

# **Modellierungsaufgaben im Chemieunterricht**

*Ulrike Beck, Silvija Markic, Ingo Eilks  
Universität Bremen*

**Online - Ergänzung**

## Aus dem Sandeimer in den Mikrochip

Ein Leben ohne Mikrochips wäre für uns heutzutage nicht mehr denkbar; sie finden sich beispielsweise in Handys, Computern, Haushaltsgeräten und Autos. Mikrochips werden aus Silicium hergestellt.

Silicium wird aus Siliciumdioxid gewonnen. Siliciumdioxid ist uns besonders in Form von Sand bekannt. Dieses Siliciumdioxid wird mit Hilfe von Kohlenstoff bei sehr hohen Temperaturen zur Reaktion gebracht. Es entstehen Silicium und Kohlenstoffmonooxid.

Dieses Silicium hat noch etwa 1-2% Verunreinigungen und wird durch viele weitere Arbeitsschritte gereinigt, um in der Mikroelektronik verwendet werden zu können.

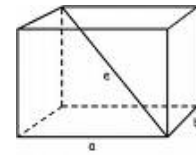
**Wie viele Computerchips aus reinem Silicium könnte man aus einem Eimer Sand produzieren? Mikrochips haben eine Dicke von ca.  $400\mu\text{m} = 0,0004\text{m}$ .**



### Volumenberechnung

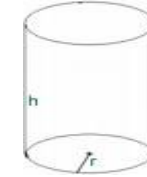
Das Volumen eines Körpers ist der von ihm umschlossene Raum.

#### Quader



$$V = a \cdot b \cdot c$$

#### Zylinder



$$V = r^2 \cdot h \cdot \pi$$

### Dichte

Die Dichte eines Stoffes gibt die Masse pro Volumeneinheit an. Die Masse wird in der Einheit „g“ oder „kg“ angegeben, das Volumen in der Einheit „cm<sup>3</sup>“ oder „dm<sup>3</sup>“. Bei Gasen und Flüssigkeiten kann statt dm<sup>3</sup> auch der Begriff Liter verwendet werden. Ein dm<sup>3</sup> ist ein L.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{Dichte} = \text{Masse} / \text{Volumen})$$

- Dichte von Siliciumdioxid:  $2,65 \text{ g/cm}^3$

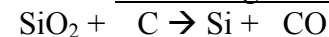
- Dichte von Silicium:  $2,33 \text{ g/cm}^3$

### Reaktionsgleichung

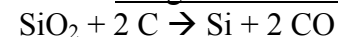
1. Wortgleichung:

Siliciumdioxid + Kohlenstoff  $\rightarrow$  Silicium + Kohlenstoffmonooxid

2. Reaktionsgleichung mit chemischen Formeln



3. Ausgleichen der Zahlenverhältnisse



### Atomare Massen

Silicium (Si): 28,09u

Sauerstoff (O): 16 u

### Längeneinheiten

$1\mu\text{m} = 0,1\text{mm} = 0,0001\text{m}$

## Eine mögliche Lösung

### Volumen des Eimers und Masse des Sands:

Für einen Spielzeugsandeimer sind folgende Maße realistisch:  $h = 30 \text{ cm}$ ,  $d = 20 \text{ cm}$  ( $r = 10 \text{ cm}$ ).

Daraus ergibt sich für das Volumen:

$$V(\text{Eimer}) = r^2 \cdot \pi \cdot h = (10 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 30 \text{ cm} \approx 9420 \text{ cm}^3$$

Aus der Dichte  $\rho(\text{Siliciumdioxid}) = 2,65 \text{ g/cm}^3$  erhalten wir für die Masse des Sands im Eimer:

$$m(\text{Sand}) = 9420 \text{ cm}^3 \cdot 2,65 \text{ g/cm}^3 = 24963 \text{ g} \approx 25000 \text{ g} \approx 25 \text{ kg}.$$

### Volumen und Masse eines Mikrochips:

Die Größe des Mikrochips kann anhand des Fingers abgeschätzt werden. Man kann von einer Länge von ca.  $1 \text{ cm}$  und einer Breite von  $1 \text{ cm}$  ausgehen. Die Dicke eines Mikrochips ist  $400 \mu\text{m}$ .  $400 \mu\text{m}$  entsprechen  $0,0004 \text{ m} = 0,04 \text{ cm}$ . Aus der Formel für das Volumen eines Quaders ergibt sich:

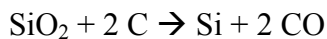
$$V(\text{Mikrochip}) = 1 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 0,04 \text{ cm} = 0,01 \text{ cm}^3$$

Aus der Dichte  $\rho(\text{Silicium}) = 2,33 \text{ g/cm}^3$ ; erhalten wir für die Masse eines Mikrochips:

$$m = 0,01 \text{ cm}^3 \cdot 2,33 \text{ g/cm}^3 = 0,0233 \text{ g}$$

### Wie viel Silicium entsteht aus 25000 g SiO<sub>2</sub>?

Für die Berechnung benötigen wir die Reaktionsgleichung. Anhand dieser Gleichung kann das entstandene Silicium berechnet werden.



Die atomare Masse von Silicium beträgt  $M(\text{Si}) = 28,09 \text{ u}$ ; die Masse einer Formeleinheit Siliciumdioxid  $M(\text{SiO}_2) = 1 \cdot 28,09 \text{ u} + 2 \cdot 16 \text{ u} = 60,09 \text{ u}$ .

Aus der Reaktionsgleichung ist zu erkennen, dass aus je einer Formeleinheit Siliciumdioxid je ein Siliciumatom entsteht.

Auf der stofflichen Ebene kann man das Verhältnis der atomaren Massen in  $\text{u}$  mit dem Verhältnis der Stoffmengen in Gramm gleichsetzen.

Je  $60,09 \text{ u SiO}_2$  entstehen  $28,09 \text{ u Si}$ .

=> Je  $60,09 \text{ g SiO}_2$  entstehen  $28,09 \text{ g Si}$ .

=> Je  $1 \text{ g SiO}_2$  entstehen  $\frac{28,09 \text{ g}}{60,09} \text{ Si}$ .

=> Aus  $25000 \text{ g SiO}_2$  entstehen  $\frac{28,09 \cdot 25000 \text{ g}}{60,09} = 11682,5 \text{ g Si}$ .

**Es könnten ca. 11690 g Silicium aus einem Eimer Sand hergestellt werden.**

### Wie viele Mikrochips können aus 11690 g Si hergestellt werden?

$$N(\text{Chips}) = 11690 \text{ g} : 0,0932 \text{ g} = 125429,18 \approx 125430$$

**Es könnten theoretisch ca. 125430 Mikrochips aus einem Eimer Sand hergestellt werden.**

## O<sub>2</sub>- Gas aus dem Friseursalon

Früher färbten sich die Menschen ihre Haare mit Pflanzenstoffen (Bsp. Henna). Heute benutzt man immer mehr künstliche Farbstoffe. Das gewünschte Haarfärbemittel wird im Friseursalon zusammengemixt. Dabei werden zwei Bestandteile verwendet:

- Die Farbe (bestehend aus Farbvorstufen, Nuancierungs-farbstoffen, Alkalien)
- Das Oxidant (bestehend aus Wasserstoffperoxid, Stabilisierungsmitteln, Pflegestoffen)

Je nachdem, welche Farbe später erreicht werden soll, muss zunächst die ursprüngliche Farbe des Haares aufgehellt werden. Hierfür ist das Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) zuständig. Daher enthalten verschiedene Mischungen unterschiedlich viel Wasserstoffperoxid:

- Haartönung H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>- Lsg, w= ca. 1 %
- Intensivtönung H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>- Lsg, w= ca. 3 %
- Haarfärbung H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>- Lsg, w= ca. 6 %
- Blondierung H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>- Lsg, w= ca. 6 %

Beim Anmischen der Farbe zersetzt sich Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff. Der Sauerstoff zersetzt die Farbe im Haar.

*Wie viel Sauerstoffgas würde ein Friseursalon pro Jahr erzeugen, wenn der Sauerstoff nicht gleich wieder reagieren würde?*



### Menge an Mischung aus Farbe und Oxidant

Hier kommt es ganz auf die Haarlänge der Person an.

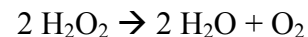
- Kurze Haare → ca. 60 mL
- Mittellange Haare → ca. 90 mL
- Lange Haare → ca. 120 mL

### Informationen zum Friseursalon

Nach Auskunft eines Friseurs kann man davon ausgehen, dass je Stuhl in einem Friseursalon je Woche etwa 2 Haartönungen, -färbungen oder Blondierungen stattfinden. Ein normale Größe für einen Friseursalon sind etwa 8 Stühle.

### Reaktionsgleichung

Wasserstoffperoxid reagiert zu Wasser und Sauerstoff:



### Atomare Massen und Dichte von Sauerstoff

Sauerstoff (O): 16 u

Wasserstoff (H): 1 u

Die Dichte eines Stoffes gibt die Masse pro Volumeneinheit an. Die Masse wird in der Einheit „g“ oder „kg“ angegeben, das Volumen in der Einheit „cm<sup>3</sup>“ oder „dm<sup>3</sup>“. Bei Gasen und Flüssigkeiten kann statt dm<sup>3</sup> auch der Begriff Liter verwendet werden. Ein dm<sup>3</sup> ist ein L.

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ , (Dichte = Masse/ Volumen)}$$

Dichte von Sauerstoff:  $\rho (\text{O}_2) = 0,66 \text{ g/L}$

Dichte von Wasserstoffperoxid:  $\rho (\text{H}_2\text{O}_2) = 1 \text{ g/mL}$

## *Eine mögliche Lösung*

### Berechnung der Menge Wasserstoffperoxid-Lösung pro Woche

Wir vereinfachen sehr stark und gehen davon aus, dass kurze, mittellange und lange Haare gleich oft vorkommen.

Die durchschnittliche Menge für das Färben ergibt sich als Mittelwert für die drei Haarlängen:

$$V (\text{Farbe/Oxidant}) = (60 \text{ mL} + 90 \text{ mL} + 120 \text{ mL}) : 3 = 90 \text{ mL}$$

Daraus ergibt sich ein Verbrauch an Wasserstoffperoxid-Lösung von

$$V (\text{Farbe/Oxidant}) = 16 \cdot 90 \text{ mL} = 1510 \text{ mL} \approx 1,5 \text{ L}$$

### Berechnung der Menge Wasserstoffperoxid

Wir vereinfachen wieder und gehen davon aus, dass auch die verschiedenen Arten der Färbung gleich oft vorkommen.

Der durchschnittliche Gehalt an Wasserstoffperoxid ergibt sich als Mittelwert für die vier Färbetypen:

$$w (\text{H}_2\text{O}_2) = (1\% + 3\% + 6\% + 6\%) : 4 = 4\%$$

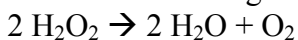
Daraus kann man die Menge Wasserstoffperoxid je Woche berechnen:

$$m (\text{H}_2\text{O}_2) = 1,5 \text{ L} \cdot 0,04 = 0,06 \text{ L}$$

Da die Dichte von Wasserstoffperoxid ungefähr 1 g/mL ist, entspricht dies 60 g je Woche und 3120 g = 3,12 kg im Jahr.

### Berechnung der entstehenden Sauerstoffmenge

Für die Berechnung der Sauerstoffmenge benötigen wir die Reaktionsgleichung:



Wir können sehen, dass je aus je Wasserstoffperoxidmolekülen ein Sauerstoffmolekül entsteht. Die Masse eines Wasserstoffperoxidmoleküls beträgt:  $M (\text{H}_2\text{O}_2) = 2 \cdot 1 \text{ u} + 2 \cdot 16 \text{ u} = 34 \text{ u}$ . Die Masse eines Sauerstoffmoleküls beträgt:  $M (\text{O}_2) = 2 \cdot 16 \text{ u} = 32 \text{ u}$ .

Daraus ergibt sich, dass je 68 u Wasserstoffperoxid genau 32 u Sauerstoff entstehen.

Auf der stofflichen Ebene bleibt dieses Verhältnis erhalten: Aus je 68 g Wasserstoffperoxid entstehen genau 32 g Sauerstoff:

Je 68 g  $\text{H}_2\text{O}_2$  entstehen 32 g  $\text{O}_2$

$$\Rightarrow \text{Je } 1 \text{ g } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ entstehen } 32 : 68 \cdot 1 \text{ g} = 0,47 \text{ g } \text{O}_2$$

$$\Rightarrow \text{Aus } 3120 \text{ g } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ entstehen } 3120 \cdot 0,47 \text{ g } \text{O}_2 = 1470 \text{ g } \text{O}_2 \approx 1,5 \text{ kg } \text{O}_2$$

Aus der Dichte des Sauerstoffs kann man jetzt das Volumen berechnen:

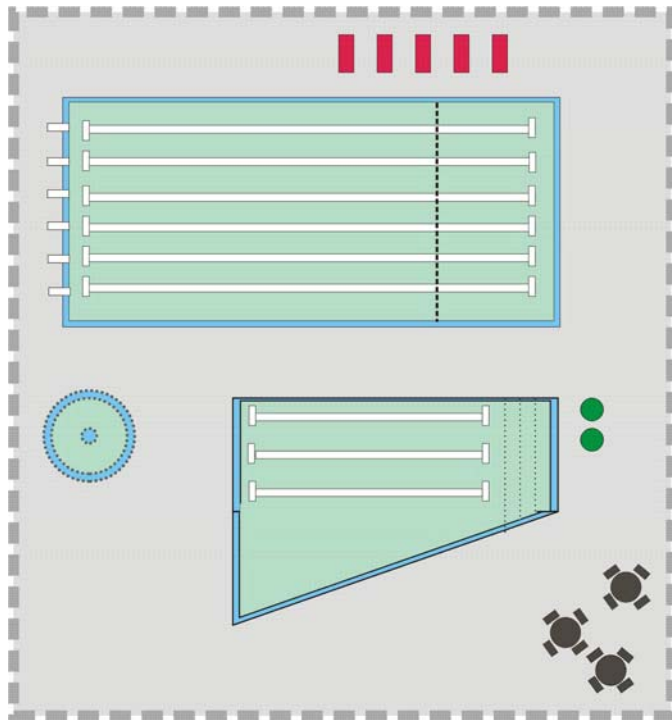
$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1500 \text{ g}}{0,66 \text{ g/L}} = 2272 \text{ L}$$

## Chlorgas im Hallenbad

Wer kennt ihn nicht, den typischen Geruch im Hallenbad: Chlor. Das Wasser in einem öffentlichen Hallenbad muss desinfiziert sein, damit für die Badegäste kein Infektionsrisiko besteht. Meistens wird die Desinfektion mit Chlorgas durchgeführt, das in das Wasser eingeleitet wird. Pro Tag werden durchschnittlich 5g Chlor je m<sup>3</sup> Wasser für die Desinfektion benötigt.

Hierbei entsteht aus Wasser und Chlorgas Salzsäure und Hypochlorige Säure mit der Formel HClO. Ein Nebenprodukt bei dieser Reaktion ist Salzsäure.

*Wie viel Salzsäuregas würde pro Tag in dem unten dargestellten Schwimmbad entstehen, wenn die oben beschriebene Reaktion vollständig ablaufen würde?*



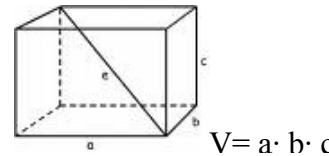
### Wassertiefe von Schimm- und Badebecken

- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| - Springerbecken       | mind. 3,40m           |
| - Schwimmerbecken      | mind. 1,35m           |
| - Nichtschwimmerbecken | zwischen 0,6m – 1,35m |

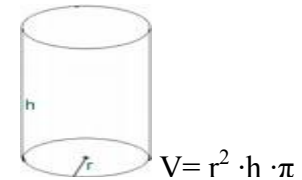
### Volumenberechnung

Das Volumen eines Körpers ist der von ihm umschlossene Raum.

#### Quader



#### Zylinder



### Reaktionsgleichung

Chlor + Wasser → Hypochlorige Säure + Salzsäure



### Atomare Massen

Wasserstoff (H): 1 u; Chlor (Cl): 35,5u; Sauerstoff (O): 16 u

Die Dichte eines Stoffes gibt die Masse pro Volumeneinheit an. Die Masse wird in der Einheit „g“ oder „kg“ angegeben, das Volumen in der Einheit „cm<sup>3</sup>“ oder „dm<sup>3</sup>“. Bei Gasen und Flüssigkeiten kann statt dm<sup>3</sup> auch der Begriff Liter verwendet werden. Ein dm<sup>3</sup> ist ein L.

$$\rho = \frac{M}{V}, \text{ (Dichte = Masse/ Volumen)}$$

Dichte von Chlorwasserstoffgas:  $\rho$  (HCl) = 1,52 g/L

## Eine mögliche Lösung

### Volumenberechnung des abgebildeten Hallenbads

I. Das obere Becken ist ein Schwimmerbecken. Dies hat normalerweise eine Länge von 25m. Im Verhältnis können wir die Breite mit ca. 10m abschätzen. Die Tiefe des Beckens könnte im Durchschnitt ca. 1,50m sein. An einer Seite ist es etwas tiefer, an der andern etwas flacher. Es ergibt sich aus der Volumenformel für den Quader:

$$V(\text{Schwimmerbecken I}) = 25\text{m} \cdot 10\text{m} \cdot 1,50\text{m} = 375\text{m}^3$$

II. Das runde Becken hat einen geschätzten Durchmesser von 7m. Angenommen es ist ein Keinkindbecken, so hat es eine Tiefe von 0,3 m. Wir wenden die Volumenformel für Zylinder an:

$$V(\text{Schwimmerbecken II}) = (3,5\text{m})^2 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot \pi \approx 13 \text{ m}^3.$$

III. Das dritte Becken kann in der Breite und Länge ein wenig verlängert werden um die untere Spitze mit einzubeziehen. Daher kann man hier von einer Länge von 17m und einer Breite von 9m ausgehen. Geht man hier von einem Nichtschwimmerbecken aus, so ist eine durchschnittliche Tiefe von 1,0 m realistisch. Aus der Volumenformel für Quader ergibt sich:

$$V(\text{Schwimmerbecken III}) = 17\text{m} \cdot 9\text{m} \cdot 1 \text{ m} \approx 153 \text{ m}^3.$$

**Die Schwimmbäder haben ein Beckenvolumen von  $V = 375\text{m}^3 + 13 \text{ m}^3 + 153 \text{ m}^3 = 531 \text{ m}^3 \approx 530 \text{ m}^3$ . Dies entspricht auch der Wassermenge von 530 000L.**

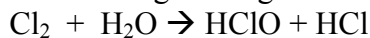
### Berechnung der verwendeten Chlormenge an einem Tag

Pro  $\text{m}^3$  Wasser werden an einem Tag 5g Chlor benötigt. Daraus folgt für  $530 \text{ m}^3$ :

$$m(\text{Chlor}) = 5 \text{ g/m}^3 \cdot 530 \text{ m}^3 = 2650 \text{ g} \approx 2,65 \text{ kg}$$

### Wie viel Salzsäuregas würden bei vollständiger Reaktion entstehen?

Für die Berechnung benötigen wir die Reaktionsgleichung.



Die Masse eines Moleküls Chlor beträgt  $M(\text{Cl}_2) = 2 \cdot 35,5 \text{ u} = 71 \text{ u}$ ; die Masse eines Moleküls Chlorwasserstoff  $m(\text{HCl}) = 1 \cdot 1 \text{ u} + 1 \cdot 35,5 \text{ u} = 36,5 \text{ u}$ .

Aus der Reaktionsgleichung erkennen wir, dass je Chlormolekül ein Molekül Chlorwasserstoff gebildet wird.

Daraus ergibt sich, dass je 71 u Chlor genau 36,5 u Chlorwasserstoff entstehen würden.

Auf der stofflichen Ebene bleibt dieses Verhältnis erhalten: Aus je 71 g Chlor entstehen 36,5 g Chlorwasserstoff:

Je 71 g  $\text{Cl}_2$  entstehen 36,5 g HCl

$$\Rightarrow \text{Je } 1 \text{ g } \text{Cl}_2 \text{ entstehen } 36,5 : 71 \cdot 1 \text{ g} = 0,514 \text{ g HCl}$$

$$\Rightarrow \text{Aus } 2650 \text{ g } \text{Cl}_2 \text{ entstehen } 2650 \cdot \text{g HCl} = 1362 \text{ g HCl} \approx 1,4 \text{ kg HCl}$$

Aus der Dichte des Sauerstoffs kann man jetzt das Volumen berechnen:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1400 \text{ g}}{1,52 \text{ g/L}} \approx 920 \text{ L}$$

## *Natrium für die Apotheke*

Nasentropfen gehören zu fast jeder kleinen Hausapotheke dazu. Bei Schnupfen, einer Erkältung oder einer angeschwollenen Nase werden sie zu Hilfe gezogen.

Die Zusammensetzung ist unterschiedlich, jedoch gibt es viele Nasentropfen die auf Natriumchlorid-Lösung basieren.

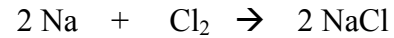
In einer Apotheke werden ca. 30 Stück der Marke `RATIOPHARM-NASEN SPRAY PUR` pro Jahr verkauft.

*Wie viel Natrium wäre zur Produktion dieser Nasentropfen in einem Jahr für ganz Deutschland nötig, wenn man das Natriumchlorid aus den Elementen Natrium und Chlor herstellen würde?*



### Reaktionsgleichung

Natrium + Chlor → Natriumchlorid



### Atomare Massen

Natrium (Na) : 23 u

Chlor (Cl): 35,5 u



## Eine mögliche Lösung

### Nasenspray Packungen pro Jahr

Es stellt sich die Frage für wie viele Einwohner eine Apotheke im Durchschnitt zuständig ist. Eine Antwort könntest du für deinen Heimatort über das Branchenbuch bekommen. Wir können vereinfacht auch annehmen, dass es in einem Ort mit ca. 32000 Einwohnern 8 Apotheken gibt, Eine Apotheke ist somit für 4000 Einwohner zuständig.

Deutschland hat ca. 82 310 000 Einwohner.

$N(\text{Apotheken}) = 82\,310\,000 : 4000 = 20\,577,5 \approx 20\,600$

**Wir können von ca. 20 600 Apotheken in Deutschland ausgehen. Das ergäbe einen Verkauf von  $(20\,600 \cdot 30 = 618\,000)$  618 000 Packungen Nasenspray.**

### Berechnung der Nasenspray Menge in mL /L

Die Gebrauchsanweisung dieses Nasensprays gibt an, dass der Inhalt der Flasche 10mL beträgt.

Da pro Jahr 618 000 Flaschen verkauft werden ergibt sich ein Volumen von:

$$V = 618\,000 \cdot 10\text{mL} = 6\,180\,000\text{mL} = 6180\text{L} \approx 6200\text{L}$$

### Berechnung der Natriumchloridmenge im Nasenspray

Die Gebrauchsanweisung gibt Auskunft über die Konzentration der Natriumchloridlösung. Sie beträgt  $w = 0,9\%$ .

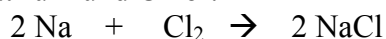
Die Dichte von so verdünnter Natriumchloridlösung kann als  $1\text{g/cm}^3$  angenommen werden. Daher wiegt ein mL dieser Lösung 1g.

0,9% ige NaCl Lösung bedeutet folgendes: In einer 100mL Lösung sind 0,9 g NaCl gelöst. In einem Liter somit 90g NaCl. Daraus ergibt sich, dass in 6200 L gelöst sind:

$$M(\text{NaCl}) = 6200 \cdot 90\text{g} = 558\,000\text{g} \approx 560\text{kg}$$

### Wie viel Natrium würde für die Herstellung von 560 kg Natriumchlorid benötigt?

Für die Berechnung benötigen wir die Reaktionsgleichung zur Herstellung von Natriumchlorid aus Natrium und Chlor.



Die atomare Masse von Natrium beträgt 23 u;

die Masse einer Formeleinheit Natriumchlorid:  $M(\text{NaCl}) = 1 \cdot 23\text{u} + 1 \cdot 35,5\text{u} = 58,5\text{u}$ .

Aus der Reaktionsgleichung ist zu erkennen, dass aus zwei Natriumatomen zwei Formeleinheiten Natriumchlorid entstehen. Die „zwei“ lässt sich kürzen, wodurch man sagen kann, dass Natriumatom eine Formeleinheit Natriumchlorid entsteht.

Das Verhältnis auf der atomaren Ebene bleibt auf der stofflichen Ebene erhalten:

Für 58,5 u NaCl u werden 23 u Na benötigt.

⇒ Für 58,5 g NaCl u werden 23 g Na benötigt

⇒ Für 1 g NaCl werden  $23 : 58,5 \cdot 1\text{g} = 0,393\text{g}$  NaCl gebildet

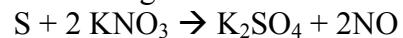
⇒ **Für 560000g NaCl werden  $560000 \cdot 0,393\text{g}$  Na  $\approx 220080\text{g} = 220\text{kg}$  Na benötigt.**

**Für die Herstellung dieser Nasentropfen werden ca. 220 kg Natrium benötigt.**

## Kohlenstoffmonooxid in der Silvesternacht

Das Feuerwerk ist an Silvester nicht weg zu denken. Doch was genau schießen wir eigentlich jedes Jahr in die Luft und was genau passiert dort am Himmel? Feuerwerkskörper enthalten einen hohen Anteil Schwarzpulver. Schwarzpulver sorgt dafür, dass Böller explodieren oder Raketen in den Himmel aufsteigen. Verschiedene Zusatzstoffe werden eingesetzt, damit es zu Farbeffekte oder Funken kommt.

Schwarzpulver ist ein Gemisch aus 75% Kaliumnitrat (Salpeter,  $\text{KNO}_3$ ), 15% Holzkohle (Kohlenstoff) und 10 % Schwefel. Folgende stark vereinfachten Reaktionsgleichungen können wir für die Verbrennung von Schwarzpulver annehmen, wenn alle Reaktionen vollständig ablaufen.



**Wie viel Kohlenstoffmonooxid entsteht allein durch die Zündung von China- Böllern an Silvester in Deutschland?**



## Verpackungsinhalte und Schwarzpulverinhalte

Sorte	Inhalt	Satzgewicht (Schwarzpulveranteil pro Stück)
China- Böller A	240 St.	1,83 g
China- Böller B	240 St.	2,00 g
China- Böller C	100 St.	2,80 g
China- Böller D	80 St.	2,25 g
Super Böller A	80 St.	2,50 g
Super Böller B	80 St.	2,35 g

## Atomare Massen

Kohlenstoff (C) : 12 u

Sauerstoff (O): 16 u

## Eine mögliche Lösung

### Berechnung des China- Böller Konsums in Deutschland an einem Silvesterfest

Deutschland hat ca. 82 310 000 Einwohner. Da China- Böller erst ab 18 gekauft werden dürfen und auch ältere Menschen häufig keine Sylvesterknaller mehr kaufen, schränkt sich die Gruppe der Käufer für China-Böller deutlich ein. Auch vom Rest der Bevölkerung ‚knallt‘ nur ein Teil an Sylvester, einige aber sehr intensiv. Vielleicht kann man davon ausgehen, dass ca. 5 000 000 Einwohner in Deutschland Sylvesterknaller kaufen und hiervon im Durchschnitt jeder 10 China-Böller benutzt.

**Somit ergibt sich ein China- Böller Konsum von  $5\,000\,000 \cdot 10 = 50\,000\,000$  China-Böller pro Jahr.**

### Berechnung des Schwarzpulver Verbrauchs

Geht man davon aus, dass jede der 6 Sorten im gleichen Anteil gekauft wird, ergibt sich:  
 $50\,000\,000 : 6 \approx 8\,333\,333$

**Pro Sorte China- Böller werden ca. 8 333 300 gekauft.**

China- Böller A	$8\,333\,300 \cdot 1,83\text{g} = 15\,249\,939\text{g} = 15\,249,939\text{ kg} \approx 15\,250\text{ kg}$
China- Böller B	$8\,333\,300 \cdot 2,00\text{g} = 16\,666\,600\text{g} = 16\,666,6\text{ kg} \approx 16\,670\text{ kg}$
China- Böller C	$8\,333\,300 \cdot 2,80\text{g} = 23\,333\,240\text{ g} = 23\,333,24\text{ kg} \approx 23\,300\text{ kg}$
China- Böller D	$8\,333\,300 \cdot 2,25\text{g} = 18\,749\,925\text{g} = 18\,749,925\text{ kg} \approx 18\,750\text{ kg}$
Super- Böller A	$8\,333\,300 \cdot 2,50\text{g} = 20\,833\,250\text{g} = 20\,833,25\text{ kg} \approx 20\,800\text{ kg}$
Super- Böller B	$8\,333\,300 \cdot 2,35\text{g} = 19\,583\,255\text{g} = 19\,583,255\text{ kg} \approx 19\,600\text{ kg}$

**Insgesamt sind es dann ca. 114 370 kg  $\approx$  115 t Schwarzpulver, die in der Silvesternacht allein durch China-Böller gezündet werden.**

### Wie viel Kohlenstoffmonooxid entsteht aus 115 t Schwarzpulver?

Für die Berechnung benötigen wir die Reaktionsgleichungen. Kohlenstoffmonooxid entsteht bei der bei der Reaktion von Kohlenstoff mit Kaliumnitrat. Die Kohlenstoffmenge im Schwarzpulver beträgt 15% Kohlenstoff:

$$M(\text{C}) = 115\,000\text{ kg} \cdot 0,15 = 17\,250\text{ kg}$$

Nun kann anhand der Reaktionsgleichung die Menge des entstandenen Kohlenstoffmonooxid berechnen:

Die atomare Masse von Kohlenstoff beträgt 12 u; die Masse eines Moleküls Kohlenstoffmonooxid  $M(\text{CO}) = 12\text{ u} + 16\text{ u} = 28\text{ u}$ .

Aus der Reaktionsgleichung ist zu erkennen, dass aus je drei Kohlenstoffatomen ein Molekül Kohlenstoffmonooxid entsteht. Damit entstehen je  $3 \cdot 12\text{ u}$  Kohlenstoff  $28\text{ u}$  Kohlenstoffmonooxid. Dieses Verhältnis der atomaren Massen bleibt auch auf der stofflichen Ebene erhalten:

- Pro 36 u C entstehen 28 u CO
- ⇒ Pro 36 g C entstehen 28 g CO
- ⇒ Pro 1 g C entstehen  $28 : 36 \cdot 1\text{ g} = 0,78\text{ g CO}$
- ⇒ Aus 17250 kg C entstehen daher 13416 kg CO  $\approx$  13,4 t CO

**Werden Silvester 50 000 000 China- Böller benutzt, so entstehen unter Annahme der zwei idealisierten Reaktionsgleichungen ca. 13,4 t Kohlenmonooxid.**

## Tanklaster- Säureunfall

Säuren finden in vielen Bereichen Verwendung. Sie werden in Tanklaster auf der Straße als Gefahrgut befördert.

Was passiert aber wenn ein Tanklaster selbstverschuldet oder durch einen Unfall ein Leck in den Tanks hat und die Säure ausläuft?

Die Feuerwehr wird verständigt und nimmt eine Neutralisation mit beispielsweise Natronlauge vor.

*Wie viel 4%ige Natronlauge wären für diesen Tanklaster, gefüllt mit konzentrierter Schwefelsäure ( $w = \text{ca. } 65\%$ ), zur Neutralisation nötig, wenn die ganze Säure ausfließen würde?*



© Gabi Schoenemann / PIXELIO

### Volumenberechnung

Das Volumen eines Körpers ist der von ihm umschlossene Raum.

#### Zylinder



$$V = r^2 \cdot h \cdot \pi$$

### Atomare Massen

Natrium (Na): 23 u

Sauerstoff (O): 16 u

Wasserstoff (H): 1 u

Schwefel (S): 32,07u

### Dichte

Die Dichte eines Stoffes gibt die Masse pro Volumeneinheit an. Die Masse wird in der Einheit „g“ oder „kg“ angegeben, das Volumen in der Einheit „cm<sup>3</sup>“ oder „dm<sup>3</sup>“. Bei Gasen und Flüssigkeiten kann statt dm<sup>3</sup> auch der Begriff Liter verwendet werden.

$$\rho = \frac{M}{V},$$

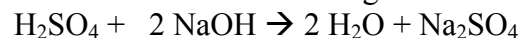
(Dichte = Masse/ Volumen)

- konzentrierte Schwefelsäure  $\rho$  (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 1,84 g/cm<sup>3</sup>

- Natronlauge mit  $w = 4\%$  hat ungefähr die Dichte  $\rho$  (NaOH) = 1 g/cm<sup>3</sup>

### Reaktionsgleichung

Schwefelsäure + Natronlauge → Wasser + Natriumsulfat



## Eine mögliche Lösung

### Berechnung der Menge der Schwefelsäure in dem Tankcluster

Der Tankcluster auf dem Bild ist ca. 13m lang. Ohne die Fahrerkabine (ca.3m) ist der Tank geschätzt 10m lang. Die maximale Breite eines Lasters liegt bei 2,50m;  $h= 11m$  und  $d= 2,50m$ , dies entspricht einem Radius  $r= 1,25m$ .

Somit ergibt sich ein Volumen von:

$V = r^2 \cdot h \cdot \pi$ ;  $V(\text{Tank}) = r^2 \cdot h \cdot \pi = (1,25m)^2 \cdot 10m \cdot \pi = 49,087m^3 \approx 49m^3$ . Da  $1m^3 = 1000L$  entsprechen folgt:

**Ein Tank umfasst ein Volumen von 49 000 L. Da es ein Tankcluster mit drei Anhänger ist, sind auf dem Bild ca. 147 000L konzentrierte Schwefelsäure zu 'sehen'.**

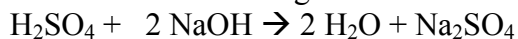
### Masse der Schwefelsäure

Konzentrierte Schwefelsäure hat die Dichte von  $1,84 \text{ g/cm}^3$  – entspricht  $1,84 \text{ g/mL}$  oder  $1,84 \text{ kg/L}$ .

**Die Schwefelsäure des Tankwagens hat eine Masse von  $M(\text{Schwefelsäure}) = 147 000 \text{ L} \cdot 1,84 \text{ kg/L} = 270 480 \text{ kg} \approx 270,5 \text{ t}$ .**

### Wie viel Natronlauge (w = 4%) ist nötig um 270,5t Schwefelsäure zu neutralisieren?

Für die Berechnung benötigen wir die Reaktionsgleichung der Neutralisationsreaktion von Schwefelsäure und Natronlauge.



Die Masse einer Formeleinheit Schwefelsäure beträgt  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 1 \text{ u} + 1 \cdot 32 \text{ u} + 4 \cdot 16 \text{ u} = 98 \text{ u}$ ; die einer Formeleinheit Natriumhydroxid  $M(\text{NaOH}) = 1 \cdot 23 \text{ u} + 16 \text{ u} + 1 \cdot 1 \text{ u} = 40 \text{ u}$ .

Aus der Reaktionsgleichung ist zu erkennen, dass zur Neutralisation jeder Formeleinheit Schwefelsäure zwei Formeleinheiten Natronlauge nötig sind. Somit müssen für die Neutralisation von  $98 \text{ u H}_2\text{SO}_4$   $80 \text{ u NaOH}$  eingesetzt werden. Dieses Verhältnis auf der atomaren Ebene bleibt auf der stofflichen Ebene erhalten:

- Pro  $98 \text{ u H}_2\text{SO}_4$  verbrauchen wir  $80 \text{ u NaOH}$
- ⇒ Pro  $98 \text{ g H}_2\text{SO}_4$  verbrauchen wir  $80 \text{ g NaOH}$
- ⇒ Pro  $1 \text{ g H}_2\text{SO}_4$  verbrauchen wir  $80 : 98 \cdot 1 \text{ g} = 0,816 \text{ g NaOH}$
- ⇒ Für  $270,5 \text{ t C H}_2\text{SO}_4$  verbrauchen wir  $0,816 \cdot 270,5 \text{ t NaOH} \approx 220,7 \text{ t NaOH}$

**Für die Neutralisation wären ca. 220 700 kg Natronlauge nötig.**

### Wie viel Liter 4% ige Natronlauge würden 220 600 kg entsprechen?

$100 \text{ mL } 4\% \text{ iger NaOH}$  enthalten  $4 \text{ g NaOH}$ ; in einem Liter sind daher  $40 \text{ g NaOH}$  gelöst.

$220 600 000 \text{ g} : 40 \text{ g/L} = 5 515 000 \text{ L}$

**Für die Neutralisation der konzentrierten Schwefelsäure des Tankclusters wären 5 515 000 L 4%-ige Natronlauge nötig.**

# Alkoholische Gärung

Wein ist ein alkoholisches Getränk. Chemisch betrachtet enthält Wein den Alkohol Ethanol (eine Verbindung aus der Gruppe der Alkohole) mit der Formel:  $C_2H_5OH$

Ethanol entsteht durch eine natürliche chemische Reaktion. Hefezellen wandeln den Zucker aus dem Traubenmost in Ethanol und Kohlenstoffdioxid um. Dieser Prozess wird alkoholische Gärung genannt.

Weintrauben enthalten Zucker (ca. 16g Zucker /100g Trauben) und sind daher Ausgangsstoff für verschiedene Weinsorten.

*Wieviel reiner Alkohol ist auf diesem Bild zu 'sehen'?*

*Wieviel kg Zucker waren zur Herstellung dieser Alkoholmenge nötig?*



## Weinsorten

Es gibt eine Vielzahl von Weinsorten: Rotwein, Rose', Weißwein. Der Alkoholgehalt auf den Etiketten angegeben und kann je Art des Weins variieren.



## Dichte

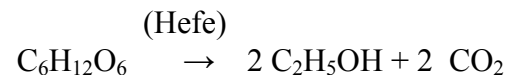
Die Dichte eines Stoffes gibt die Masse pro Volumeneinheit an. Die Masse wird in der Einheit „g“ oder „kg“ angegeben, das Volumen in der Einheit „cm<sup>3</sup>“ oder „dm<sup>3</sup>“. Bei Gasen und Flüssigkeiten kann statt dm<sup>3</sup> auch der Begriff Liter verwendet werden.

$$\rho = \frac{M}{V}, \quad (\text{Dichte} = \text{Masse} / \text{Volumen})$$

- Ethanol hat die Dichte  $\rho$  (Ethanol) = 0.79 g/ cm<sup>3</sup>

## Aufstellen der Reaktionsgleichung

(Hefe)  
Zucker  $\rightarrow$  Ethanol + Kohlenstoffdioxid



## Atomare Massen

Kohlenstoff (C): 12u

Wasserstoff (H): 1u

Sauerstoff (O): 16 u

## Eine mögliche Lösung

### Berechnung der Weinmenge im Regal

Im jedem Regal stehen durchschnittlich 50 Flaschen (10 neben einander, 5 hinter einander). Da es 12 Regale sind, ergeben sich ca. 600 Flaschen. Diese enthalten meistens 0,75 L Wein.

**Im Regal auf dem Bild sind geschätzt  $600 \cdot 0,75 \text{ L} = 450 \text{ L Wein}$ .**

### Umrechnung des Alkoholgehalts von Volumen % in Gramm

Der Alkoholgehalt liegt bei Weinen ca. zwischen 10 und 14 %. Nehmen wir den Mittelwert von 12%:

$$V(\text{Alkohol}) = 450 \text{ L} \cdot 12\% = 54 \text{ L.}$$

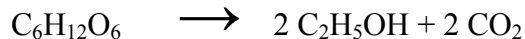
Alkohol hat eine Dichte von  $\rho$  (Ethanol) = 0,79 g/mL bzw. 0,79 kg/L. Daraus ergibt sich

$$m(\text{Ethanol}) = 54 \text{ L} \cdot 0,79 \text{ kg/L} = 42,66 \text{ kg} \approx 45 \text{ kg}$$

**Im Regal sind ca. 45 kg reiner Alkohol vorhanden.**

### Wie viel Zucker sind zur Herstellung von 45 kg Ethanols nötig?

Für die Berechnung benötigen wir die Reaktionsgleichung der alkoholischen Gärung:  
(Hefe)



Aus der Gleichung ist zu erkennen, dass aus einem Molekül Zucker zwei Moleküle Ethanol entstehen.

Die Masse eines Zuckermoleküls beträgt  $M(\text{Zucker}) = 6 \cdot 12 \text{ u} + 12 \cdot 1 \text{ u} + 6 \cdot 16 \text{ u} = 174 \text{ u}$ ; die von Ethanol  $M(\text{Ethanol}) = 2 \cdot 12 \text{ u} + 6 \cdot 1 \text{ u} + 1 \cdot 16 \text{ u} = 46 \text{ u}$ . Da die Reaktionsgleichung zwei Formeleinheiten für Ethanol vorschreibt entspricht dies 92 u Ethanol. Je 174 u Zucker werden als 92 u Ethanol gebildet. Dieses Verhältnis auf der atomaren Ebene bleibt auf der stofflichen Ebene erhalten:

Auf der stofflichen Ebene kann man die molekularen Werte in u mit Stoffmengen in Gramm gleichsetzen. Dies bedeutet:  $1 \text{ u} = 1 \text{ g}$ .

- Für 92 u Ethanol brauchen wir 174 u Zucker
- ⇒ Für 92 g Ethanol brauchen wir 174 g Zucker
- ⇒ Pro 1 g Ethanol brauchen wir  $174 : 92 \cdot 1 \text{ g} = 1,89 \text{ g Zucker}$
- ⇒ Für 130 kg Ethanol verbrauchen wir  $1,89 \cdot 130 \text{ kg Ethanol} \approx 85 \text{ kg Zucker}$

**Theoretisch wären 85 kg Zucker für die Herstellung dieser Weinflaschen nötig.**

## Salzsäure aus dem Partyzelt

Partyzelte und Pavillons gibt es in verschiedenen Größen und Formen. Sie bestehen meist aus Polyethylen (PE) oder Polyvinylchlorid (PVC).

PVC ist nur schwer entzündlich. Was geschieht aber wenn das Zelt doch in Brand gerät?

Folgende stark vereinfachte Reaktionsgleichung kann hier angenommen werden, wenn die Maximalmenge an Chlorwasserstoff gebildet wird.



Die Hersteller von PVC- Zelten geben für das Zelt ein Gewicht von ca.  $500\text{g/m}^2$  an.

*Wie viele Liter verdünnte Salzsäure kann man aus einem PVC-Zelt herstellen? Verdünnte Salzsäure hat die Konzentration von  $2\text{mol/l}$ , das entspricht ca. 8%.*



Mit Erlaubnis von Torsten Mattern (<http://www.mattern-bremen.de/>)

### Zeltgröße

Geht man von einem Rechteckigen Partyzelt aus, so sind Maße wie

- 3m x 6m
- 4m x 6m
- 3m x 8m
- 4m x 8m
- 3m x 10m
- 4m x 10m

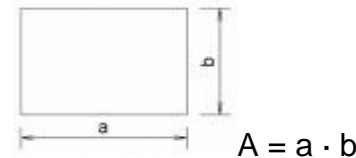
realistisch.

Die Höhe der Seitenwände ist häufig ca. 2m und die Mittelhöhe des Zelts ca. 3m.

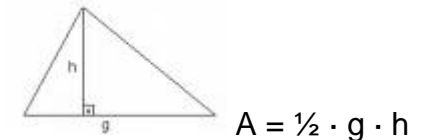
Zelte können auch ohne Seitenteile erworben werden.

### Flächenberechnung

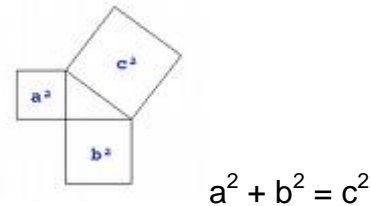
#### Rechteck



#### Dreieck



#### Satz des Pythagoras



### Atomare Massen

Kohlenstoff (C): 12u

Wasserstoff (H): 1u

Chlor (Cl): 35,5u



## Eine mögliche Lösung

### Fläche und Gewicht PVC- Zelt

Ausgehen von einem Zelt der Größe 6m x 3m mit Seitenwänden ergibt sich folgende Zeltfläche:

$$\begin{array}{lll} 2 \text{ Seitenwände:} & \sim 36 \text{ m}^2 & \rightarrow (6\text{m} \cdot 3\text{m}) \cdot 2 \\ 2 \text{ Frontteile:} & \sim 15 \text{ m}^2 & \rightarrow (3\text{m} \cdot 2\text{m}) \cdot 2 + (\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 1) \cdot 2 \\ \text{Dach} & \sim 21,6 \text{ m}^2 & \rightarrow (1,8\text{m} \cdot 6\text{m}) \cdot 2 \end{array}$$

(Berechnung Giebelhöhe mit dem Satz von Pythagoras:  $1,5^2 + 1^2 = c^2$ ;  $c \approx 1,8\text{m}$ )

**Die Gesamtfläche des Zelts ist  $72,6 \text{ m}^2 \approx 72 \text{ m}^2$ ; das Gewicht Zelt beträgt somit ca. 36 kg.**

### Wie viel Chlorwasserstoffgas entsteht aus 36 kg PVC?

Für die Berechnung benötigen wir die Reaktionsgleichung.



Die Masse einer Formeleinheit von PVC beträgt  $M(\text{PVC}) = 2 \cdot 12\text{u} + 3 \cdot 1\text{u} + 1 \cdot 35,5\text{u} = 62,5\text{u}$ ;  
die eines Moleküls Chlorwasserstoff  $M(\text{HCl}) = 1 \cdot 1\text{u} + 1 \cdot 35,5\text{u} = 36,5\text{u}$ .

Aus der Reaktionsgleichung ist zu erkennen, dass aus zwei Formeleinheiten PVC zwei Formeleinheiten Chlorwasserstoff entstehen. Das heißt, dass je Formeleinheit PVC eine Formeleinheit Chlorwasserstoff entsteht. Aus 62,5 u PVC können damit 36,5 u Chlorwasserstoff gebildet werden. Dieses Verhältnis auf der atomaren Ebene bleibt auf der stofflichen Ebene erhalten:

Auf der stofflichen Ebene kann man die molekularen Werte in u mit Stoffmengen in Gramm gleichsetzen. Dies bedeutet:  $1\text{u} = 1\text{g}$ .

- Pro 62,5 u PVC entstehen 36,5 u HCl
- ⇒ Pro 62,5 g PVC entstehen 36,5 g HCl
- ⇒ Pro 1 g PVC entstehen  $36,5 : 62,5 \cdot 1 \text{g} = 0,584 \text{g HCl}$
- ⇒ Aus 36 kg PVC entstehen daher  $0,584 \cdot 36 \text{kg PVC} \approx 21 \text{kg HCl}$

**Es können maximal 21 kg Chlorwasserstoffgas entstehen.**

### Wie viel 8 %ige Salzsäure erhalte ich aus 21 kg Chlorwasserstoffgas?

Rechnen wir mit dem Wert von 8% ergibt sich:

$$21 \text{ kg} \cdot \frac{100}{8} = 262,5 \text{ kg}.$$

Bei einer Dichte von ca. 1kg/L sind dies etwa 260 L.

**Es können ca. 260 L Salzsäure entstehen.**