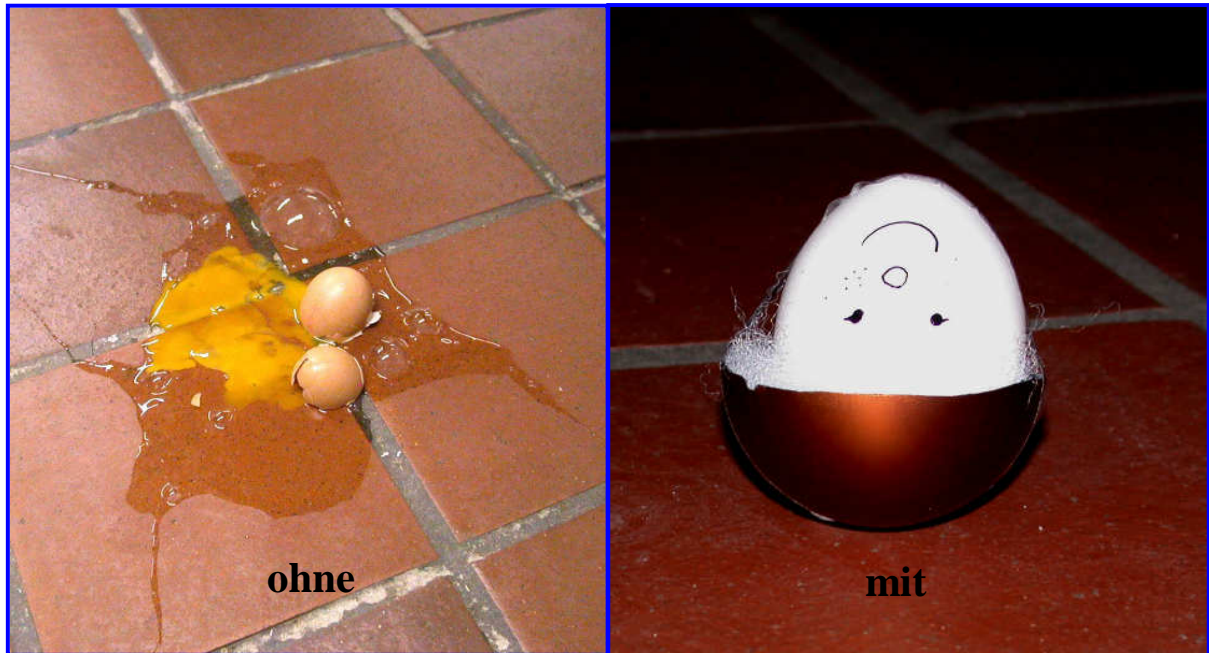


Der Eiersturzhelm



Eine Schüler experimentieren – Arbeit von

Benjamin Nöke und Tjarko Rahlf

2008

Der Eiersturzhelm

1. Kurzfassung.....	2
2. Zielsetzung.....	2
3. Eier statt Köpfe.....	3
4. Theorie.....	4
4.1 Freier Fall ohne Luftreibung.....	4
4.2 Freier Fall mit Luftreibung.....	5
5. Planung der Versuche.....	7
6. Bau der Eiersturzhelme und Durchführung der Versuche	8
7. Versuchsdeutung.....	11
8. Ausblick.....	12
9. Danksagung.....	12

1. Kurzfassung

Ziel unserer „Schüler experimentieren“ - Arbeit ist es einen Fahrradsturzhelm zu entwickeln, der den Kopf des Radfahrers besser schützt, als die bisher im Handel erhältlichen Sturzhelme. Als Kopfersatz verwendeten wir bei unseren Experimenten rohe Hühnereier. Als erstes testeten wir einen Styroporhelm. Er schützt das Ei bis zu einer Fallhöhe von 4,20m. Danach bauten wir Helme aus unterschiedlichen Materialien und führten mit ihnen zahlreiche Fallversuche durch. Unsere besten Helme waren mit Zucker oder Salz gefüllt. In ihnen überlebten die Eier auch Stürze aus 10m Höhe. Dies entspricht einer Geschwindigkeit von ungefähr 50 km/h. Mittels mikroskopischer Untersuchungen fanden wir die Erklärung dafür, warum der von uns entwickelte Sturzhelm ein Ei soviel besser schützt, als ein normaler Styroporhelm.

2. Zielsetzung

Wir wollen einen neuartigen Fahrradsturzhelm herstellen, der viel besser schützt als ein herkömmlicher Sturzhelm. Dabei wird der Sturz so stark abgebremst, dass selbst ein rohes Ei bei sehr hoher Geschwindigkeit und heftigem Aufprall nicht kaputt geht. Dafür benötigen wir ein Material, das einen Sturz besser abfängt als Styropor.

Um dieses Stoff zu finden, testen wir verschiedene Materialien. Anhand des Zustandes der Eier (kaputt / nicht kaputt) entschieden wir, welcher Stoff am besten geeignet ist. Wenn dieser Stoff besser abschneidet als Styropor, dann untersuchen wir ihn unter dem Mikroskop um herauszufinden, nach welchem Prinzip bei ihm die Dämpfung funktioniert.

3. Eier statt Köpfe



Abb. 3.1 Ein normales Ei ohne Sturzhelm geht ab etwa 2,5cm kaputt

Da wir unseren Kopf nicht für diese Versuche hinhalten wollten, nahmen wir einen „Eierkopf“ als Ersatz. Das heißt, wir wollten ein Hühnerei für unsere Sturzhelmxperimente verwenden. Dazu mussten wir uns erst über Hühnereier kundig machen. Uns ging es dabei aber nicht um die biologischen, sondern um die physikalischen Details. Die Masse des Eies hängt von der Art und dem Alter des Huhnes und vom Futter ab. 9-12% von der Masse sind die Schale. Die Schale ist ca. 0,35 - 0,4 mm dick und an manchen Stellen dünner als an anderen. Sie ist bogenförmig, wodurch es belastbarer wird. Allerdings fanden wir auch heraus, dass jedes Ei unterschiedlich ist. Manche Eier halten einfach mehr aus als andere.

Gewichtsklasse	Beschreibung	Gewicht
XL	Sehr groß	über 73g
L	Groß	63-73g
M	Mittel	53-64g
S	Klein	unter 53g

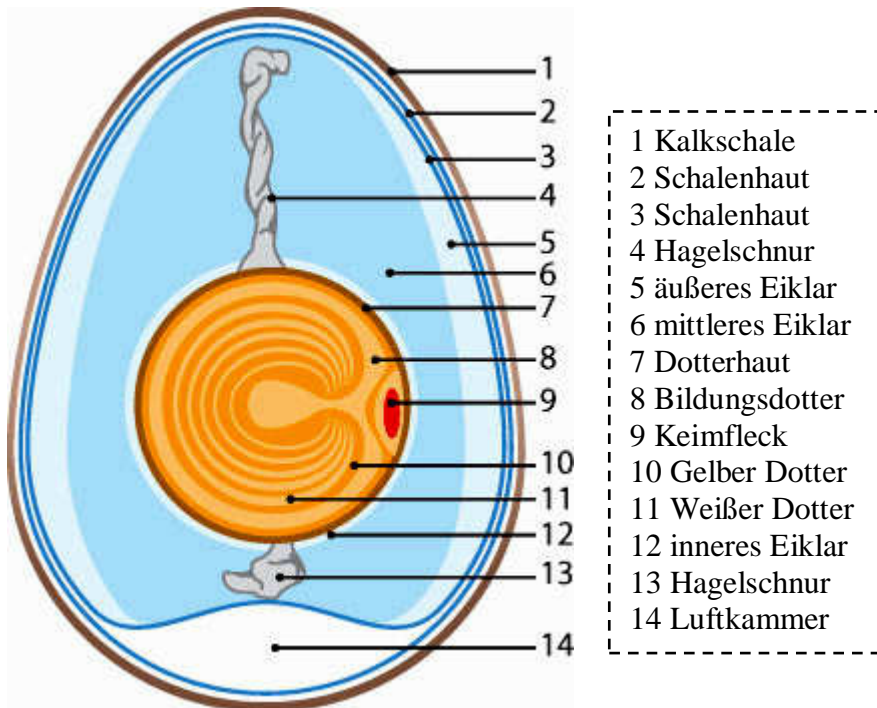


Abb. 3.2 Aufbau eines Hühnereies
Quelle: Wikipedia

Da alle Eier unterschiedlich sind, müssen wir alle Versuche öfters machen und einen Mittelwert bilden. Dann stellte sich noch die Frage, ob man das Ei mit einem menschlichen Kopf vergleichen kann. Von der Form sind Ei und Kopf natürlich etwas verschieden. Der Schädelknochen ist dicker als die Eierschale, aber im Verhältnis stimmt die Dicke der Schale mit der Dicke des Schädelknochens überein. Damit war der Kopf da, wir brauchten nur noch den Helm.

4. Theorie

4.1 Freier Fall ohne Luftreibung

Wenn das Ei auf den Boden stürzt, dann wirkt eine Kraft auf das Ei.

Diese ist definiert durch die Formel: $F = m \cdot a$

Mit $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ wird klar, dass bei einem großen Δt ein kleines a entsteht und somit auch eine kleines F . Es wirkt also eine kleine Kraft F auf das Ei, wenn wir das Ei möglichst langsam abbremsen. Wir benötigen folglich eine gute Knautschzone.

Der Eiersturzhelm

In der Theorie müssen wir einiges rechnen, denn Fahrradfahrer stürzen ja mit einer bestimmten Geschwindigkeit und nicht aus 10 m Höhe. In unseren Versuchen stellte das Ei den Kopf dar. Die Sturzhöhe h des Eies müssen wir dann nur mit der Formel

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ms}^{-2} \cdot h}$$

einsetzen, um die Geschwindigkeit v in ms^{-1} zu erhalten.

Zuerst rechnen wir ohne Luftreibung, da man sie bei geringen Fallhöhen vernachlässigen kann. Da man im Straßenverkehr mit der Einheit km/h rechnet, müssen wir das Ergebnis mit 3,6 multiplizieren um es in km/h umzurechnen. Für die verschiedenen Höhen zeichnen wir eine Fallkurve.

Freier Fall eines Eies mit Eiersturzhelm ohne Luftreibung

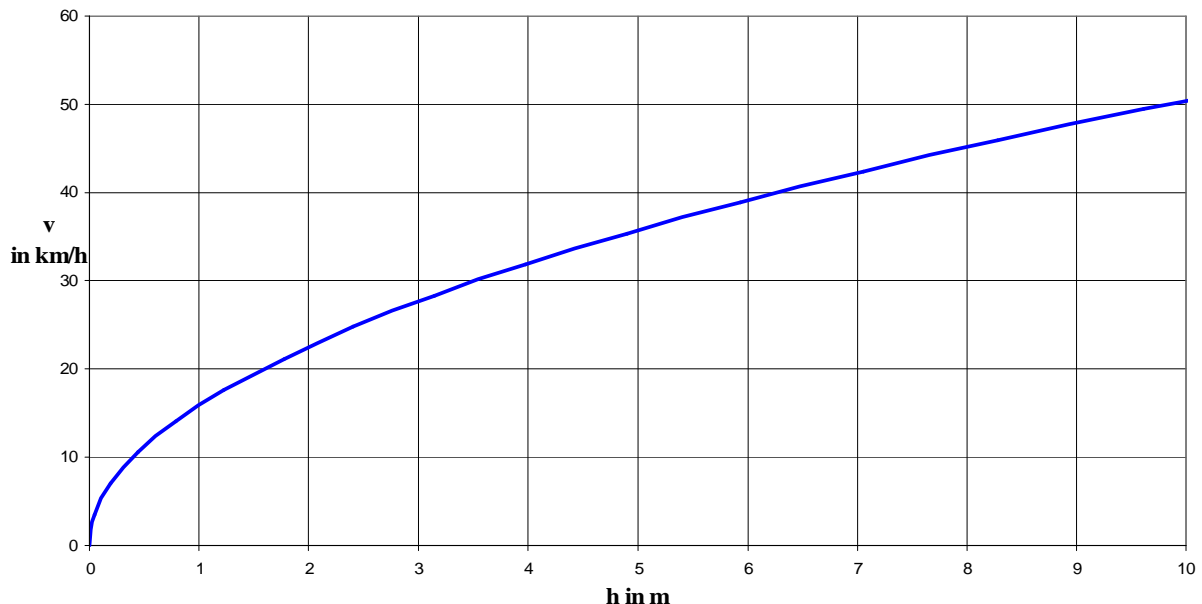


Abb. 4.1 Freier Fall unseres Eiersturzhelms ohne Luftreibung

Wenn der Helm bei einem Versuch 10m aushält, dann hätte er ohne Luftreibung eine Geschwindigkeit von 50 km/h ausgehalten. Das ist in etwa die Höchstgeschwindigkeit die ein Fahrradfahrer bergab fährt. Mit Berücksichtigung der Luftreibung werden die Ergebnisse natürlich noch genauer.

4.2 Freier Fall mit Luftreibung

Die Theorie zum freien Fall mit Luftreibung ist schon komplizierter. Man benötigt außer dem Wert der Höhe h auch noch die Dichte des durchströmten Mediums ρ , also in unserem Fall der Luft, die Querschnittsfläche A , den Widerstandsbeiwert c_w . Außerdem muss man in kleinen Zeitabständen iterativ rechnen, d.h. man nimmt für einen kleinen Zeitraum Δt , z.B. 0,1s, den Wert der Beschleunigung, der Geschwindigkeit und der Strecke als konstant an. Für die Berechnung des nächsten Wertes setzt man dann den soeben errechneten Wert ein.

Beispiel:

Der Eiersturzhelm

Ein Ei mit Eiersturzhelm ($m = 100 \text{ g}$; $\varnothing = 12 \text{ cm}$; $c_w = 0,4$) fällt einmal im Vakuum und einmal in Luft ($\rho_{\text{Luft}} = 1,293 \text{ kgm}^{-3}$).

Für den Luftwiderstand F_L gilt $F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$

c_w = Widerstandsbeiwert

ρ = Dichte der Luft in kgm^{-3}

A = Schattenfläche in m^2 $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,06 \text{ m})^2 = 0,011 \text{ m}^2$

v = Geschwindigkeit in ms^{-1}

Diese Gleichung lässt sich wie folgt vereinfachen:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

$$m \cdot a_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

$$a_L = k \cdot v^2 \quad \text{mit } k = \frac{c_w \cdot \rho \cdot A}{2m} \quad [k] = 1\text{m}^{-1}$$

Mit den obigen Werten erhalten wir für k den Wert: $k = 0,028446 \text{ m}^{-1}$

Da wir für die Bewegung mit Luftreibung keine einfache Gleichung aufstellen können, versuchen wir die obige Aufgabe mit Excel schrittweise zu lösen.

D.h.: Für kleine Zeiträume Δt (z.B. $\Delta t = 0,1 \text{ s}$) betrachten wir die resultierende Beschleunigung $a_n = g + a_L = -9,81 \text{ ms}^{-2} + k \cdot v^2$ als konstant.

Als Startwerte setzen wir: $t_0 = 0 \text{ s}$ $v_0 = 0$ $a_0 = -9,81 \text{ ms}^{-2}$ $s_0 = 0 \text{ m}$

Mit diesen Werten konnten wir nun die Geschwindigkeit unseres Sturzhelms mit Excel berechnen und eine Grafik erstellen.

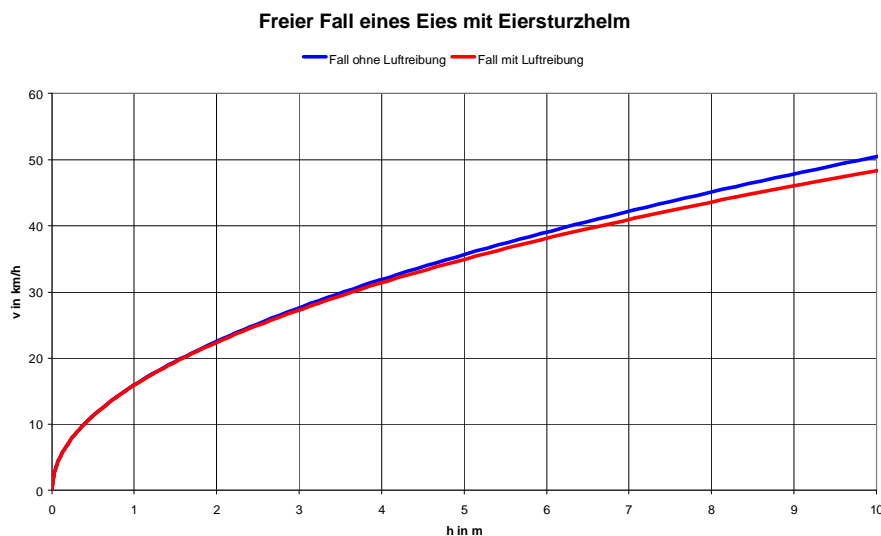


Abb. 4.2 Freier Fall eines Eies mit Eiersturzhelm ohne

Wie man der Grafik entnehmen kann, ist der Unterschied bei den kleinen Fallhöhen gering.

5. Planung der Versuche

Für unsere Versuche benutzen wir verschiedene Materialien. Neben Styropor und Watte benutzen wir auch Materialien aus unserer Küche, wie Wackelpudding, Mehl, Zucker und Salz. Wir lassen sie aus verschiedenen Höhen mit den Eiern fallen, bis sie 10m erreicht haben (eine größere Fallhöhe gibt es in unserer Schule nicht) oder bis sie kaputtgehen. Wenn man einen Fehler entdeckt (Konstruktionsfehler, falsches Aufkommen) wird der Versuch wiederholt. Wir vergrößern die Höhe in kleineren Schritten um zu wissen ab welcher Höhe das Material versagt. Dadurch können wir dann ganz genau die Höchstgeschwindigkeit für einen Helm aus diesen Material ausrechnen. Außerdem unterscheiden sich die Bauformen von den verschiedenen Helmen. Die Watte hat eine halbe Weihnachtskugel als Schale. Der Wackelpudding ist in einem Brötchen. Das Styropor braucht keine Schale und Mehl, Salz und Zucker sind nur in einem Beutel. Styropor ist das Material, aus dem die Fahrradhelme zurzeit gemacht sind, steht also für den alten Helm. Von Salz, Zucker und Wackelpudding erhofften wir, dass sie wegen ihrer Verformbarkeit die einwirkende Energie verteilen. Wir fertigten eine Tabelle mit den verschiedenen Höhen an, bei denen das Ei kaputt geht.

6. Bau der Eiersturzhelme und Durchführung der Versuche

Für unseren Brötchensturzhelm schneiden wir ein backfrisches Brötchen bei etwa 1/3 der Länge auf und füllten es mit Wackelpudding. Nun legten wir das Ei hinein und befüllten noch die Zwischenräume. Wir überlegten uns, dass der Wackelpudding aufgrund seiner Eigenschaft die auftretende Energie bei einem Sturz sehr gleichmäßig verteilt.

Für den Sturzhelm aus Styropor erstellen wir mit Hilfe einer heißen Kugel eine passgenaue Mulde in einem Styroporblock. Außerdem befestigten wir das Ei nach oben hin mit Klebeband, damit es nicht herausfallen konnte.



Abb. 6.1 Brötchensturzhelm (der Styroporblock ist nur der Standfuß)



Abb. 6.2 Styroporsturzhelm

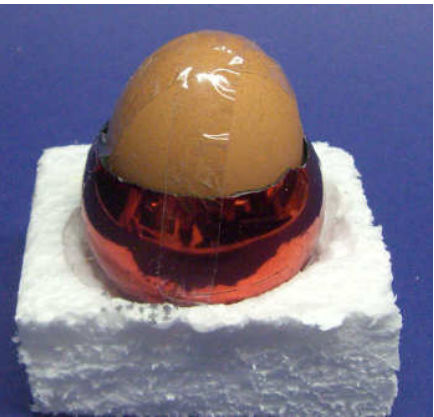


Abb. 6.3 Weihnachtskugelsturzhelm (der Styroporblock ist nur der Standfuß)



Abb. 6.4 Fallexperiment mit dem Styroporsturzhelm

Für den Helm aus einer Weihnachtskugel sägten wir eine Plastik-Kugel auf und lagerten das Ei darin auf Watte. Nach oben hin benutzten wir zur Sicherung des Eis wieder Klebeband.

Nun begaben wir uns an die Durchführung. Wir platzierten die große Leiter in einem Flur unserer Schule und befestigten ein Maßband um die Höhe feststellen zu können. Benjamin kniete neben der vermuteten Auftreffstelle, um den Sturzhelm nach seiner Landung auffangen zu können, falls dieser nach dem Auftreffen auf dem Boden nicht kontrollierbar herumfliegen würde und das Ei im Sturzhelm deshalb kaputtgeht, z.B. weil der Sturzhelm auf dem Boden zunächst richtig auftrifft, dann aber wieder hochfliegt und schief landet.

Der Boden im Flur besteht aus Stein, stellt also eine äußerst harte Oberfläche dar und damit härteste Bedingungen für unsere Sturzhelme.

Wir begannen unsere Versuche jeweils bei einem halben Meter und steigerten dann weiter auf einen Meter. Nachdem die Sturzhelme diese Höhe überstanden hatten vergrößerten wir die Fallhöhe immer in 20cm Schritten.

Der Eiersturzhelm



Abb. 6.5 Salz in einer Plastiktüte als Sturzhelm



Abb. 6.6 Mehl in einer Plastiktüte als Sturzhelm



Abb. 6.7 Zucker in einer Plastiktüte als Sturzhelm

Schnell stellten wir jedoch fest, dass der Schwerpunkt des Sturzhelms nicht unterhalb des Eis ist und sich so der ganze Helm während des Fluges dreht. Im Falle des Styroporhelms erreicht die blanke, ungeschützte Oberfläche des Eis den Boden zuerst und das Ei geht natürlich kaputt. Also lagerten wir kleine Bleiplättchen im unteren Teil des Sturzhelms ein, sodass dieser mit der Styroporseite zuerst auf den Boden auftrifft.

Zusätzlich zu diesen Helmen füllten wir teilweise Zucker, sowie Salz und Mehl in eine Plastiktüte um die auftretenden Eigenschaften beim Fall aus entsprechender Höhe zu untersuchen. Bereits schnell wurde klar, dass die als zunächst zwecklos für die Verwendung als Sturzhelm angesehenen Plastiktüten mit Zucker und Salz als Inhalt weit mehr aushalten als gedacht. Sie übertrafen nicht nur die Höhe von 2,5m, die von der großen Leiter aus zu erreichen war, das Ei überlebte sogar den Sturz aus 10m Höhe. Das ist der größtmögliche Wert, den die Höhe bei unseren Versuchen annehmen konnte. Der Mehlsturzhelm erbrachte wenig Erfolge. Das Ei zerbrach bereits nach geringer Höhe.



Abb. 6.8 Das rohe hat dem Fall aus 10m Höhe überstanden



Abb. 6.9 Treppenhaus unserer Schule: Höhe 10m

Unsere Versuchsergebnisse

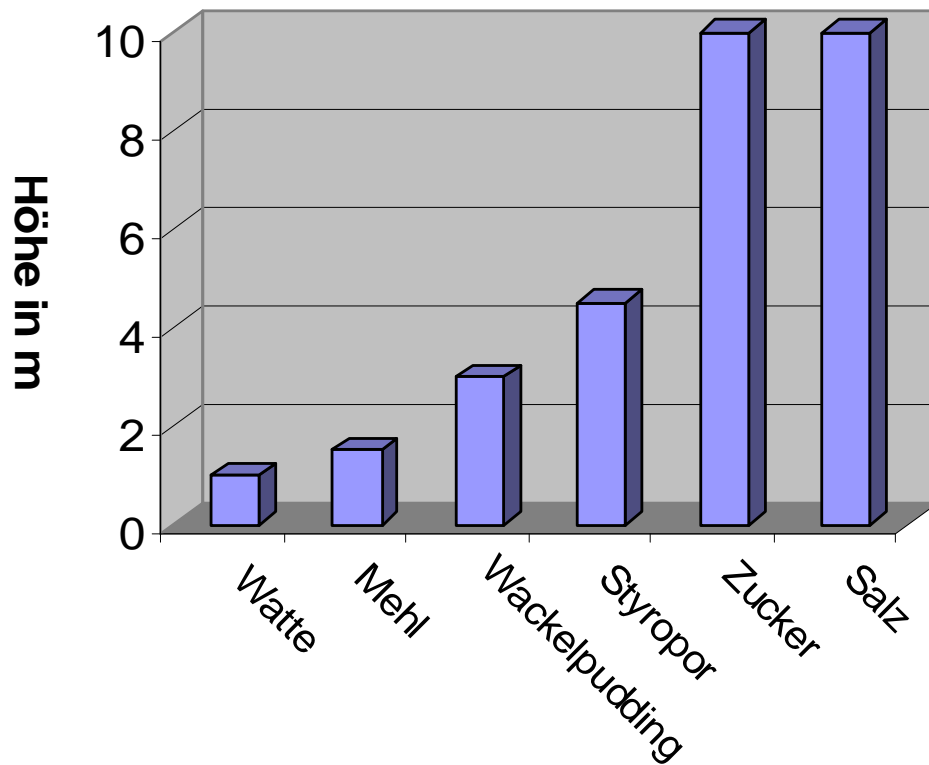


Abb. 6.10 Die Versuchsergebnisse unserer Fallversuche

7. Versuchsdeutung

Im Vergleich zwischen Zucker, Salz und Mehl wird klar, dass Zucker und Salz eine körnige Struktur aufweisen, die Mehl nicht besitzt. Salz und Zucker können sich so beim Aufprall im Beutel im Gegensatz zum Mehl sehr gut ausbreiten. Durch die Reibung untereinander wird die Energie entwertet. Dies scheint ein sehr entscheidender Faktor zu sein.

Um herauszufinden, warum genau der Zucker und das Salz die Eier trotz der enormen Höhe vor dem Zerschlagen schützen, entschieden wir uns beide Stoffe unter dem Mikroskop näher zu betrachten. Hierfür benutzten wir ein Dunkelfeldmikroskop. Das Besondere an diesem Mikroskop ist, dass das einfallende Licht der Lampe am Objektiv vorbeigeleitet wird und nur

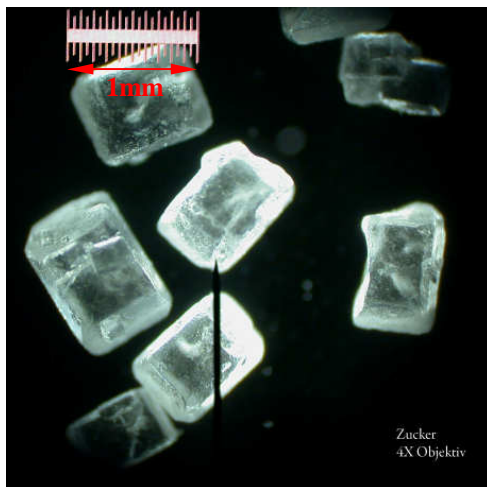


Abb. 7.1 Zucker unter dem Dunkelfeldmikroskop

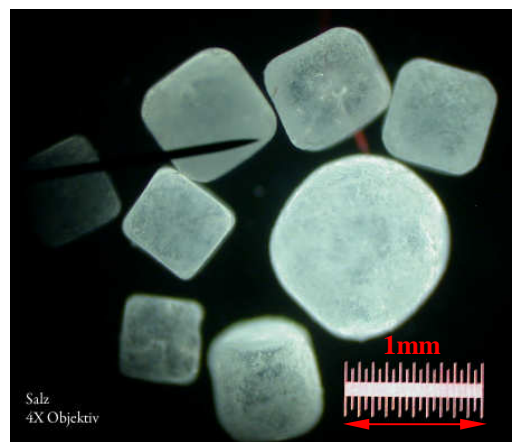


Abb. 7.2 Salz unter dem Dunkelfeldmikroskop

der Lichtstrahl, welcher am zu untersuchenden Stoff gestreut oder gebrochen wird in das Objektiv einfällt und so sichtbar wird. So lassen sich feine Strukturen besser erkennen und untersuchen. Die Aufnahmen unter dem Mikroskop zeigen die typische Kandiszuckerform der einzelnen Zuckerteilchen. Um Gegensatz zum Zucker sind die Ecken des Salz eher abgerundet. Da beide, Zucker und Salz, das Zerschlagen des Eis aus 10m verhinderten, wird klar, dass die unterschiedliche Form in diesem Fall eher unbedeutend ist.

Wichtig ist, dass die Zuckerkörner aneinander vorbei gleiten können und was besonders wichtig ist, dass die Bewegungsenergie des Eis durch die hierbei auftretenden Reibungskräfte ganz gleichmäßig abgebremst wird. D.h.: Dass das Ei überlebt hängt nicht nur von der Abbremszeit Δt ab, sondern wie in dieser Zeit die Abbremsung erfolgt. Wie man der Abbildung 7.3 entnehmen kann, geht bei gleicher Abbremszeit Δt das Ei bei der Abbremsfunktion 1 im Bereich A kaputt und bei der Abbremsfunktion 2 im Bereich C. Nur bei der Abbremsfunktion 2 würde das Ei überleben.

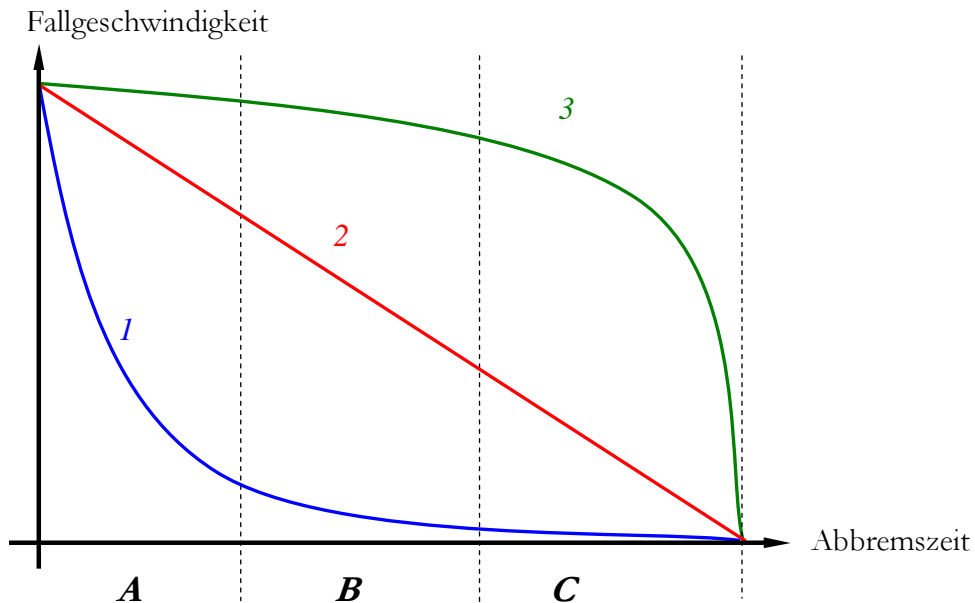


Abb. 7.3 Änderung der Fallgeschwindigkeit während der Abbremszeit

Fazit:

Wichtig für das Überleben des Eis ist eine große Abbremszeit Δt , in der die Geschwindigkeit des Eies gleichmäßig verringert wird.

8. Ausblick

So sind wir unserem Ziel sehr nahe gekommen einen perfekten Sturzhelm für Fahrradfahrer zu entwickeln. Wir kennen nun den Mechanismus, wie man den Kopf eines Radfahrers abbremsen muss, sodass er keine Schäden davonträgt. An der praktischen Umsetzung arbeiten wir zurzeit, denn der Helm muss so mit Zucker gefüllt sein, dass dieser sich während des Sturzes ausbreiten kann, sodass der Kopf hierdurch infolge der Reibungskräfte gleichmäßig abgebremst werden kann.

Da uns am Wettbewerbstag keine 10m Höhe zur Verfügung stehen planen wir eine Beschleunigungsapparatur mit dem wir ein Ei auf kurzer Strecke auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigen können.

9. Danksagung

Für viele fachliche Anregungen bedanken wir uns bei unserem Physiklehrer Walter Stein und unserem Mitschüler Stefan Hück. Auch bedanken wir uns bei Laura Limito und Christina Krebs, ohne die wir nie auf die Idee gekommen wären eine Schüex-Arbeit über einen Eiersturzhelm zu schreiben.