

Versuch: Bestimmung der molaren Masse nach Dumas (16.12.2002)

Inhalt:

- | | |
|-----------------------------|---------|
| 1. Zweck des Versuchs | Seite 1 |
| 2. Messungen und Auswertung | Seite 1 |
| 3. Beantwortung der Fragen | Seite 7 |

1. Zweck des Versuchs

Das Ziel des vorliegenden Versuches besteht in erster Linie darin, die molare Masse von Chloroform (CH_3Cl) zu bestimmen. Dazu wird die Methode von Dumas angewandt, die grundsätzlich eine Bestimmung der gesuchten Größe mit Hilfe der Zustandsgleichung idealer Gase

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1.1)$$

erlaubt. Hierbei sind: p der Druck eines Gasvolumens V , T dessen absolute Temperatur, n die Stoffmenge im betrachteten Volumen und R die allgemeine Gaskonstante. Mit der Beziehung

$n = \frac{m}{M}$ (m : Masse des Gases, M : molare Masse) lässt sich die Gasgleichung auf die letztlich von uns verwendete Form bringen:

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V} \quad (1.2)$$

Zur Errechnung von M muss es also gelingen, alle Werte auf der rechten Seite für einen Zeitpunkt zu bestimmen.

Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse soll schließlich auch noch die Dichte von Chloroform bei den Bedingungen im Versuch ermittelt werden.

2. Messungen und Auswertung

2.1 Chloroform-Konzentration im Versuchsraum

Die mittlere Chloroform-Konzentration, der wir während des Versuches ausgesetzt waren, wollen wir hier kurz abschätzen und mit dem zulässigen Durchschnitts-Konzentrationswert aus der MAK-Liste von 50 mg/m^3 vergleichen.

Wir treffen folgende vereinfachende Annahmen:

- Während des Versuches werden (siehe Anleitung) 3 g Chloroform freigesetzt. Diese Freisetzung erfolgt instantan (d.h. die gesamte Menge wird „mit einem Schlag“ frei) zum Zeitpunkt $t = 0$.
- Nach dieser Freisetzung befindet sich diese Chloroformmenge homogen verteilt in einem Volumen, das sich kugelförmig ausdehnt.¹ Der Radius der mit Chloroform erfüllten Kugel steigt linear mit der Zeit, wobei $\dot{r} = \frac{1}{10} \frac{\text{m}}{\text{s}}$ angenommen wird (diesen Wert halten wir nach Experimenten mit Kerzenrauch für realistisch). Die Experimentatoren sind ab dem Zeitpunkt, an dem die „Wolke“ sie erreicht, ständig der zeitabhängigen Chloroformkonzentration ausgesetzt; diese ergibt sich aus der Chloroformmasse geteilt durch das zeitabhängige Volumen. Wenn wir einen (sicherheitshalber niedrig geschätzten) Abstand der Experimentatoren zur Chloroformquelle von $0,4 \text{ m}$ annehmen, so beginnt die Exposition bei $t = 4 \text{ s}$. Wir berechnen nun die Durchschnittskonzentration während der ersten 15 min ($= 900 \text{ s}$).

Mit der Formel für die Konzentration:

$$c(t) = \frac{m}{V(t)} = \frac{3 \text{ g}}{\frac{4}{3} \cdot \left(\frac{1}{10} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 t^3 \pi} = \frac{9 \text{ g} \cdot 10^3 \text{ s}^3}{4\pi \cdot t^3 \text{ m}^3}$$

ergibt sich der gesuchte Konzentrationsmittelwert zu:

$$\bar{c} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} c(t) dt = \frac{1}{900 \text{ s}} \frac{9 \text{ g} \cdot 10^3 \text{ s}^3}{4\pi \text{ m}^3} \int_{4 \text{ s}}^{900 \text{ s}} \frac{1}{t^3} dt \approx 25 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Dies ist weniger, als der entsprechende MAK-Mittelwert. Daher ist die beim Versuch auftretende Chloroformkonzentration in Luft wohl als unbedenklich zu betrachten, zumal die Experimentatoren dieser Durchschnittskonzentration auch noch wesentlich kürzer ausgesetzt sind als die dem MAK-Wert zugrundeliegende Expositionsdauer.

Anm.: Leider geht aus der Anleitung nicht eindeutig hervor, ob die 3 g Chloroformmenge etwa pro Gruppe anzusetzen wären, was wir hier nicht gemacht haben. Allerdings würde auch eine un-

¹ Es wird davon ausgegangen, dass die Hemmung der Ausbreitung durch das Erreichen der Raumgrenzen aufgrund ausreichender Belüftung des Raumes für diese Abschätzung vernachlässigt werden kann.

ter dieser Voraussetzung errechnete kurzfristige, nicht zu gravierende Überschreitung des MAK-Mittelwerts die Gesundheit nicht gefährden, zumal die Exposition insgesamt im Vergleich zur MAK-Expositionsdauer nicht besonders lange andauert.

2.2 Bestimmung der molaren Masse von Chloroform und Fehlerrechnung

Wie erwähnt, ist Gleichung (1.2) die Basis für die Bestimmung der molaren Masse. Im Versuch wird eine vorher bestimmte Menge flüssigen Chloroforms in einem Glaskolben mittels eines kochenden Wasserbads so lange erhitzt, bis sie verdampft ist. Im Kolben verbleibt gasförmiges Chloroform, das die leichtere Luft durch die am Kolben ansetzende Kapillare nach außen verdrängt hat. Die Kapillare wird zu diesem Zeitpunkt zügig abgeschlossen und damit versiegelt. Dann können in (1.2) die Chloroformmasse m , die Siedetemperatur T_S von Wasser, das Kolbenvolumen V und der am Kapillarenausgang anliegende Luftdruck p_Z eingesetzt werden. Wir berechnen nun Schritt für Schritt diese Größen und die zugehörigen Fehler.

a) **Druck p_Z :**

Der Druck wurde mit dem im Versuchsraum aushängenden Barometer bestimmt. Bei der vorliegenden Raumtemperatur steht das Quecksilber jedoch höher, als bei einer Temperatur von 0°C , worauf die Skala geeicht ist. Daher muss ein temperaturabhängiger Korrekturterm vom abgelesenen Druck subtrahiert werden. Die Raumtemperatur liest man dafür an einem Quecksilberthermometer zu $T_Z = 293\text{K} \pm 1\text{K}$ bzw. $\vartheta_Z = 20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ab.

Der abgelesene Druckwert war $722,5\text{Torr} \pm 1\text{Torr}$. Der Korrekturfaktor berechnet sich laut ausliegender Tabelle zu:

$$\delta p = \frac{(0,0001818 - 0,00000184) \cdot \vartheta_Z}{1 + 0,0001818 \cdot \vartheta_Z} \cdot p_{\text{abgelesen}} = 2,4\text{Torr}$$

Sein Fehler, der durch die Ablesefehler der Temperatur und des Drucks erzeugt wird, ist vernachlässigbar:

$$\begin{aligned} \Delta(\delta p) &= \sqrt{\left(\frac{\partial(\delta p)}{\partial \vartheta_Z} \Delta \vartheta_Z\right)^2 + \left(\frac{\partial(\delta p)}{p_{\text{abgelesen}}} \Delta p_{\text{abgelesen}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{(0,0001818 - 0,00000184) \Delta \vartheta_Z}{\left(\frac{1}{\vartheta_Z} + 0,0001818\right) \cdot \vartheta_Z^2}\right)^2 + \left(\frac{\delta p}{p_{\text{abgelesen}}} \Delta p_{\text{abgelesen}}\right)^2} = 0,003\text{Torr} \end{aligned}$$

(Hier wurde aufgrund statistischer Natur der Ablesefehler quadratische Fehlerfortpflanzung gewählt.)

Es ergibt sich also mit dem Ablesefehler von 1Torr:

$$p_Z = 720\text{Torr} \pm 1\text{Torr} (= 960\text{hPa} \pm 1\text{hPa})$$

Der entsprechende relative Fehler ist $\Delta p_Z/p_Z = 0,14\%$.

b) Volumen V :

Gleichung (11) der Anleitung erlaubt die Berechnung von V :

$$V = \frac{m_W - m_L}{\rho_W - \rho_L} \quad (2.1)$$

Die Massen m_W und m_L des Glaskolbens mit Luft und mit Wasser als Inhalt wurden von uns im Versuch gemessen:

$$\begin{aligned} m_L &= 28,241\text{g} \pm 0,002\text{g} \\ m_W &= 113,238\text{g} \pm 0,004\text{g} \end{aligned}$$

Der Fehler für m_L ist rein systematischer Natur (Ungenauigkeit der Waage), der Fehler für m_W setzt sich zu gleichen Teilen aus dem systematischen Fehler der Waage und einem statistischen Fehler (beobachtete Anzeigeschwankung) zusammen (lineare Addition).

Für ρ_W wird nach Anleitung ein exakter Wert von 1g/cm^3 angenommen; ρ_L für die Bedingungen im Praktikumsraum zu berechnen, gestaltet sich allerdings etwas schwieriger. Wir verwenden dazu Gleichung (7) der Anleitung, woraus folgt:

$$\frac{p_L}{\rho_L \cdot T_L} = \frac{p_{L,0}}{\rho_{L,0} \cdot T_{L,0}} \Leftrightarrow \rho_L = \rho_{L,0} \frac{p_L \cdot T_{L,0}}{p_{L,0} \cdot T_L} \quad (2.2)$$

Hierbei sind die mit 0 indizierten Größen die (als fehlerlos betrachteten) Werte für den Normzustand: $T_{L,0} = 273\text{K}$, $p_{L,0} = 1,013\text{bar}$ bzw. 760Torr , $\rho_{L,0} = 0,001293\text{g/cm}^3$. Für die nicht mit 0 indizierten Größen sind die oben genannten Messwerte aus dem Praktikumsraum einzusetzen:

$$\begin{aligned} T_L \equiv T_Z &= 293\text{K} \pm 1\text{K} \text{ (rel. Fehler: 0,34\%)} \\ p_L \equiv p_Z &= 720\text{Torr} \pm 1\text{Torr} \text{ (rel. Fehler: 0,14\%)} \end{aligned}$$

Es ergibt sich für ρ_L ein Wert von:

$$\rho_L = 114,2 \cdot 10^{-5} \text{g/cm}^3 \pm 0,4 \cdot 10^{-5} \text{g/cm}^3 \text{ (relativer Fehler: 0,37\%)}$$

Hier wurde der Fehler mittels quadratischer Addition der Relativfehler von T_L und p_L zu einem Relativfehler für ρ_L (und nachfolgender Umrechnung in einen Absolutfehler) errechnet. Dies ist möglich, weil T_L und p_L (als einzige fehlerbehaftete Größen in (2.2)) in ρ_L nur als Divisor bzw. Faktor eingehen.

Nach diesen vielen Rechnungen kennen wir endlich alles, was in (2.1) eingesetzt werden muss, und erhalten:

$$V = 85,09 \text{ cm}^3$$

Den Fehler für V berechnen wir mittels quadratischer Fehlerfortpflanzung mit partiellen Ableitungen. Die Fehler für die Massen sind zwar mehrheitlich systematischer Natur, aber äußerst klein. Zudem ist der (statistische) Fehler für ρ_L von den anderen Fehlern statistisch unabhängig.

$$\begin{aligned}\Delta V &= \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial m_W} \Delta m_W\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial m_L} \Delta m_L\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \rho_L} \Delta \rho_L\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{\rho_W - \rho_L} \Delta m_W\right)^2 + \left(\frac{1}{\rho_L - \rho_W} \Delta m_L\right)^2 + \left(\frac{m_W - m_L}{(\rho_W - \rho_L)^2} \Delta \rho_L\right)^2} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 \hat{=} 0,005\%\end{aligned}$$

c) Siedetemperatur T_S :

Die Siedetemperatur für Wasser (und damit die Temperatur des Chloroformdampfes beim Abschmelzen) gewinnt man aus einer Tabelle in Abhängigkeit von p_z zu:

$$371,64\text{K} \pm 0,04\text{K} (=0,01\%)$$

Der Fehler wurde hierbei unter Beachtung des Fehlers für p_z mithilfe der Tabelle (lineare Interpolation) abgeschätzt.

d) Masse m :

Zur Berechnung der Masse des Chloroforms verwenden wir Gleichung (12) der Anleitung:

$$m = m_C - m_L + \rho_L \cdot V,$$

wo m_C die Masse des mit Chloroform gefüllten Kolbens ($28,469\text{g} \pm 0,004\text{g}$, Fehler wie bei m_W), m_L die des mit Luft gefüllten Kolbens, ρ_L die Dichte der Luft und V das Kolbenvolumen ist.

Man erhält:

$$m = 0,325\text{g}$$

Die Fehler der eingehenden Größen sind untereinander auf vielfältige Weise statistisch abhängig. Wir benutzen also lineare Fehlerfortpflanzung mit den entsprechenden partiellen Ableitungen um den Gesamtfehler für m zu erhalten:

$$\Delta m = |\Delta m_L| + |\Delta m_C| + |V \Delta \rho_L| + |\rho_L \Delta V| = 0,006\text{g} \hat{=} 2\% \quad (2.3)$$

Schließlich erhalten wir aus allen oben errechneten Werten M mit Hilfe von (1.2) zu:

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T_S}{p_z \cdot V} = 123 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad (2.4)$$

Der prozentuale Fehler für diesen Wert ergibt sich (Produkt/Quotient von Messgrößen) schließlich aus der linearen Addition der prozentualen Fehler aller eingehenden Größen:

$$\frac{\Delta M}{M} = 2,2\% \quad (\Rightarrow \Delta M = 3 \frac{\text{g}}{\text{mol}})$$

Leider ist damit der errechnete Wert für M nicht im Rahmen der Fehlergrenzen gleich dem Literaturwert von $119,4\text{g/mol}$.

Der tatsächliche Fehler beträgt 2,9% ; es liegt also ein zusätzlicher systematischer Fehler von mindestens 0,7% – additiv verteilt auf die in M eingehenden Größen – vor. Welche dieser Größen könnte noch mit weiteren systematischen Fehlern behaftet sein?

- p_z ist eine „Ablesegröße“. Der Fehler für die Ablesung und den Korrekturfaktor sind bereits großzügig abgeschätzt. Wir schließen den Druck damit als Ursache weiterer Fehler aus.
- T_S errechnet sich mithilfe von p_z und einer Tabelle. Auch hier ist der Fehler großzügig abgeschätzt.
- V ist bezüglich zusätzlicher Fehler schon interessanter: Es waren nämlich außer dem Wasser auch noch ein paar Luftblasen im Kolben. Das verringert das Volumen des im gefüllten Kolben enthaltenen Wassers und damit direkt das in (2.4) eingehende Volumen. Ein Volumendefekt von ($0,3\% = 0,26\text{cm}^3$) würde also 0,3% des Zusatzfehlers von 0,7% erklären.
- Auch m könnte noch mit zusätzlichen Fehlern behaftet sein. Betrachten wir zunächst die Abhängigkeiten des Fehlers für m von denen für V und ρ_L . Nehmen den gerade genannten Volumenfehler von 0,3% ($= 0,26\text{cm}^3$) an, so nimmt der entsprechende Summand, durch den der Volumenfehler in (2.3) eingeht, einen Wert von 0,0003g an, es entsteht also kein beträchtlicher Zusatzfehler. Der Fehler für ρ_L kann schwerlich größer sein als bereits angenommen, da er sich lediglich aus den Fehlern für p_z und T_S zusammensetzt. Es bleibt also noch, einen Fehler in der Bestimmung der eingehenden Massen zu suchen. Ein etwaiger Glasverlust kommt als Fehler für m_C eher nicht in Frage, da wir sehr genau darauf geachtet haben, alle Bruchstücke mit auf die Waage zu legen und zudem der Verlust eine Abweichung von M nach unten und nicht etwa nach oben erzeugen würde. Wenn wir jedoch annehmen, dass wir den statistischen Fehler für m_L und m_C jeweils um 0,001g zu niedrig angesetzt haben, so erhalten wir nach der unter 2.2b) durchgeführten linearen Addition Fehler von 0,003g bzw. 0,005g für diese Werte. In (2.3) errechnet sich alsdann für m ein Fehler von 2,5%; diese 0,5%ige Erhöhung geht in (2.4) ein, was den restlichen Fehler erklären würde.

2.3 Bestimmung der Dichte von Chloroform

Schließlich sollte noch mit Hilfe der gewonnenen Daten die Dichte von Chloroform bei den im Versuch vorliegenden Bedingungen bestimmt werden. Dazu verwenden wir Gleichung (14) der Anleitung:

$$\rho_C = \rho_L + \frac{m_C - m_L}{V}$$

Mit den bereits in 2.2 bestimmten Werten ergibt sich:

$$\rho_C = 0,00382 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Der Fehler für diese Dichte kann ebenfalls aus den bereits bekannten Unsicherheiten der eingehenden Größen (sinnvollerweise verwendet man hier die oben abgeschätzten Zusatzfehler bereits mit) bestimmt werden. Man wendet eine lineare Fehlerfortpflanzung an (da auch hier die Fehler nicht statistisch unabhängig sind):

$$\begin{aligned}\Delta\rho_C &= \sqrt{\left(\frac{\partial\rho_C}{\partial\rho_L}\Delta\rho_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_C}{\partial m_C}\Delta m_C\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_C}{\partial m_L}\Delta m_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_C}{\partial V}\Delta V\right)^2} = \\ &= \sqrt{(\Delta\rho_L)^2 + \left(\frac{1}{V}\Delta m_C\right)^2 + \left(-\frac{1}{V}\Delta m_L\right)^2 + \left(\frac{m_C - m_L}{V^2}\Delta V\right)^2} = 0,00007 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (\hat{=} 1,8\%) \end{aligned}$$

3. Beantwortung der Fragen

3.1 Definition der Größe „Stoffmenge“

Die „Stoffmenge“ einer Substanz beschreibt die Anzahl an Teilchen dieses Stoffes im betrachteten System. Die dazu verwendete Einheit ist das Mol, welches wie folgt definiert ist: ein Mol einer Substanz enthält gerade so viele Teilchen, wie Atome in 12g des häufigsten Kohlenstoffisotops ^{12}C enthalten sind. Dies bedeutet, dass die Teilchenzahl in einem Mol unabhängig vom betrachteten Stoff eine Konstante ist, die sog. Avogadro-Konstante N_A . Ihr Wert ist

$$N_A \approx 6,0221367 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

3.2 Bestimmung der molaren Masse aus dem Avogadro-Gesetz

Das Avogadro-Gesetz besagt, dass ideale Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur in gleichen Volumina gleich viele Moleküle enthalten.

Diese Tatsache kann man zur Bestimmung der molaren Masse eines (näherungsweise ideal gasförmigen) Stoffes² wie folgt ausnutzen: Man benötigt ein weiteres (ebenfalls hinreichend ideales) Gas mit bekannter molarer Masse. Bei gleichem Druck und gleicher Temperatur wird nun das gleiche Volumen des bekannten ($\rightarrow m_{\text{bekannt}}$) und des zu untersuchenden Gases ($\rightarrow m_{\text{unbekannt}}$) gewogen. Dann gilt nach dem Avogadro-Gesetz

$$\frac{m_{\text{bekannt}}}{M_{\text{bekannt}}} = n_{\text{bekannt}} = n_{\text{unbekannt}} = \frac{m_{\text{unbekannt}}}{M_{\text{unbekannt}}}$$

Aus dieser Beziehung lässt sich sofort $M_{\text{unbekannt}}$ (also die zu bestimmende molare Masse) errechnen.

3.3 Eignung der Methode von Dumas für verschiedene Stoffe

Die im Versuch vorgestellte Vorgehensweise ist dann zur Bestimmung der molaren Masse eines Stoffes geeignet, wenn ...

- ...der Siedepunkt des Stoffes unterhalb dem von Wasser liegt, der Stoff aber bei Raumtemperatur flüssig ist ...
- ...sowie die molare Masse des Stoffes höher ist als diejenige von Luft (d.h. höher ist als der gewichtete Mittelwert der molaren Massen der Luftbestandteile).

² Feste oder flüssige Stoffe müssen wie auch in unserem Versuch zunächst verdampft werden, wenn diese Methode angewandt werden soll.

Diese beiden Voraussetzungen garantieren, dass die Verdrängung der Luft durch die verdampfende Substanz bei Erwärmung im Wasserbad funktioniert (das bedeutet natürlich vor allem auch, dass sich der Stoff überhaupt in den gasförmigen Zustand überführen lässt).

- ...der Stoff sich zudem am Siedepunkt von Wasser in guter Näherung wie ein ideales Gas verhält und nicht (etwa mit der Umgebungsluft) chemisch reagiert, denn (1.1) und (1.2) müssen freilich beim Abschmelzen der Kapillare gelten.

Ersetzen des Wassers durch eine Flüssigkeit mit anderem Siedepunkt oder generell eine andere Heizmethode für den Kolben würde das Einsatzgebiet auf einige der Stoffe erweitern, deren Siedepunkte zu hoch liegen. Für Substanzen die bei Raumtemperatur gasförmig sind, könnte man die Heizung weglassen und stattdessen die Umgebungstemperatur bis zum Siedepunkt herunterkühlen („Kühlschrank“); bei Stoffen, welche bei Raumtemperatur fest sind, würde entsprechend eine Durchführung im Ofen helfen. Entsprechende Anpassungen kann man auch treffen, wenn die Stoffe zwar die oberen beiden Voraussetzungen erfüllen, sich aber am Siedepunkt von Wasser nur in schlechter Näherung wie ein ideales Gas verhalten.

Die zweite Voraussetzung kann weggelassen werden, wenn der Kolben in der Heizvorrichtung so positioniert werden kann, dass eine Verdrängung der Luft durch die Kapillare nach unten möglich ist, wobei gleichzeitig die flüssige Substanz im Kolben jedoch nicht auslaufen darf (diese wird jedoch mit der Zeit immer weniger, damit ist das zumindest theoretisch realisierbar).

Da auch die Gasumgebung freilich im Prinzip austauschbar ist (insofern die letzte Forderung erfüllt ist), merkt man, dass die Anwendbarkeit des Messprinzips im Kern primär von den technischen Möglichkeiten abhängt; wenn der Aufwand zu groß ist empfehlen sich völlig andere Methoden.

3.4 Bestimmung der molaren Masse bei festen und flüssigen Stoffen ohne Überführung in den Gaszustand:

Wir haben im Folgenden noch einige Methoden zusammengetragen, die es erlauben, die molare Masse bei Festkörpern oder Flüssigkeiten zu bestimmen. Sie alle zielen darauf ab, entweder die Teilchendichte und die Massendichte oder aber die Teilchenanzahl und die Masse zu bestimmen, um daraus direkt die molare Masse zu errechnen.

Methode	Stoffart	Funktionsprinzip
Braggreflexion	fest	Die Bragg'sche Drehkristallmethode liefert die Gitterkonstanten für einen Festkörper und damit bei Kenntnis der Elementarzellen-Bauart die Teilchendichte. Bestimmung der Massendichte durch wiegen/vermessen.
Radioaktivität	beliebig, radioaktiv	Die Messung der Aktivität erlaubt bei bekannter Halbwertszeit einen Rückschluss auf die enthaltene Teilchenanzahl. Wiegen liefert die Masse, die molare Masse ist dann berechenbar.
Elektrolyse	Salze	Die Elektrolyse einer Salzlösung führt bei geeigneter Elektrodenwahl zur Festsetzung des Metalls an der Kathode und zur Abscheidung von (meist) Gas an der Anode (Entladung der Ionen). Die jeweilige Teilchenanzahl kann – wenn der Ladungszustand der Ionen bekannt ist – über die eingeflossene Ladungsmenge bestimmt werden; die Massen der abgeschiedenen Stoffe bekommt man für das Metall durch Messung der Zu-

		nahme des Elektrodengewichts bzw. für das Gas durch Auffangen in einem Glaskolben o.ä. und wiegen.
Messung des spez. Widerstands, der Temperatur sowie der Hallspannung	fest (elektronenleitende Metalle)	Über die Hallspannung erhalten wir die Elektronendichte im Metall. Mithilfe des spezifischen Widerstands und der mittleren (thermisch bedingten) Elektronengeschwindigkeit erhalten wir (siehe z.B. Tipler Kap. 22.5) die mittlere freie Weglänge und damit bei Kenntnis des Ionenradius im Metall die Ionendichte desselben. Bestimmung der Masse des Metallstücks mittels wiegen.
Gefrierpunktserniedrigung	Salze	Die nach Lösung einer abgewogenen Salzmenge eintretende Gefrierpunktserniedrigung erlaubt (siehe Versuch DIS) eine Bestimmung der gelösten Stoffmenge, wenn die kryoskopische Konstante sowie die molare Masse des Lösungsmittels bekannt sind.