

# Dynamik

28.12.2018

## 1 Der Impuls

### 1.1 Vorüberlegungen

Der Impuls muss laut Bildungsplan Baden-Württemberg bis zum Ende der Jahrgangsstufe 8 qualitativ eingeführt sein. Seine Bedeutung für den Bildungsplan hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. Nicht zuletzt verdankt er diesen Bedeutungszuwachs dem Erfolg des "Karlsruher Modells", das neue didaktische Ansätze in den Physikunterricht einführte.

Dies ist sicherlich eine positive Entwicklung, weil sie eine intensive Diskussion über pädagogisch-didaktische Fragen entfacht hat. Als ich zum ersten Mal vor dem Problem stand, den Impuls in Klasse 8, so wie es unser Schulcurriculum vorsah, einzuführen, habe ich mich gefragt, welche Versuche dazu möglich sind, die unmittelbar genug sind, um den Schülern den Begriff "Wucht" in einer Form nahezubringen, dass daraus zumindest je-desto-Beziehungen abgeleitet werden können.

Der folgende Versuch wurde von den Schülern sehr positiv aufgenommen, die Ergebnisse wurden problemlos richtig eingeordnet.

### 1.2 Vorwissen

Besprochen waren die üblichen Beispiele wie Experimentierwagen, Eisenbahnwaggon, Ozeandampfer, Einschlagen eines Nagels, usw.

### 1.3 Vorbereitung

Schiefe Ebene mit Experimentierwagen und Zusatzmassen, ein Kraftsensor mit selbst gebautem Stoßaufsatz (siehe Bild) und zugehöriger Auswertungssoftware sowie etwas Knetmasse

### 1.4 Durchführung

Der Kraftsensor wird am unteren Ende der schiefen Ebene befestigt und der Stoßaufsatz angebracht. Nun wird der Experimentierwagen mit Knetmasse gepuffert und dann mit verschiedenen Geschwindigkeiten und verschiedenen

Zusatzmassen durch inelastische Stöße mit dem Kraftsensor zum Stillstand gebracht. Das jeweilige Kraft-Zeit-Diagramm wird aufgezeichnet. Die Einstellung der Messfrequenz sollte auf  $10^3 \text{ s}^{-1}$  gestellt werden.

Die Auswertung findet parallel zur Durchführung statt.

### 1.5 Auswertung

Die Kraft-Zeit-Diagramme werden den entsprechenden Geschwindigkeiten und Massen des Experimentierwagens zugeordnet. Die Schüler erkennen sofort, dass die Höhe des Kraftpeaks durch Masse und Geschwindigkeit



Abbildung 1: Kraftsensor

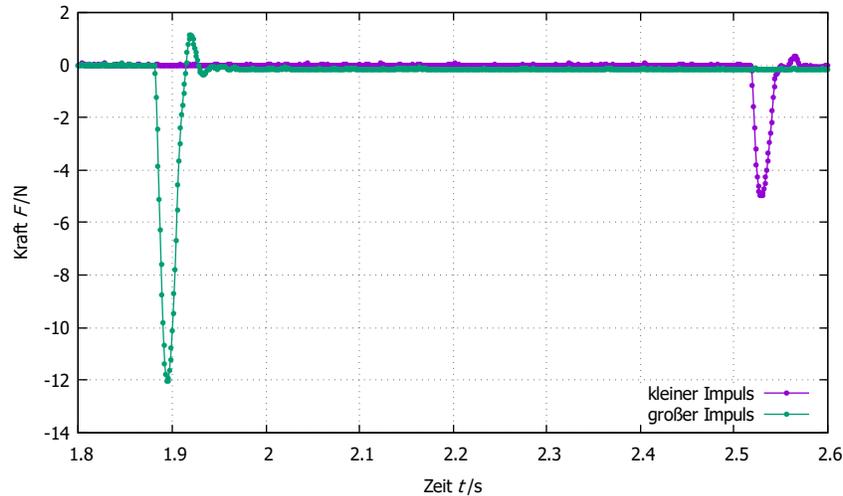


Abbildung 2: Impulsmessung 1

des Wagens bestimmt werden. Sie können die erwünschten je-desto-Beziehungen formulieren. Zwei Kurven sind als Beispiel in der untenstehenden Grafik dargestellt

## 2 Impuls II

### 2.1 Vorbemerkung

In Klasse 10 des Gymnasiums wird der Impuls quantitativ untersucht. In Klasse 8 wurde er qualitativ als Wucht eingeführt. Dadurch entsteht die Frage nach einer Möglichkeit, den Impuls eines Körpers auch quantitativ mit dem Begriff Wucht zu verbinden. Physikalisch ist die Wucht mit dem Kraftstoß beschrieben. Dies ist die Fähigkeit eines Körpers, die Kraft  $F$  über die Zeit  $\Delta t$  auf einen zweiten Körper auszuüben, also  $F \cdot \Delta t$ . Mit Hilfe des Kraftsensors läßt sich diese Beziehung direkt messen. Das  $\int F dt$  wird von LoggerPro<sup>®</sup> ausgegeben, so dass sich die Diskussion auf die wesentlichen physikalischen Aspekte beschränken kann, und das Thema Integralrechnung hier nicht explizit dargelegt werden muss. Das Problem der Berechnung von Flächen mit "krummen" Rändern taucht in der Physik auch an anderen Stellen auf und ich erachte es als hilfreich, hier den Computer einfach als erweitertes Messgerät zu nehmen.

### 2.2 Vorwissen

Die Schüler kennen den Begriff Wucht in Verbindung mit dem Impuls aus Klasse 8.

### 2.3 Vorbereitung

Fahrbahn mit Experimentierwagen, Kraftsensor mit Stoßaufsatz (siehe Bild), Knetmasse, Feder, Ultraschallsensor oder Speichenrad (an dieser Stelle halte ich es für einsetzbar, weil es nur als Geschwindigkeitsmesser benutzt wird) und die zugehörige Auswertungssoftware.

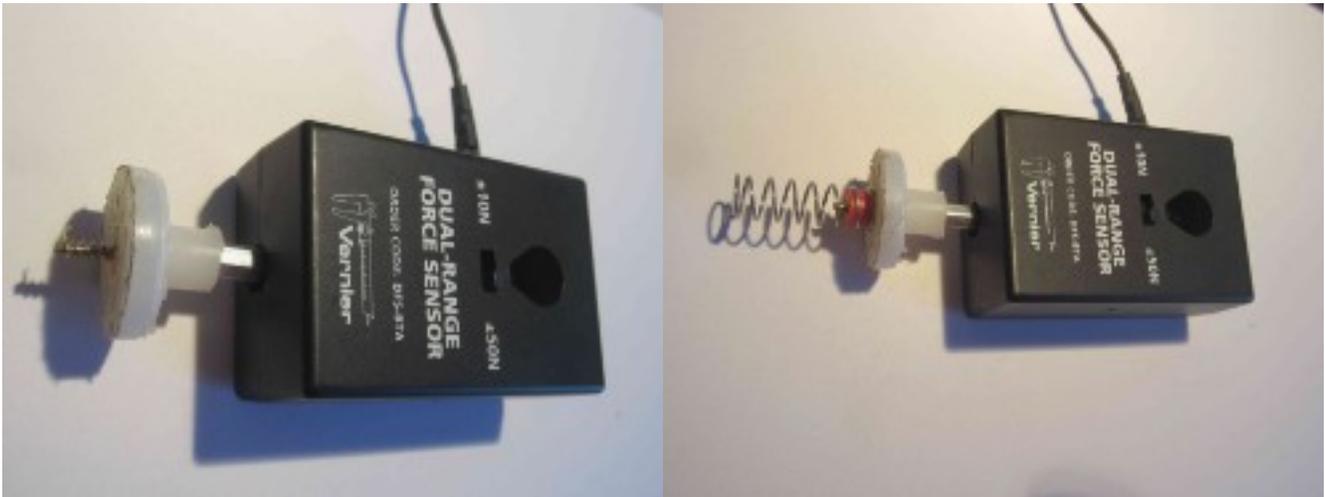


Abbildung 3: Kraftsensor mit elastischem und inelastischen Stoßaufsatz

## 2.4 Durchführung

Ich habe den Wagen mit Hilfe einer schiefen Ebene beschleunigt und dann auf den Kraftsensor auffahren lassen. Dazu habe ich die Geschwindigkeit gemessen und das  $F-t$ -Diagramm aufgezeichnet (wie in Impulse I). Die Versuche habe ich mit inelastischen und elastischen Stößen durchgeführt. Die Messzeit war auf 3s eingestellt.

Die Masse des Wagens wird bestimmt. Das Kraft-Zeit-Diagramm wird parallel mit dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm aufgezeichnet (im gleichen Grafikenster).

Wird die Geschwindigkeit mit dem Ultraschallsensor gemessen, sollte die Messfrequenz mit maximal  $500s^{-1}$  eingestellt werden, weil sonst das System jedenfalls bei mir überfordert schien. Es ist sinnvoll, über den Ultraschallsensor zu triggern (0,2m - 0,3m). Beim Speichenrad sind  $10^3s^{-1}$  kein Problem. Hier ist keine Triggerrung nötig.

## 2.5 Auswertung

Die Geschwindigkeit (Maximalwert) vor dem Stoß wird dem Diagramm entnommen. Der zu integrierende  $F-t$ -Bereich wird markiert und integriert. Der Wert wird vom Programm ausgegeben. Wenn man mit der schiefen Ebene arbeitet, ist noch eine Korrektur anzubringen. Das Produkt  $F_H \cdot \Delta t$  muss vom Integralwert abgezogen werden. Nun läßt sich der erhaltene Wert mit dem Produkt aus Masse und Geschwindigkeit vergleichen. Sehr schön zeigt sich beim elastischen Stoß, dass der Kraftstoß doppelt so groß ist, wie das Produkt  $m \cdot v$ , also der Zusammenprall mit einer festen Wand.

## 2.6 Meine Ergebnisse

(Als Beispiele)

Stoßart	$m$ in $g$	$p_s$ in $Ns$	$v$ in $ms^{-1}$	$p_{s,korr}$ in $Ns$	$p_v$ in $Ns$	$F_H$ in $N$	$\Delta t$ in $s$	$F_H \cdot \Delta t$ in $Ns$
elastisch	325	0,144	0,393	0,131	0,128	0,14	0,09	0,013
inelastisch	300	0,242	0,386	0,324	0,116	0,12	0,07	0,008

Tabelle 1: Beispielmessung

$p_s$  ist der mit Hilfe des Kraftsensors bestimmte Impuls

$v$  ist die maximale Geschwindigkeit

$$p_{\{s,korr\}} = p_s - F_H \cdot \Delta t$$

und

$$p_v = m \cdot v$$

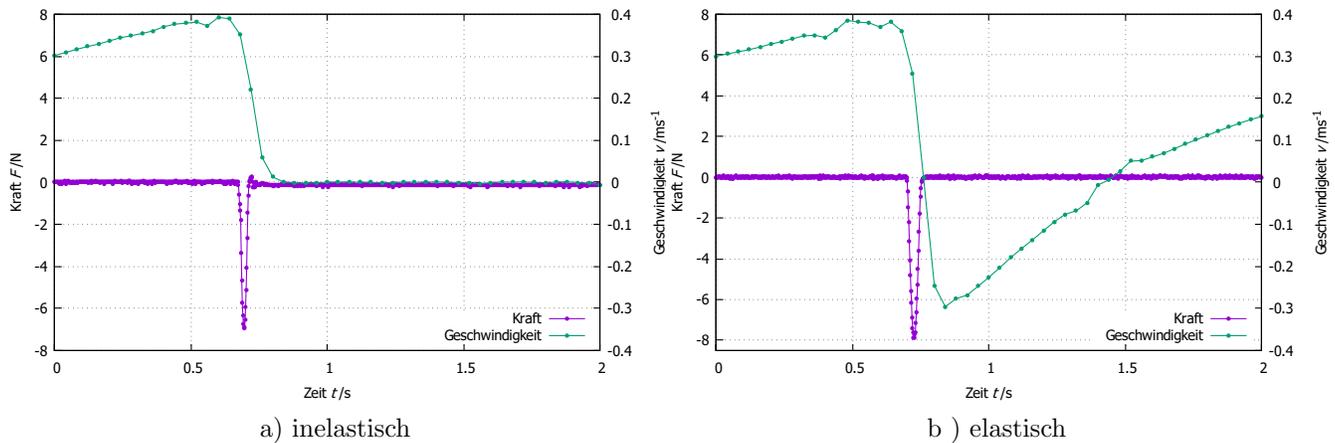


Abbildung 4: inelastischer und elastischer Stoß

### 3 Das Hookesche Gesetz

#### 3.1 Vorbemerkungen

Ultraschallsensor und Kraftsensor gestatten in einem Freihandversuch die gegenseitige Abhängigkeit von Spannkraft und Auslenkung eines linearen elastischen Systems zu messen und als Schaubild darzustellen. Dadurch wird es möglich, im Unterricht, in schneller Folge, verschiedene Systeme darzustellen. Somit lässt sich die Besonderheit der Bedingungen, die das Hookesche Gesetz darstellt, besser herausstellen, als wenn umständlich jeder Messpunkt einzeln aufgenommen werden muss.

Der didaktische Vorteil besteht vor allem darin, dass sich die Diskussion auf das Wesentliche beschränken kann, und nicht durch langwierige Versuchsreihen verwässert wird.

#### 3.2 Vorwissen

Die Schüler kennen den Begriff Kraft, wissen auch, dass die Spannkraft einer Feder mit zunehmender Auslenkung größer wird. Sie kennen auch andere Systeme, die eine Spannung aufbauen können, z.B. Gummi.

#### 3.3 Vorbereitung

Ultraschallsensor, Kraftsensor, verschiedene Federn, Gummi, usw., Massestück, das vom Ultraschallsensor registriert wird. Einstellung in LoggerPro®: Messfrequenz:  $10s^{-1}$ , Messzeit ca. 3s. Da im Versuch das Massestück auf den Ultraschallsensor zubewegt wird, wird der Weg mit zunehmender Kraft kleiner. Es ist deshalb sinnvoll, dies durch eine zusätzliche manuell eingeführte Tabellenspalte auszugleichen, die dann auch im Diagramm als Auslenkung dargestellt werden sollte.

#### 3.4 Durchführung

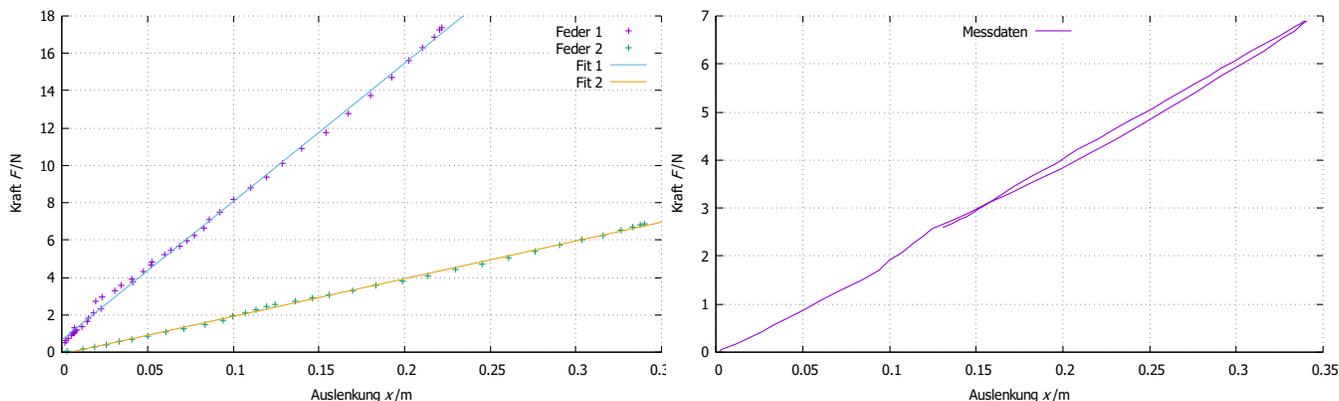
Der Kraftsensor und der Ultraschallsensor werden am Tisch möglichst starr in ca. 1m Abstand voneinander befestigt. Die Feder mit dem Massestück wird am Kraftsensor angehängt und das Massestück mit der Hand festgehalten.

Nun wird die Feder entspannt und der Kraftsensor auf Null zurückgestellt. Nach Beginn der Messung wird das Massestück mit der Hand auf den Ultraschallsensor zubewegt (Bild 1) und wieder zurück in seine Ausgangslage (Bilder 2 - 4). Die Geschwindigkeit, mit der die Bewegung stattfindet, ist nachrangig. Es ist aber sinnvoll, die eingestellte Messzeit nach Möglichkeit auszunutzen.

#### 3.5 Auswertung

In Bild 1 ist das Hookesche Gesetz für eine harte und eine weiche Feder dargestellt, wie man es üblicherweise im Punkt-für-Punkt-Verfahren aufnimmt. Das Ergebnis ist linear gefittet, die dazugehörigen Daten sind eingebledet. Bei den übrigen Diagrammen sind die Punkte durch Interpolation miteinander verbunden, um die Zusammengehörigkeit der Punkte (Abfolge der Messreihe) besser erkennen zu lassen.

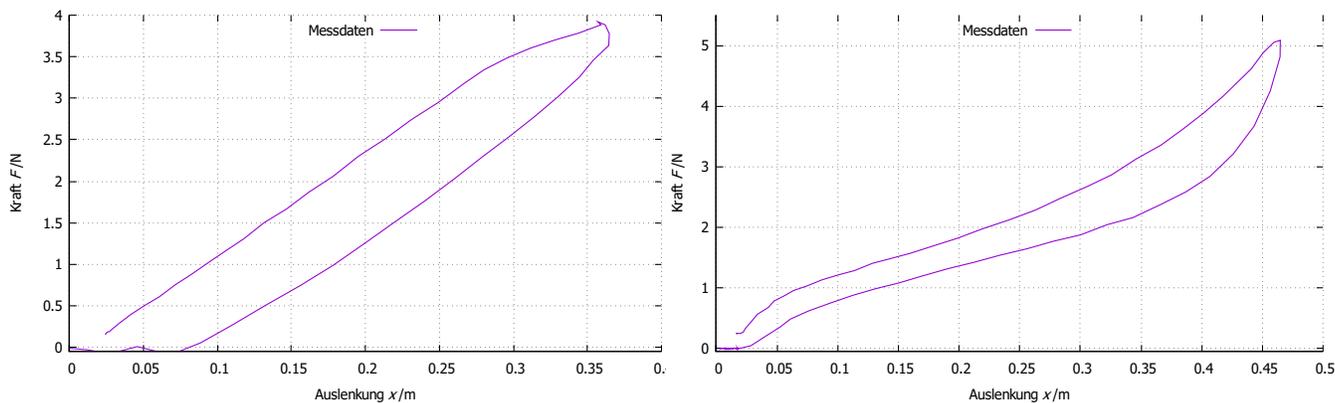
Die Diagramme lassen sehr fruchtbare Diskussionen entstehen. Durch die Bewegung in beide Richtungen erkennt man sofort die Hysterese des Systems und sieht auch bei besten Federn diesen Effekt. Er kann aber ohne weiteres von den Schülern als Erkennungsmerkmal für die elastische Qualität der verschiedenen Systeme dienen. Lineares F-s-Verhalten und geringe Hysterese fläche sind miteinander verknüpft. Bei Gummi erkennt man sofort die Nichtlinearität und die große Hysterese fläche. Der Versuch zeigt sehr anschaulich, dass lineares Verhalten ein Sonderfall ist.



a) harte ( $D = 77N/m$ ) und weiche ( $D = 21N/m$ ) Feder mit Fit

b) weiche Feder mit Hysterese

Abbildung 5: Kraft als Funktion der Ausdehnung der Feder



Feder aus 0.6 mm Schweißdraht gewickelt (30 cm lang)

Gummi

Abbildung 6: Weitere Beispiele

### 3.6 Zusatzbemerkung

Man könnte an diesen Versuch noch einen Pendelversuch anschließen, und damit zeigen, dass eine große Hysterese fläche mit einer starken Dämpfung der Schwingung einhergeht und somit die Hysterese fläche als Energieabsorption pro Schwingung interpretieren.