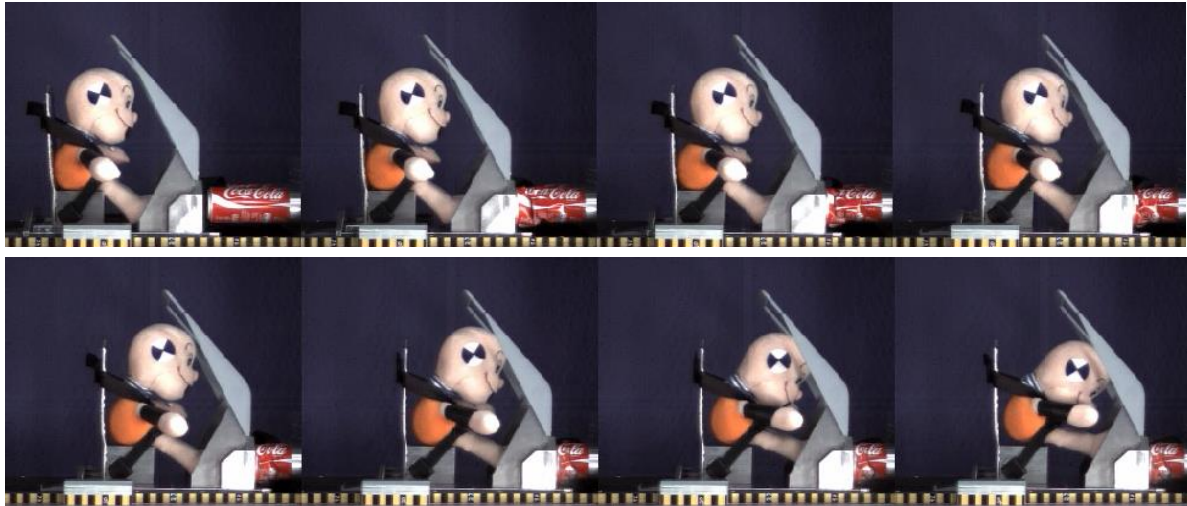


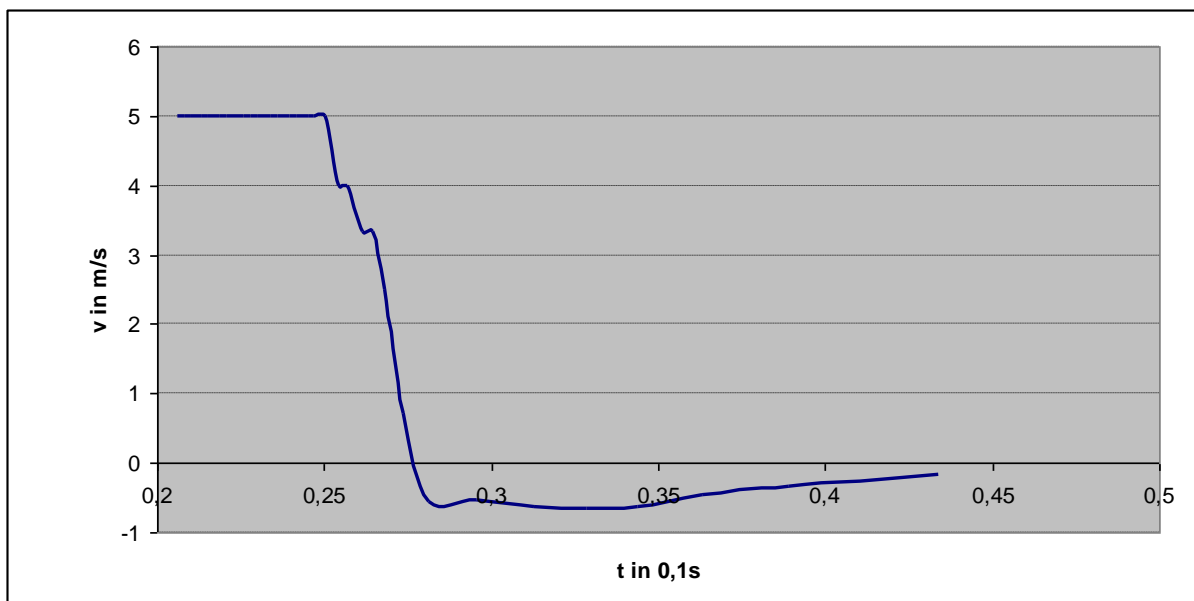
## Aufgabensammlung für Versuche mit der Crashschlittenbahn mit Lösungen

### Aufgabe 1

Mika fährt in seinem Sportsitz angeschnallt gegen zwei Dosen als Deformationselement.

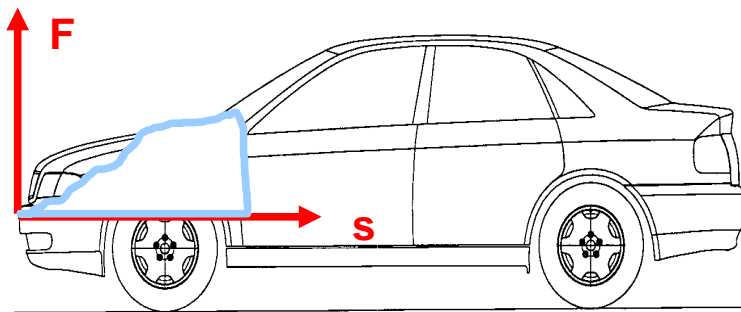


Seine Fahrt wurde mittels Videoanalyse ausgewertet. Nachfolgendes t-v Diagramm zeigt einen größeren Abschnitt von seiner Fahrt.



- Beschreibe die Bewegung des Schlittens in Worten, das durch obigen t-v Diagramms dargestellt wird.
- Ordne aus obiger Bildsequenz einzelne charakteristische Bilder den jeweiligen Punkten des t-v Diagramms zu!
- Welchen zeitlichen Abstand  $\Delta t$  für das jeweils darauf folgende Bild bekommst du aufgrund deiner Überlegungen in a)?
- Skizziere die zu obigen t-v Diagramm zugehörigen t-x und t-a Diagramme!

- e) Welcher Anteil der Bewegungsenergie wurde durch die Knautschzone (Dosen) absorbiert? Entnimm die dazu notwendigen Daten dem Diagramm!
- f) Beschreibe die Funktion der Knautschzone für den Insassenschutz. Argumentiere dabei physikalisch fundiert und gehe dabei insbesondere auf das untenstehende Diagramm ein.

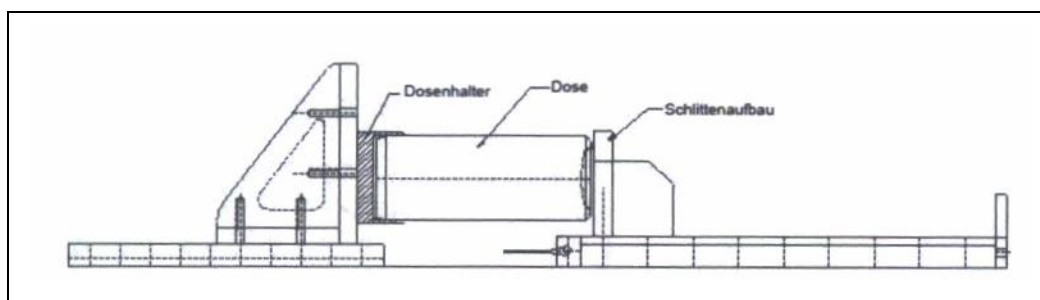
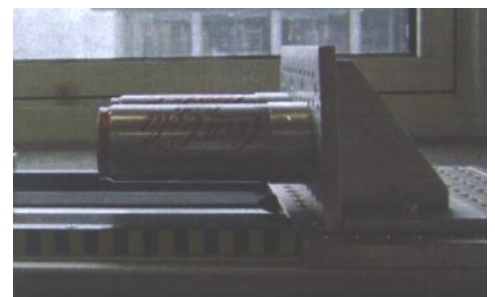


- g) Welches Entwicklungsziel verfolgen - aufgrund deiner bisherigen Erkenntnisse – deswegen die Ingenieure beim Insassenschutz und welchem Zielkonflikt sind sie ausgesetzt?

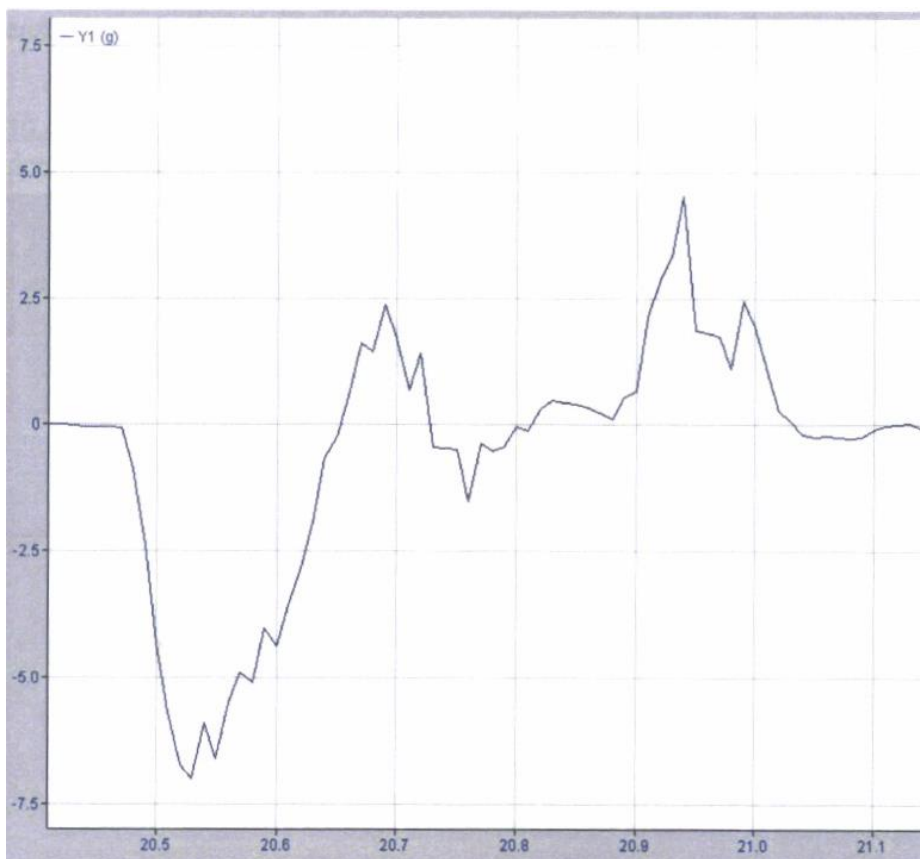
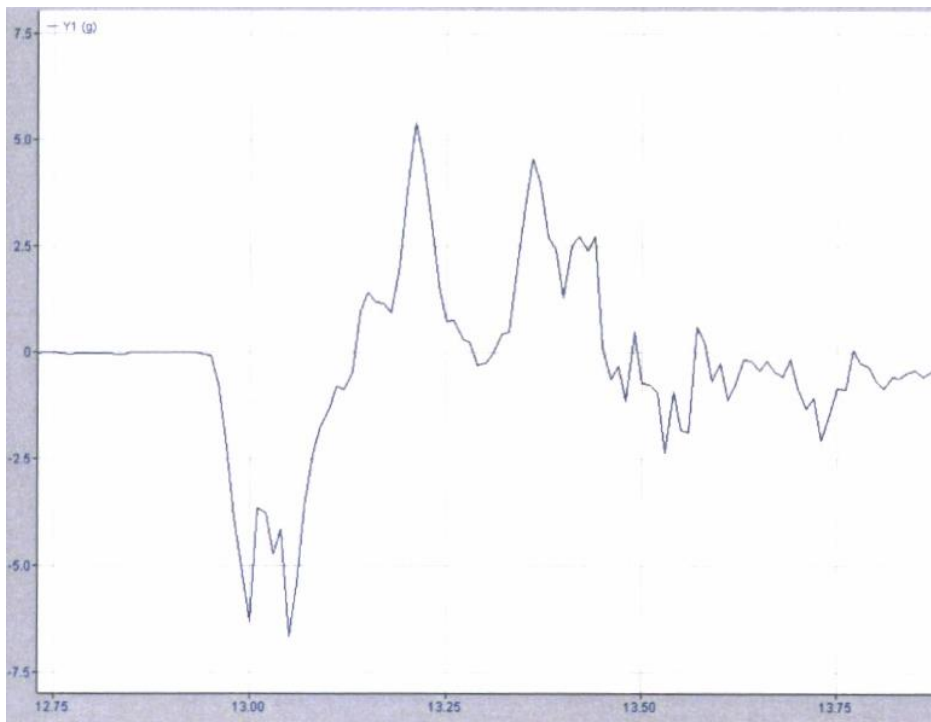
## Aufgabe 2

9 Gummiseile (Seillänge 110 cm) der Schlittenbahn werden um den Weg  $\Delta l$  vorgespannt. Der Schlitten hat eine Masse von 5,4 kg. Auf dem Schlitten ist auf einer Halterung ein Beschleunigungssensor eingespannt, der die Bewegung des Schlittens aufzeichnet. Es wurden zwei Versuche durchgeführt:

1. Schlitten trifft auf zwei Hartgummistopper
2. Schlitten trifft auf zwei Getränkedosen (siehe Bild)

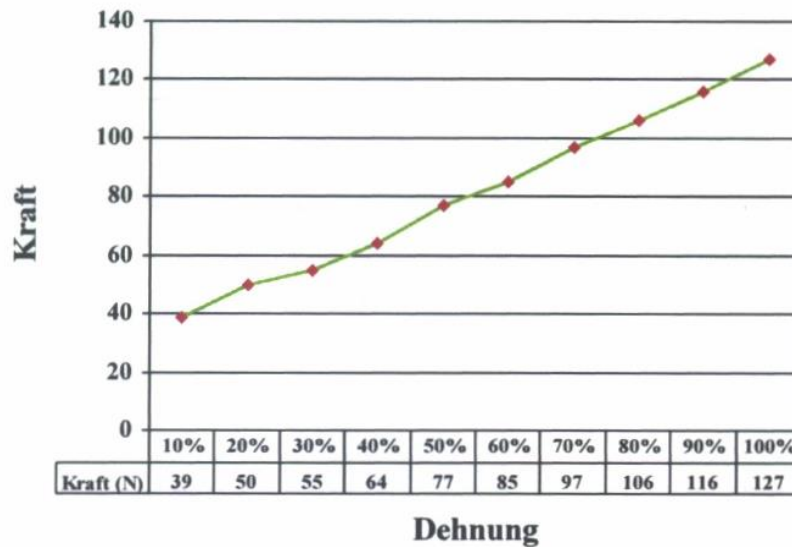


Die folgenden zwei t-a Diagramme wurden aufgezeichnet:



- a) Ordne die Diagramme den beiden Versuchen zu und begründe deine Entscheidung!
- b) Erkläre den Verlauf der Diagramme (Hinweis: der Beschleunigungssensor kann in seiner Halterung bei harten Aufschlägen ein wenig verrutschen, die Entspannung der Gummiseile erfolgt nicht ganz linear)

- c) Welche Folgerungen kannst du aufgrund der Diagramme für den Insassenschutz ziehen? Begründe deine Antworten physikalisch!
- d) Nachfolgendes Diagramm zeigt dir den Dehnung-Kraft Verlauf eines Gummiseils

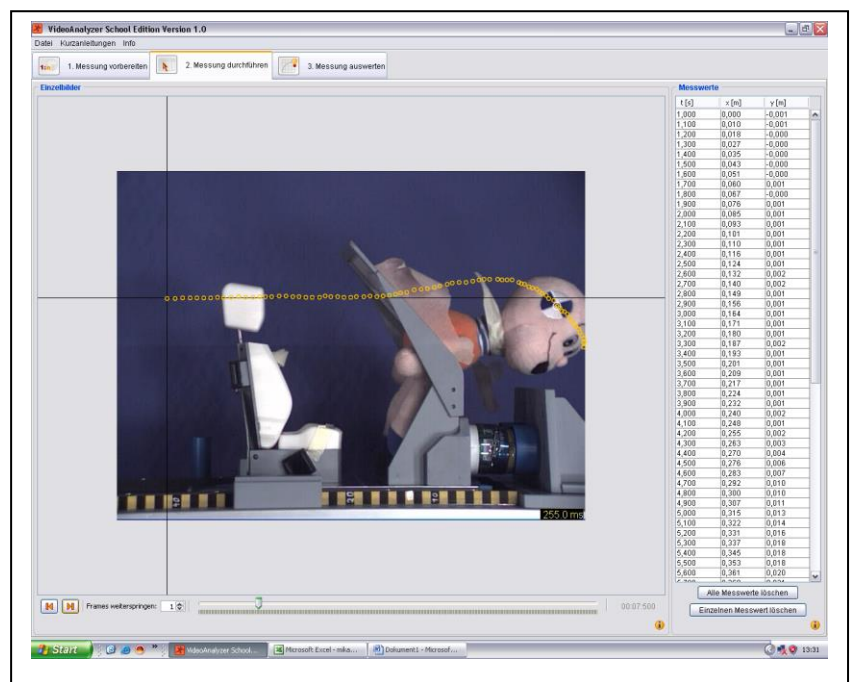


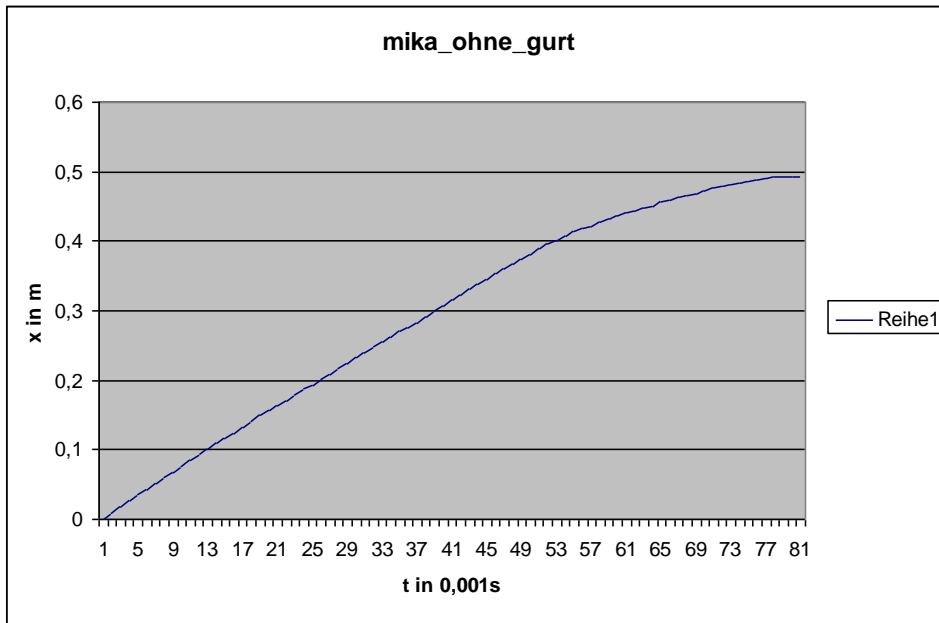
Berechne anhand der gegebenen Werte und Diagramme die mindestens notwendige Dehnung  $\Delta l$  der Gummiseile, damit obige Versuche so gefahren werden konnten (nimm eine Maximalgeschwindigkeit von 50 km/h an). In der Realität wurden die Gummiseile um  $\Delta l = 70$  cm gedehnt. Erkläre den Unterschied zu dem theoretisch bestimmten Wert!

### Aufgabe 3

Mika bewegt sich zusammen mit dem Schlitten mit etwa 8 m/s auf das Deformationselement zu. Er ist nicht angeschnallt und fliegt daher durch die Windschutzscheibe.

Die Bewegung von Mikas Kopf wurde mit Hilfe eines Videoanalyseprogramms ausgewertet. Nachfolgendes t-x-Diagramm zeigt die Bewegung von Mikas Kopf.



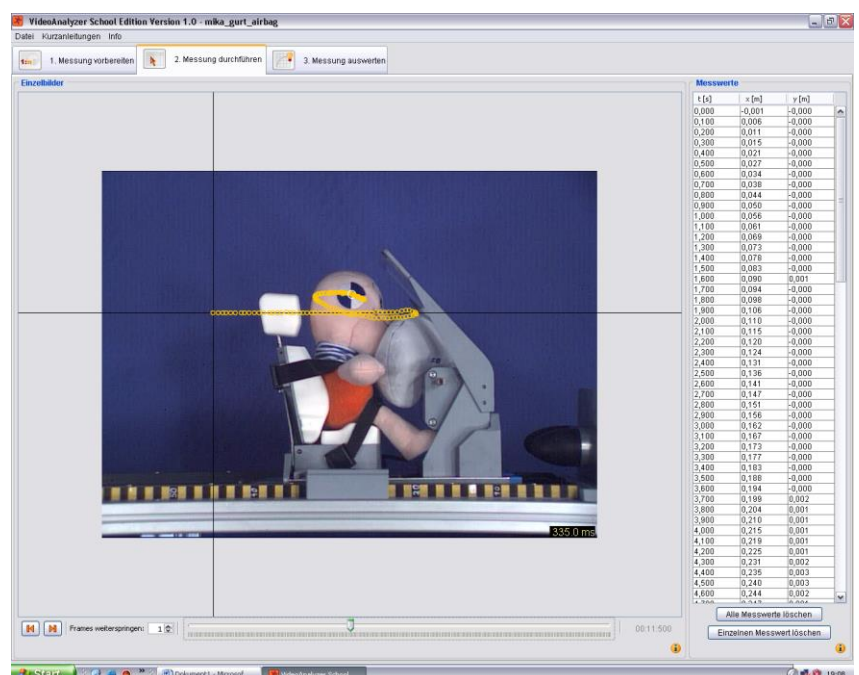


Bei etwa  $t = 0,034$ s ist der Schlitten zum Stehen gekommen.

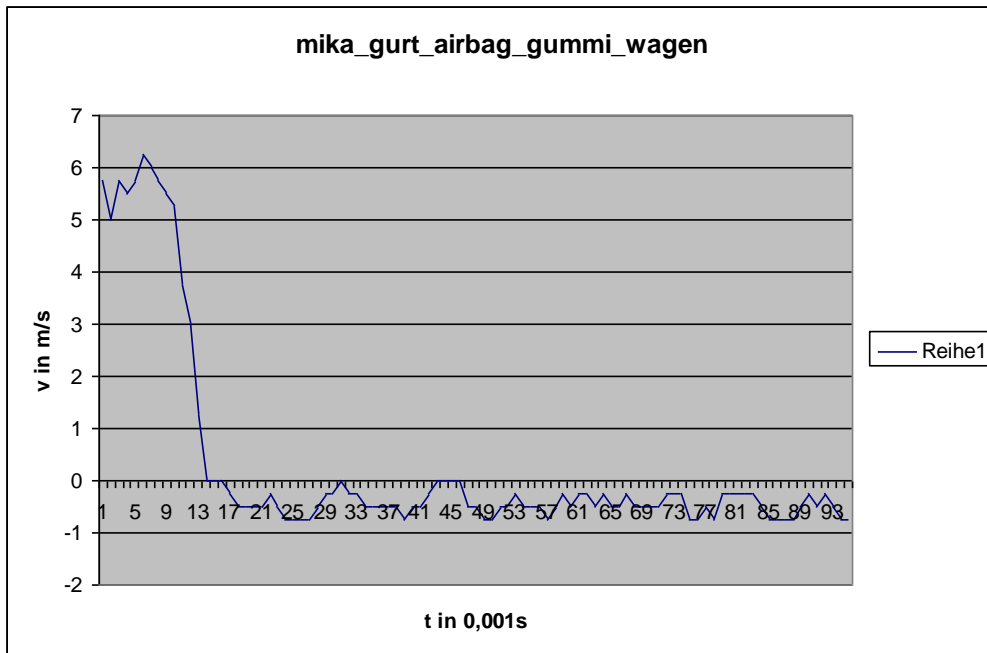
- Beschreibe die Bewegung von Mikas Kopf in Worten. Gehen dabei insbesondere auf den Zeitraum nach 0,034 s ein.
- Skizziere das zugehörige t-v- und t-a-Diagramm!
- Mikas Kopf schlägt mit etwa 5 m/s auf der „Motorhaube“ auf. Berechne die notwendige Elastizität der Motorhaube, damit der kurzzeitige Beschleunigungswert von 80 g nicht überschritten wird, bei dem mit größten Schädigungen des Gehirns zu rechnen ist.

#### Aufgabe 4

Mika fährt mit etwa 6 m/s gegen Hartgummielente als Prallkörper. Dabei ist er angegurtet und der Airbag öffnet sich rechtzeitig. Die Bewegung wurde wieder mit einem Videoanalyseprogramm ausgewertet.

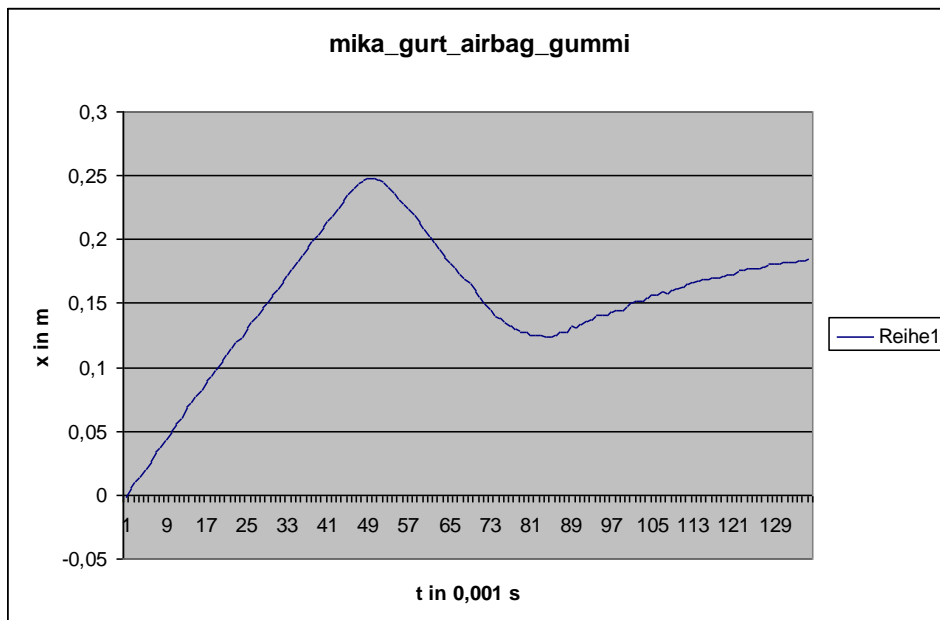


Die Bewegung des Schlittens ergab folgendes t-v Diagramm:



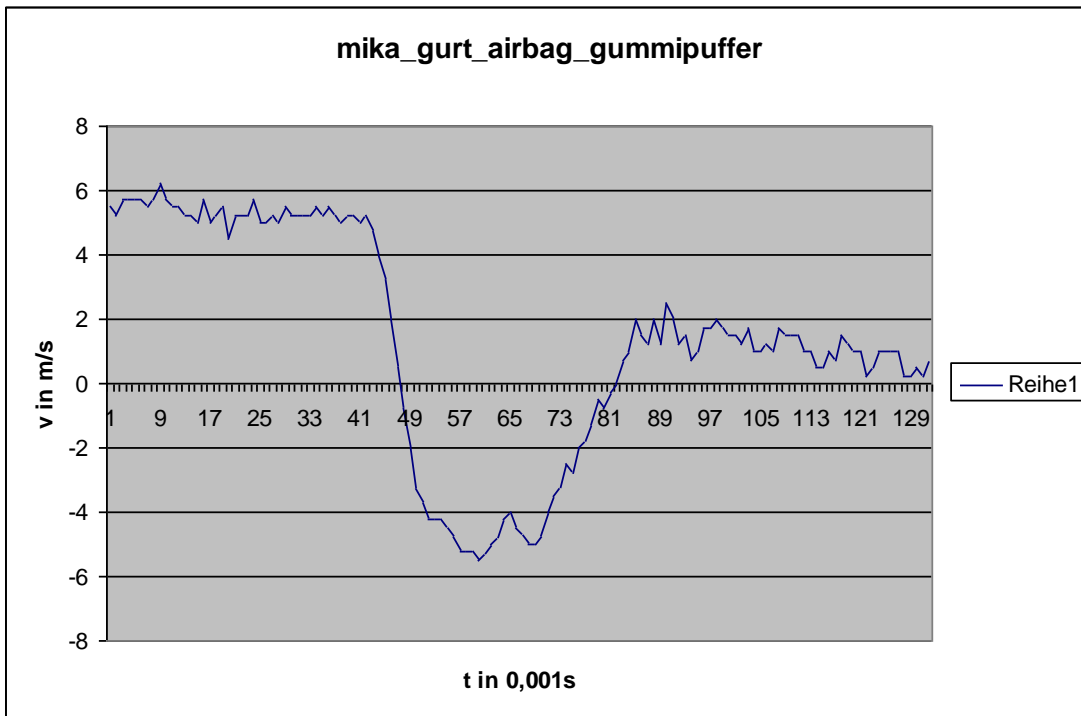
- Beschreibe die Bewegung des Wagens in Worten und skizziere das zugehörige t-x- und t-a Diagramm!
- Berechne anhand des Diagramms die wirkende mittlere Beschleunigung beim Abbremsen!

Gleichzeitig wurde die Bewegung von Mikas Kopf aufgenommen. Folgendes t-x Diagramm zeigt die Bewegung von Mikas Kopf



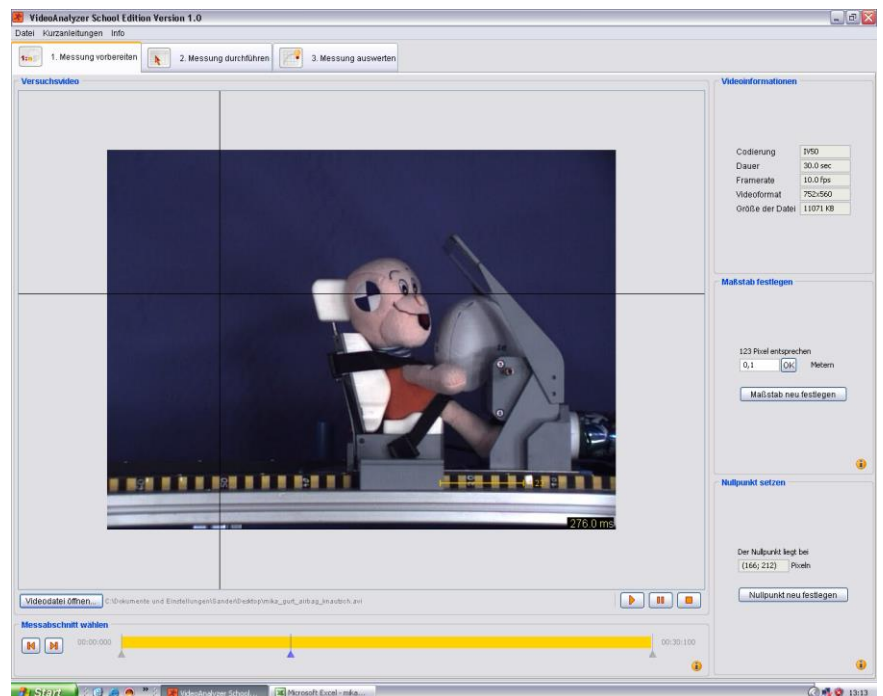
- Beschreibe die Bewegung von Mikas Kopf in Worten! Gehe dabei auch auf die jeweilige Funktionsweise der notwendigen Insassenschutzsysteme ein!

Folgendes t-v Diagramm zeigt erneut die Bewegung von Mikas Kopf

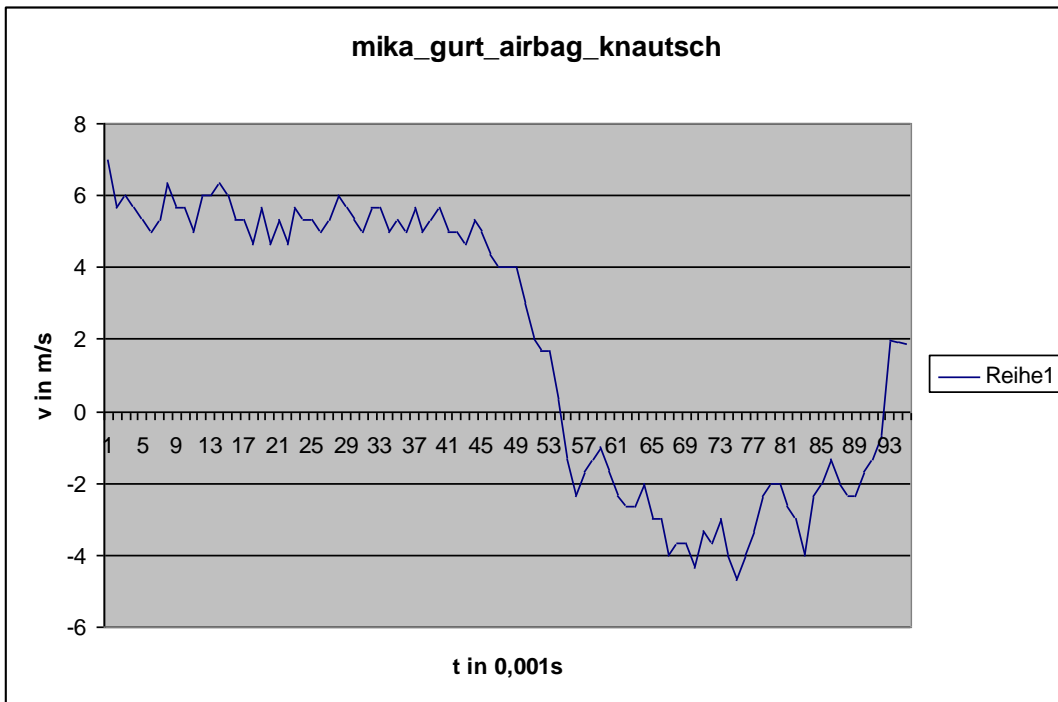


d) Berechne erneut - anhand des Diagramms - die wirkende mittlere Beschleunigung von Mikas Kopf beim Abbremsen!

In einem weiteren Versuch wurde das Hartgummiparallelement durch zwei Dosen ausgetauscht. Die Bewegung von Mikas Kopf wurde wieder aufgezeichnet. In folgendem t-v-Diagramm ist sie dargestellt.







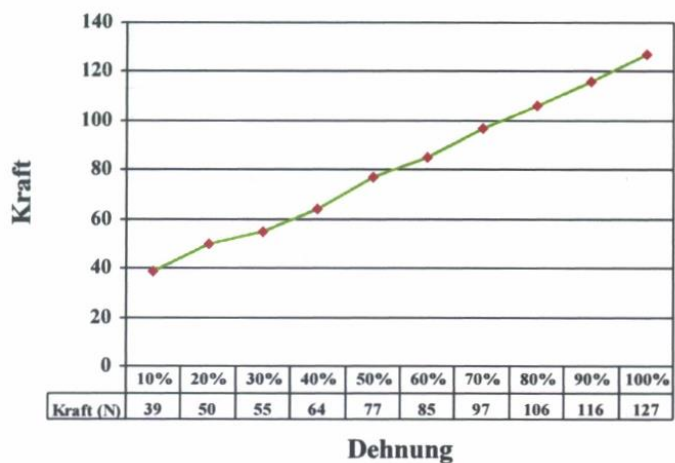
- e) Berechne wieder anhand des Diagramms die mittlere Beschleunigung von Mikas Kopf.
- f) Fasse durch deine Ergebnisse die Elemente modernen Insassenschutzes zusammen und beschreibe mit physikalischen Hintergrund, welche Aufgabe jedem einzelnen Schutzelement zukommt.

### Aufgabe 5

Ein auf dem Schlitten ( $m = 5,4 \text{ kg}$ ) befestigtes Auto ( $m = 4 \text{ kg}$ ) wird durch 6 Gummiseile (Länge  $l = 110 \text{ cm}$ ), die jeweils um ca.  $60 \text{ cm}$  gedehnt waren, beschleunigt. Die bei dem Beschleunigungsvorgang wirkende mittlere Reibungskraft beträgt  $F_R = 50 \text{ N}$ .

(Beschleunigungsstrecke  $s = 1,30 \text{ m}$ )

- a) Berechne die Endgeschwindigkeit des Autos!





Glubschi ( $m = 200 \text{ g}$ ) wird an einem Faden hängend von dem mit  $8 \text{ m/s}$  fahrenden Auto erfasst.

b) Berechne die Geschwindigkeit von Glubschi und dem Fahrzeug nach dem elastischen Zusammenstoß!

c) Für Experten:

Glubschi erhält durch den Zusammenstoß einen Drehimpuls, so dass er nach oben fliegt und dabei um die eigene Schwerpunktsachse rotiert. Die Rotationsenergie berechnet sich

nach der Formel  $E_{rot} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$ ,

wobei  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit ist und  $J$  das Trägheitsmoment eines Körpers. Es bezeichnet das Verhältnis von wirkendem Drehmoment und erzielter Winkelbeschleunigung.

Angenommen:  $J_{Glubschi} = \frac{m}{8} \cdot l^2$ , wobei

$l$  die Größe von Glubschi ist.

Schätze rechnerisch - anhand der Bilder und bisherigen Ergebnisse – ab, mit welcher Winkelgeschwindigkeit sich Glubschi dreht.

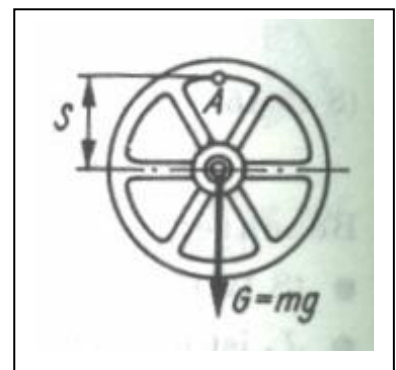
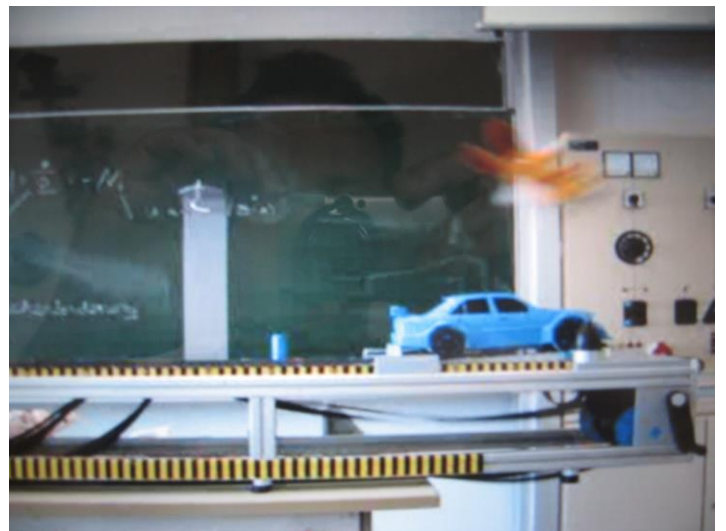
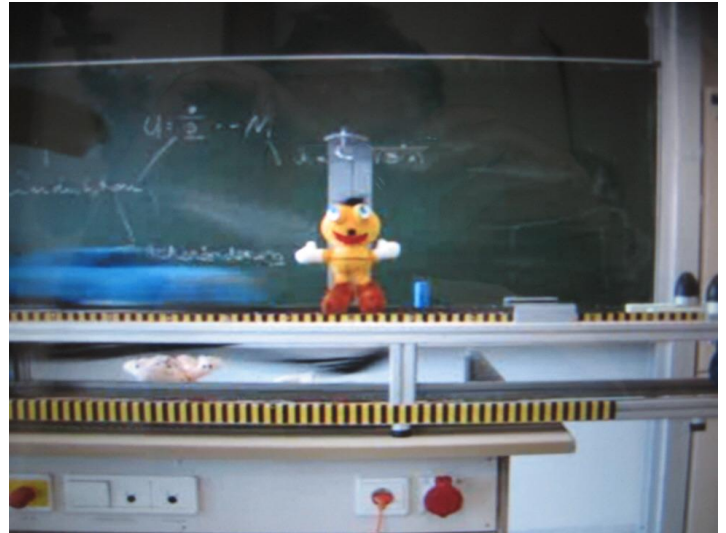
d) Bestimme das Trägheitsmoment von Glubschi mit Hilfe folgender Beschreibung

Hänge Glubschi an einem Punkt außerhalb des Schwerpunkts drehbar gelagert auf und stoße ihn dann mit kleiner Amplitude an. Mit Hilfe folgender Formel kannst du dann das Trägheitsmoment bestimmen:

$$J_s = ms \left( \frac{gT^2}{4\pi^2} - s \right)$$

wobei  $s$  der Abstand vom Drehpunkt  $A$  zum Schwerpunkt  $S$  ist.

e) Berechne die Winkelgeschwindigkeit erneut und vergleiche deinen



Wert mit der Hochgeschwindigkeitsaufnahme.

## Lösungen der Aufgabensammlung zum Projekt „Motion and Safety“

### Lösung Aufgabe 1

a)

Der Schlitten fährt mit konstanter Geschwindigkeit (5 m/s) auf das Knautschelement zu. Beim Auftreffen, nach 0,25 s, auf das Element wird das Gefährt stark abgebremst. Durch die wirkenden Kräfte erfährt der Schlitten nach 0,275 Sekunden eine negative Beschleunigung.

b)

Bild 1 – 4 → Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit (5 m/s)

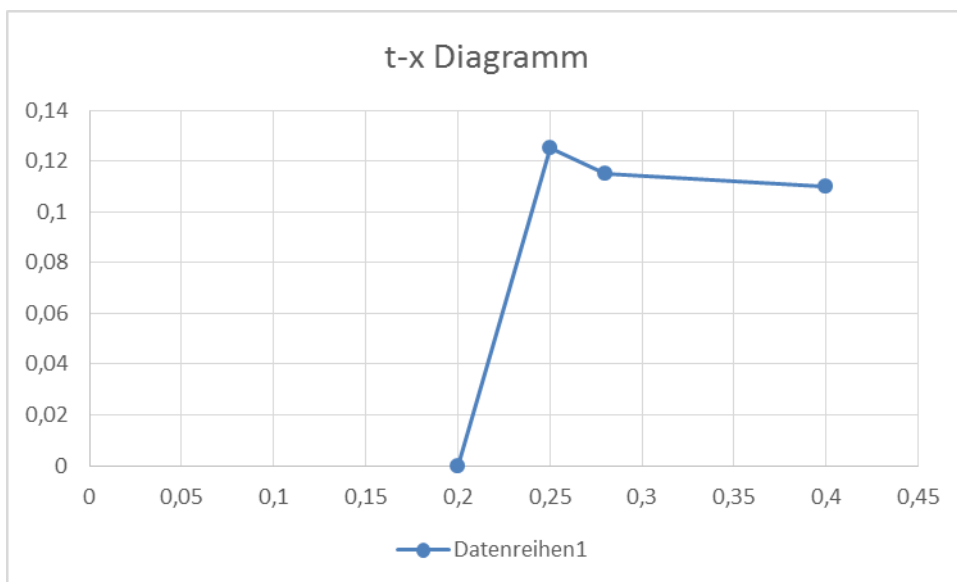
Bild 5 – 7 → Abbremsen durch Knautschelemente

Bild 8 → Zeitpunkt der maximalen Abbremsung

c)

Da bei ca. 0,28 s die der Graph die x-Achse schneidet, der Graph ab 0,2 s anfängt und in diesem Zeitraum acht Bilder geschossen wurden, kann man den zeitlichen Abstand für das jeweils darauffolgende Bild auf 0,01 s festlegen.

d)



e)

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

→ Da die Masse eine gleichbleibende Größe ist, hängt  $E_{kin}$  nur von  $v$  ab.

$$E_{kin1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(5 \frac{m}{s}\right)^2 = 12,5 J$$

$$E_{kin2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(-0,5 \frac{m}{s}\right)^2 = 0,125 J$$

$$\rightarrow \frac{12,5 \text{ J} - 0,125 \text{ J}}{12,5 \text{ J}} = 0,99 \rightarrow 99\%$$

f)

Die Fläche des Diagramms zeigt die Kraft an, die auf den Fahrer wirkt. Je länger dabei  $s$  ist, desto geringer ist die auf den Fahrer wirkende Kraft  $F$ .

Die Aufgabe der Knautschzone ist es, die bei Unfällen wirkende Energie auf den Fahrer möglichst gering zu halten. Die Energie soll also durch den Prozess des Verformens vom Fahrer genommen werden.

Bei Unfällen, bei denen die Knautschzone nur gering verformt wurde, wirkt auf den Fahrer weniger Kraft, als bei Unfällen, bei denen die Knautschzone stark verformt wird.

g)

Ingenieure wollen die Kraft, die auf den Fahrer wirkt, möglichst gering halten. Die Kraft kann durch eine sehr lange Knautschzone sehr gering gehalten werden. Doch mit solch einer langen Knautschzone wäre das Auto verkehrsuntauglich.

## Lösung Aufgabe 2

a)

Hartgummistopper: Diagramm1, da schneller Bremsvorgang, starke negative Beschleunigung

Coladosen: Diagramm2, da längerer Bremsvorgang, weniger Rückstoß

b)

-negative Beschleunigung, da Auftreffen auf Gegenstand  $\rightarrow$  Abbremsen  
 $x$ -Abweichungen sind Messungenauigkeiten

c)

Die Knautschzone(=Coladose) ist sehr wichtig, da sie einen großen Teil der Aufprallenergie beim Crash durch Verformungsarbeit absorbiert. Bei der negativen Beschleunigung, dem Bremsvorgang sieht man, dass der Kopf des Fahrers aufgrund der Trägheit in sehr kurzer Zeit nach vorne gerissen wird. Deshalb ist ein Airbag sehr wichtig, um schwere Verletzungen am Kopf oder dem Tod vorzubeugen. Danach erkennt man im Diagramm eine positive Beschleunigung in sehr kurzer Zeit. Dort wird der Kopf wieder durch die Trägheit nach hinten gerissen. Eine Kopfstützte schützt hier vor schweren Verletzungen oder Genickbruch.

d)

gesucht:  $\Delta s$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}Ds^2$$

$$\Delta s^2 = \frac{mv^2}{D}$$

$$\Delta s = \sqrt{\frac{mv^2}{9 \times \frac{N}{s}}}$$

$$\Delta s = \sqrt{\frac{5,4 \text{ kg} \times (50 + 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{9 \times \frac{40 \text{ N}}{0,11 \text{ m}}}}$$

$$\Delta s \approx 0,564 \text{ m}$$

Die Seile müssen mindestens 56,4 cm gedehnt werden. Die Abweichung von 13,6 cm vom theoretisch bestimmten Wert (70 cm) erfolgt durch den Luftwiderstand und vor allem der Reibung zwischen Schlitten und Schlittenbahn.

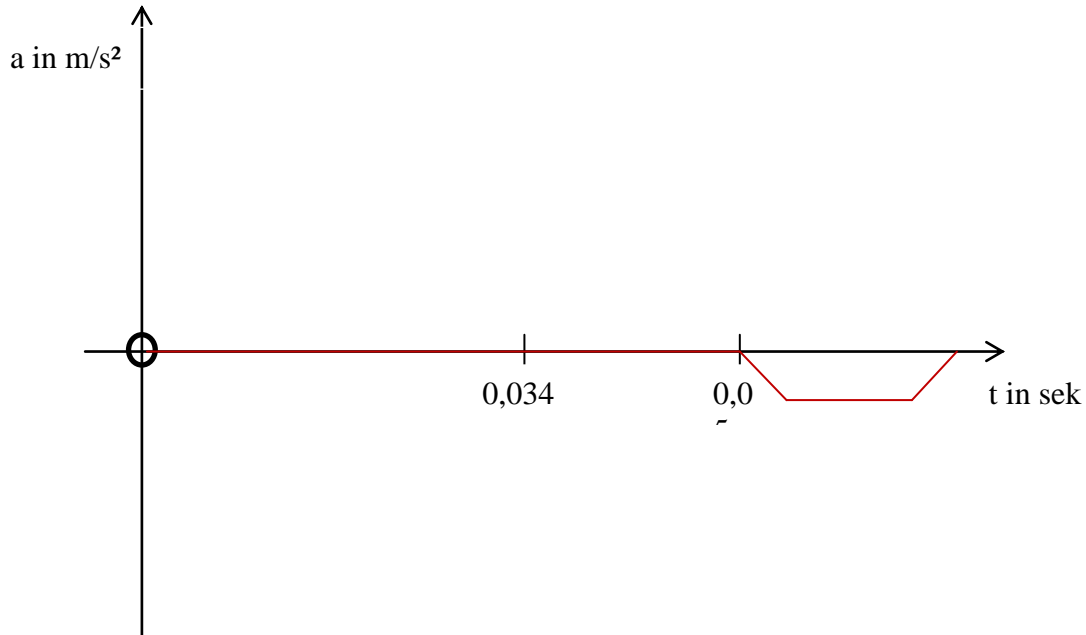
### Lösung Aufgabe 3

a)

Mika fährt mit konstanter Geschwindigkeit auf das Hindernis zu. Bei dem Zeitpunkt 0,034 s tritt das Auto auf, aber aufgrund des Trägheitssatzes, fliegt Mika durch die Windschutzscheibe mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Erst bei ca. 0,05 s wird der Kopf langsamer, da der Dummy auf dem Boden aufkommt und abgebremst wird.

b)

Koordinatensystem



c)

$$v^2 - v_0^2 = 2ax$$

$$v_0 = 5 \frac{m}{s} \quad v = 0 \frac{m}{s}$$

$$a = -80 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = -784,8 \frac{m}{s^2}$$

$$x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

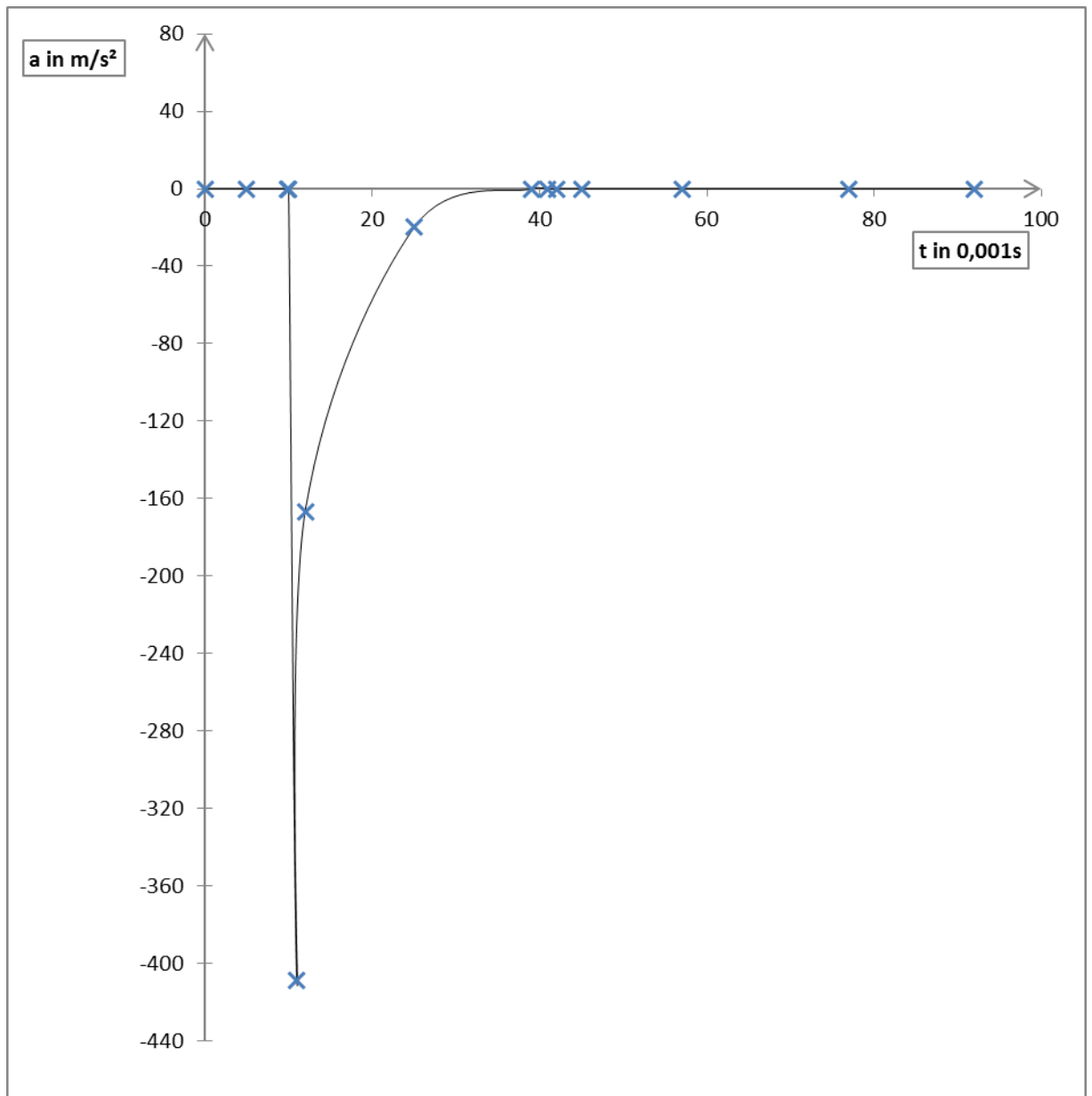
$$x = \frac{\left(0 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(5 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot \left(-784,8 \frac{m}{s^2}\right)} \approx 0,016m \quad (-> 1,6 \text{ cm})$$

## Lösung Aufgabe 4

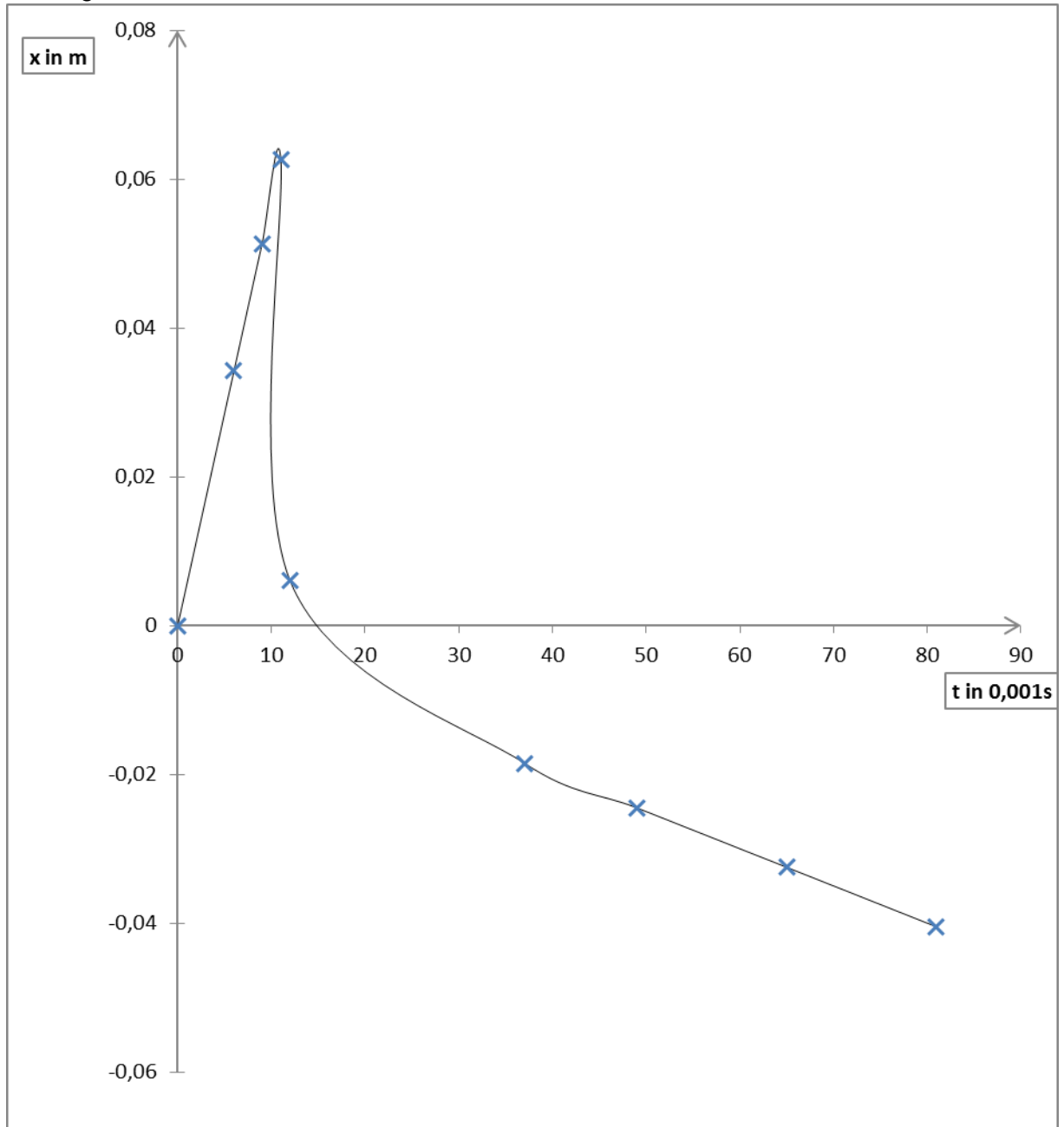
a)

Mika fährt bis zur 0,009. Sekunde 6 m/s. Bei der Sekunde 0,014 hat Mika die Geschwindigkeit 0 und bleibt 0,002 Sekunden im Ruhezustand. Danach befindet sich die Kurve nur noch unterhalb der x-Achse, was auf eine negative Geschwindigkeit hinweist.

t-a-Diagramm:



t-x Diagramm:



b)

Ges. wirkende mittlere Beschleunigung beim Abbremsen ;  $\Delta a$

$$\Delta a = \frac{x_1 - x_0}{y_1 - y_0} = \frac{0,011 - 0,010}{(-409,1) - 0} = -2,44 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

c)

Mikas Kopf wird bis zur 0,049. Sekunde nach vorne geschleudert und fliegt innerhalb von 0,032 Sekunden wieder zurück wo Mika, am Graphen zu sehen, an der Kopfstütze abbrallt und wieder nach vorne in Richtung Lenkrad fliegt.

d)

geg.:  $\Delta v = 5,1 \frac{m}{s}$   
 $\Delta t = 0,007s$   
 ges.: a

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5,1 \frac{m}{s}}{0,007s} \approx 728,6 \frac{m}{s^2} \approx 74g$$

A: Mikas Kopf wird mit dem etwa 74-Fachen der Erdbeschleunigung abgebremst.

e)

geg.:  $\Delta v = 5,1 \frac{m}{s}$   
 $\Delta t = 0,01s$   
 ges.: a

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5,1 \frac{m}{s}}{0,01s} = 510 \frac{m}{s^2} \approx 52g$$

A: Mikas Kopf wird nur noch mit dem etwa 52-Fachen der Erdbeschleunigung abgebremst.

f)

Gurt, Airbag und Knautschzone sollen als Elemente des modernen Insassenschutz die auf den Fahrer wirkenden Kräfte beim Crash soweit wie möglich minimieren.

Gurt: Zurückhalten des Insassen im Sitz gegen die Trägheit des Körpers

- langsame Entschleunigung des Insassen
- Verlängerung des Abbremsweges

Airbag: Auffangen des Kopfes des Insassen

- Schutz vor Aufprall auf hartes Lenkrad
- langsame Entschleunigung des Insassen
- Verlängerung des Abbremsweges

Knautschzone: Zusammendrücken der Knautschzone durch Verformungsarbeit

- Absorbierung eines Teils der Energie durch „Knautschen“
- Abbremszeit erhöhen

## Lösung Aufgabe 5

a)  $D = \frac{F}{s} = \frac{40N}{0,11m} = 364 \frac{N}{m}$

Es gilt der Energieerhaltungssatz:

$$6 \cdot \frac{1}{2} D s^2 = \frac{1}{2} m v^2 + F_R \cdot s$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (3D s^2 - F_R s)}{m}}$$



$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(3 \cdot 364 \frac{N}{m} \cdot (0,6m)^2 - 50N \cdot 1,30m\right)}{9,4kg}}$$

$$v = 8,4 \frac{m}{s} = 30 \text{ km/h}$$

b) Es gilt:  $u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$

$$u_1 = \frac{(4,0kg - 0,2kg)8m/s}{4,2kg} = 7,2m/s \text{ (Geschwindigkeit des Autos nach dem Zusammensto\ss)}$$

$$u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

$$u_2 = \frac{2 \cdot 4,0kg \cdot 8,0m/s}{4,2kg} = 15,2m/s = 55 \text{ km/h (Geschwindigkeit von Glubschi nach dem Zusammensto\ss)}$$

c) Angenommen die gesamte kinetische Energie wird in Rotationsenergie umgewandelt:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}J\omega^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{mv^2}{J}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{0,2kg(15,2m/s)^2}{\frac{0,2kg}{8} \cdot (0,2m)^2}}$$

$$\omega = 215 \frac{1}{s}$$

d) e) Individuelle L\u00f6sungen