

### 3.6 Spektralapparate

Im Prinzip kann die Bestimmung von Wellenlängen durch Beugung am Spalt erfolgen. Eine wesentlich bessere Auflösung wird aber mit dem Gitterspektralapparat erzielt. Bei einer senkrecht auffallenden ebenen Welle ist die Lage der Maxima der Ordnung  $|m|$  hinter dem Gitter durch

$$\sin \Theta_{\max} = \frac{m\lambda}{g} \quad (129)$$

gegeben, mit  $m = \pm 1, \pm 2, \dots$ . Die Gitterkonstante  $g$  bezeichnet den Abstand zwischen zwei Gitterspalten.

Ein Beugungsgitter mit  $N$  beleuchteten dünnen Spalten kann als Reihe von Oszillatoren angesehen werden (Abb. 11 und Abb 12). Zwei Wellenlängen erzeugen also noch getrennte Bilder, wenn das  $m$ te Maximum der Welle mit  $\lambda_2 = \lambda + \Delta\lambda$  in das  $(m+1)$ te Nebenminimum der Welle mit  $\lambda_1 = \lambda$  fällt. Daraus ergibt sich die Auflösung ( $m = 1, 2, \dots$ )

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN \quad (130)$$

Früher wurde der Prismenspektralapparat häufig benutzt. Für seine Auflösung gilt

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = S \frac{dn}{d\lambda} \quad (131)$$

wobei  $S$  die ausgeleuchtete Basisbreite und  $n$  der Brechungsindex des Prismas ist.

### 3.7 Polarisiertes Licht

Licht von normalen Leuchtquellen ist unpolarisiert, d.h. es gibt Wellenzüge mit beliebiger Polarisationsrichtung. Bestimmte Materialien, wählen Polarisationsrichtung aus.

#### 3.7.1 Polarisationsfolien

Polarisationsfolien haben hohe Elektronenbeweglichkeit entlang einer Richtung  $y$  in der Ebene der Folie. Analog zum Durchgang durch ein Metallgitter aus dünnen Stäben, wird die Feldkomponente  $E_y$  abgeschwächt. (Die Welle breitet sich in  $z$ -Richtung aus, die Folie steht senkrecht auf der  $z$ -Achse.)

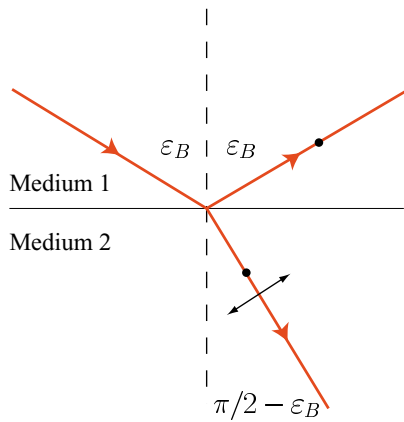


Abbildung 26: Polarisation bei Reflexion und Brechung.  $\varepsilon_B$  ist der Brewster-Winkel. Ein dicker Punkt bedeutet Feldvektor senkrecht auf der Einfallsebene, der dünne Pfeil zeigt den Feldvektor in der Einfallsebene.

### 3.7.2 Doppelbrechung

Der Brechungsindex eines Materials hängt vom atomaren (elektronischen) Aufbau ab. Es gibt Stoffe, die das Snellius'sche Brechungsgesetz nicht erfüllen, also einen senkrecht auftreffenden Strahl brechen. Die Polarisationsvektoren dieses außerordentlichen Strahls und des ordentlichen Strahls stehen senkrecht aufeinander.

### 3.7.3 Polarisation bei Reflexion und Brechung

Wenn der reflektierte Strahl senkrecht auf dem gebrochenen Strahl steht, ist er senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Damit gilt für diesen „Brewster“-Winkel

$$n_1 \sin \varepsilon_B = n_2 \cos \varepsilon_B \quad (132)$$

oder

$$\tan \varepsilon_B = \frac{n_2}{n_1} . \quad (133)$$

Hierin sind  $n_{1,2}$  die Brechungsindizes der beiden Medien (Abb. 26). Vom Standpunkt der erzwungenen Schwingungen aus kann dieser Effekt einfach erklärt werden, da schwingende Elektronen nicht in der Schwingungsrichtung abstrahlen.

## 4 Struktur der Materie

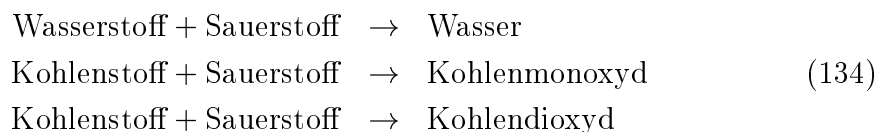
### 4.1 Atomismus

Die Idee, daß alle Materie aus elementaren Bausteinen zusammengesetzt ist, gilt als die wichtigste wissenschaftliche Idee überhaupt. Historisch stand an ihrer

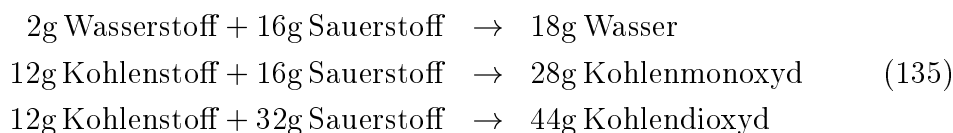
Schwelle die Erklärung zweier völlig unterschiedlicher Phänomene, die Massenverhältnisse bei chemischen Bindungen und die allgemeinen Gasgesetze.

#### 4.1.1 Daltons Gesetze

Chemische Reaktionen verlaufen in festen Massenverhältnissen ab. Beispiele:



Links stehen Elemente, d.h. Stoffe, die sich chemisch nicht weiter zerlegen lassen, rechts Verbindungen, hier Oxyde. Für die Massenumsätze gilt mit einer Genauigkeit von einigen Promille:



Einfache Erklärung dieser Tatsachen durch Zusammensetzung harter „Bälle“, der Atome.



Da Wasserstoff- und Sauerstoffatome Moleküle bilden ( $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), schreiben die Chemiker diese Gleichungen ein wenig anders, z.B.



Durch die chemischen Massenverhältnisse wird die relative Atommasse (Molekülmasse) definiert,

$$M_r = \frac{M_{\text{Atom}}}{M_{\text{H}}} . \quad (138)$$

Damit wird  $M_r(\text{H}) = 1$ , es gibt kein leichteres Element. Moderne Bestimmungen von  $M_r$  nehmen als Bezug 1/12 der Masse des  $^{12}\text{C}$  Isotops (s.u.). Damit wird  $M_r(\text{H}) \neq 1$ .

Im Periodensystem der Elemente wächst  $M_r$  kontinuierlich an. Schon sehr früh ist  $M_r$  nicht mehr durch ganze Zahlen gegeben. Die Atomtheorie besagt, daß in  $M_r$  kg eines Elementes oder einer Verbindung die gleiche Anzahl Atome oder Moleküle enthalten ist. Daher Definition der Stoffmenge  $\nu$  (Einheit kmol)

$$\nu = \frac{m}{M_r} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} . \quad (139)$$

### 4.1.2 Gasgesetze

Der Zusammenhang zwischen Druck  $p$  und Volumen  $V$  ist bei sog. idealen Gasen (Edelgase) durch

$$pV = \nu RT \quad (140)$$

gegeben. Hierin ist  $T$  die absolute Temperatur (Einheit Kelvin, K). Diese ist durch

$$T = T_n + \vartheta \frac{\text{K}}{^\circ\text{C}} \quad (141)$$

an die Celsius-Temperatur  $\vartheta$  angebunden. Die Normtemperatur  $T_n$  beträgt 273.15 K. Die allgemeine Gaskonstante wurde zu  $R = 8314.5 \text{ JK}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$  gemessen. Normaldruck (Normdruck)  $p_n = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Das Gasgesetz besagt, daß das molare Volumen  $V_m$  eines Gases und daher die Anzahl der Atome in einem Gasvolumen bei konstantem  $p$  und  $T$  nicht von der Atomsorte abhängt. Das Normvolumen  $V_n$  ist gleich dem Molvolumen  $V_m$  bei Normalbedingungen,  $V_n = 22,414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$ . In einem bestimmten Volumen  $V$  befinden sich  $N$  Atome, dann gilt für die Anzahldichte  $n$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A}{V_m} \quad (142)$$

Die Avogadro-Konstante  $N_A = 6.022 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$  ist das geeignete Maß für die Anzahl der Atome. Der Zahlenwert wird im nächsten Abschnitt begründet.

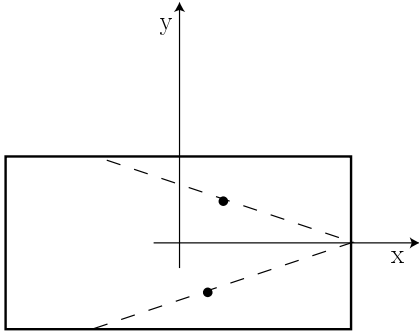


Abbildung 27: Zur Ableitung des Gasgesetzes.

Die kinetische Gastheorie erklärt (140). In einem Volumen  $V$  haben die Atome der Masse  $m$  die Geschwindigkeitskomponente  $v_x$  auf die rechte Wand der Abb. 27. Für den einzelnen Kraftstoß  $\int F dt$  gilt angenähert

$$F_x \Delta t = m \Delta v_x \quad (143)$$

Bei der Reflexion an der Wand gilt  $\Delta v_x = 2v_x$  und mit  $\Delta t = 2l/v_x$  folgt

$$F_x = \frac{2mv_x}{\Delta t} \quad (144)$$

also

$$p = p_x = N \frac{m}{V} \overline{v_x^2} . \quad (145)$$

Im statistischen Mittel gilt  $\overline{v_x^2} = \overline{v^2}/3$ , also

$$pV = \frac{2}{3} N \overline{W}_{\text{kin}} . \quad (146)$$

Hiermit wird klar, daß die Wärmeenergie  $Q$  durch die kinetische Energie der Atome festgelegt wird (in einem Gas aus harten Kugeln). Für jede Änderung der Wärmeenergie folgt

$$\Delta Q = N \Delta \overline{W}_{\text{kin}} . \quad (147)$$

Mit  $N = N_A \nu$  folgt schließlich

$$pV = NkT \quad (148)$$

und

$$\overline{W}_{\text{kin}} = \frac{3}{2} kT , \quad (149)$$

worin  $k = R/N_A$  die Boltzmannkonstante ist. Die Gleichung (149) enthält die allgemeinste Definition der Temperatur unabhängig vom Aggregatzustand des Stoffes.