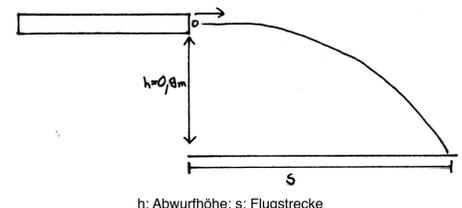


Bild 4: Skizze Versuchsaufbau Schussweite

Theoretischer Hintergrund

Um die Geschwindigkeit des Projektils mithilfe der Schussweite bestimmen zu können, braucht man die Höhe der Mündung des Rohres über dem Aufschlagpunkt **h**; durch diese Höhe ergibt sich die Zeit **t** welche das Ei braucht, um auf dem Boden aufzukommen.

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

Da die Höhe immer konstant bleibt, bleibt auch die Zeit konstant.

Die Geschwindigkeit ergibt sich aus

$$v = \frac{s}{t} = \frac{s}{\sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}} = s \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot h}}$$

Messergebnisse

Versuche	Schussweite in m	v in m/s	v in km/h
1.	4,3	10,0	36,1
2.	4,1	9,6	34,4
3.	5,4	12,6	45,3
4.	5,1	11,9	42,8
5.	4,7	11,0	39,5
6.	5,1	11,9	42,8
7.	5,2	12,1	43,7

Mittelwert: 42km/h

Diskussion

Wegen der langen Flugzeit und der hohen Abschussgeschwindigkeit, verliert das Ei bei dieser Messmethode durch Reibung deutlich Energie. Wir haben den Aufschlagort und damit die Schussweite des Eis nur mit dem Auge im Vergleich zu einem am Boden liegenden Maßband bestimmt. Dies führte zu Ungenauigkeiten.