

Herbert HENNING, Peter DRÖSE, Magdeburg

Der Airbag als „Lebensretter“

Einleitung

Die Fahrsicherheit in den Autos wurde in den letzten Jahren stark verbessert. Zu den größten Errungenschaften zählt dabei die Verwendung eines Airbags. Diese Idee wurde ursprünglich für Flugzeuge entwickelt und 1981 erstmalig auch in einem Auto realisiert. Eine große technische Herausforderung lag darin, ein Prinzip zu entwickeln, den Airbag möglichst schnell mit einem nicht reaktionsfähigen und ungiftigen Gas zu füllen. Dafür gibt es viele Varianten. Eine davon geht auf eine einfache chemische Reaktion zurück. Es handelt sich dabei um eine so heftige Reaktion mit Gasentwicklung, dass sie in die Klasse der „Explosionen“ einzuordnen ist. Im Rahmen der Lösung des Problems tritt der Schüler an die Stelle des Ingenieurs, entwickelt Kompetenzen im Bereich des vernetzten Denkens und erfährt, dass Modellbildung eine fächerübergreifende Lernkompetenz ist.

Problemstellung

Eine große Autofirma möchte ein neues Auto produzieren. Es soll nach dem neuesten Entwicklungsstand auch mit Airbags ausgestattet sein. Der zuständige Entwicklungsingenieur für Sicherheit erhält von den Cockpitdesignern die gewünschten Abmaße des Fahrerairbags. Dabei müssen durch den Ingenieur drei Aufgabenstellungen bewältigt werden:

- (1) Umsetzen des Funktionsprinzips zum Aufblasen des Airbags in Gefahrensituationen
- (2) Modellierung des Airbags zur Berechnung des Volumens
- (3) Berechnung der Masse an Explosionsmittel zum Aufblasen des Airbags.

Problemlösung

Als erstes muss die Funktionsweise des Aufblasens des Airbags gefunden werden. In diesem Fall fällt die Wahl auf die pyrotechnische Variante der Befüllung des Airbags durch die Reaktion einer Zündermischung aus Natriumazid, Kaliumnitrat und Siliziumdioxid:



Um die Aufgabe berechenbarer zu machen, kann mittels didaktischer Reduktion von der Zersetzung von reinem Natriumazid ausgegangen werden, da diese Reaktion den eigentlichen Stickstoff zum Aufblasen liefert:



In der Praxis wird die Zündmischung nach (R1) verwendet, um die bedenklichen Stoffe Natriumazid (NaN_3) und Natrium (Na) nicht in ungebundener Form vorliegen zu haben und damit die Fahrzeuginsassen zu gefährden. Aus (R2) können die Stoffmengenverhältnisse zwischen Natriumazid und Stickstoff berechnet werden:

$$n_{\text{NaN}_3} = \frac{2}{3} n_{\text{N}_2} \quad (1)$$

Mithilfe des stöchiometrischen Rechnens ergibt sich daraus

$$m_{\text{NaN}_3} = M_{\text{NaN}_3} n_{\text{NaN}_3} = M_{\text{NaN}_3} \frac{2}{3} n_{\text{N}_2} \quad (2)$$

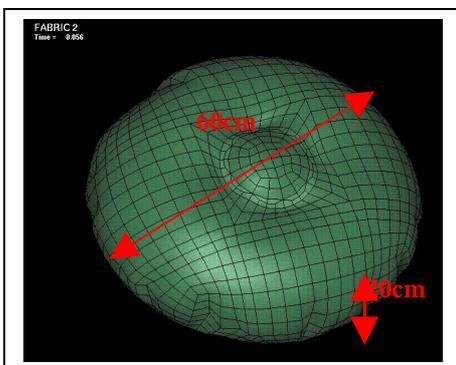
Über die ideale Gasgleichung aus der Physik ein Zusammenhang zwischen der Stoffmenge und dem Volumen an Stickstoff hergestellt werden:

$$p V_{\text{N}_2} = n_{\text{N}_2} R T \quad (3)$$

Umgestellt nach der Stoffmenge an Stickstoff (n) und eingesetzt in die Gleichung (2) liefert:

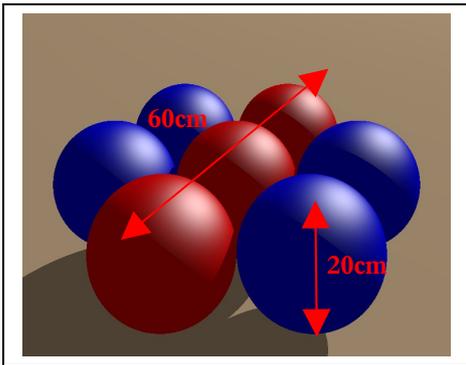
$$m_{\text{NaN}_3} = M_{\text{NaN}_3} \frac{2}{3} \frac{p V_{\text{N}_2}}{R T} \quad (4)$$

Um die Masse an Natriumazid zu bestimmen, ist es nach (4) notwendig, das benötigte Volumen des Stickstoffs und damit das Volumen des Airbags zu bestimmen. Die Abmaße (Standards) des Airbags sind gegeben.



Abmaße des Airbags

Eine erste Variante modelliert den Airbag mit sieben gleich großen Kugeln:

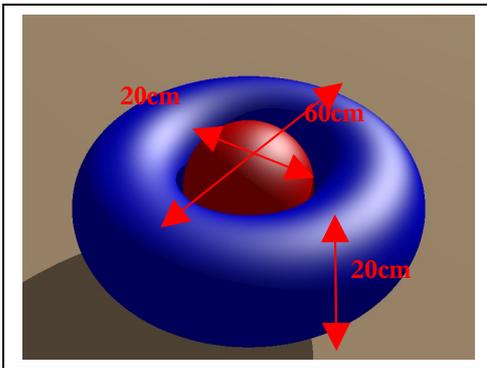


Variante 1 zur Modellierung des Airbags mit sieben gleich großen Kugeln

Für das Volumen erhält man

$$V = 7 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{28}{3} \pi (10\text{cm})^3 = \underline{\underline{29321\text{cm}^3}} \quad 29,31$$

Die zweite Variante bedient sich eines Torus` und einer Kugel:

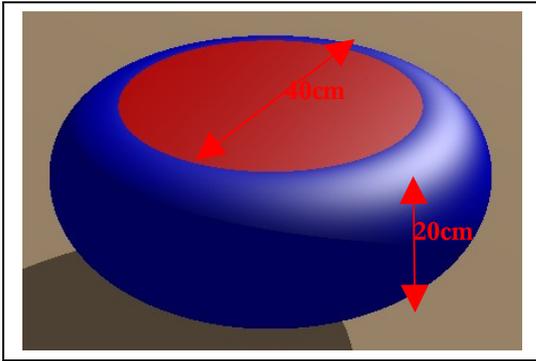


Variante 2 zur Modellierung des Airbags mit einem Torus und einer Kugel

Die Berechnung des Torusvolumens ist dem Schüler unbekannt, daher muss der Torus in der Mitte aufgeschnitten und zu einem Zylinder „aufgebogen“ werden. Für das Volumen erhält man

Eine weitere Variante zerlegt den Airbag in einen halben Torus und einen Zylinder:

$$V_{\text{ges}} = V_{\text{Kugel}} + V_{\text{Torus}} = \frac{4}{3} \pi (10\text{cm})^3 + 4000\text{cm}^3 \pi^2 = \underline{\underline{43667\text{cm}^3}} \quad 43,71$$



Variante 3 zur Modellierung des Airbags mit einem halben Torus und einen Zylinder

Für das Volumen erhält man:

$$V_{\text{ges}} = V_{\text{Zylinder}} + \frac{1}{2} V_{\text{Torus}} = \pi (20\text{cm})^2 \cdot 20\text{cm} + \frac{1}{2} \cdot 4000\text{cm}^3 \cdot \pi^2 = \underline{\underline{44872\text{cm}^3}} \quad \underline{\underline{44,9\text{l}}}$$

Die Interpretation der erhaltenen Volumina auf das Realproblem liefert, dass die dritte hier dargestellte Variante die beste ist und damit Form und Volumen des Airbags nahezu optimal beschreibt.

Das Zusammenführen der Ergebnisse ergibt die Masse an Natriumazid:

$$m_{\text{NaN}_3} = M_{\text{NaN}_3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{p \cdot V_{\text{N}_2}}{R \cdot T}$$

$$= 65,02 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2,5\text{bar} \cdot 44,9\text{l}}{8,3145 \cdot 10^{-21} \text{ bar K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298\text{K}}$$

$$\underline{\underline{196,4\text{g}}}$$

Die für das Beispiel verwendeten konkreten Werte (Druck, Temperatur) können aus den Angaben in [1] entnommen werden.

Literatur

- [1] Herbert Henning, Peter Dröse: „Der Airbag“ in: MNU **59** (2006) No. 1, S.28-34