

Das sogenannte Massenwirkungsgesetz

Wirkende Massen? Eine Umschreibung für Konzentrationen aus einer längst vergangenen Zeit



LNCU.de
ID 34109
CC-BY-SA 4.0
Online abrufen

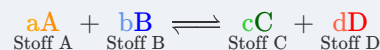
Aufgaben

- 1 Machen Sie sich mit Hilfe von **M1** vertraut, wie man aus einer Reaktionsgleichung das sogenannte Massenwirkungsgesetz ableitet.
- 2 Beim **Estergleichgewicht** ist **K** ca. **4**. Es gibt aber auch Reaktionen, für die **K** den Wert von **1000** oder auch **0,000000001** hat. Erklären Sie die Bedeutung des Werts der Gleichgewichtskonstanten für das Verhältnis von Produkten und Edukten im Gleichgewicht.
- 3 **Ein Blick nach vorne:** In Systemen stellt sich irgendwann das chemische Gleichgewicht ein und der Massenwirkungsquotient **Q** entspricht der Gleichgewichtskonstante **K**. Stellen Sie eine Hypothese auf, was passiert, wenn dann weitere Edukte (Ausgangsstoffe) oder Produkte (Endstoffe) von außen hinzugeben werden.

M1 Was beschreibt das Massenwirkungsgesetz?

Wie **du weißt** erkannten die Norweger **Cato Guldberg** und **Peter Waage** bereits **1864**, dass die Reaktionsraten für eine Hin- und eine Rückreaktion in geschlossenen Gefäßen irgendwann immer gleich groß werden und damit die Konzentrationen aller Stoff irgendwann konstant bleiben. ¹ In dieser Zeit sprach man noch nicht von **Konzentrationen**, sondern man von **wirkenden Massen**. Seitdem wird die erkannte Gesetzmäßigkeit **Massenwirkungsgesetz** genannt. Ein Massenwirkungsgesetz kann man für jede beliebige Reaktion aus der Reaktionsgleichung ableiten:

1 Für eine beliebige Gleichgewichtsreaktion ...



2 ... gilt im Gleichgewicht

$$\underset{\text{Gleichgewichtskonstante}}{K} = \frac{\underset{\text{Massenwirkungsquotient } Q}{[C]^c \cdot [D]^d}}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

So ein **Massenwirkungsgesetz** kennen wir eigentlich bereits in einer sehr einfachen Form aus unserer Analogie mit der Bälleschlacht:

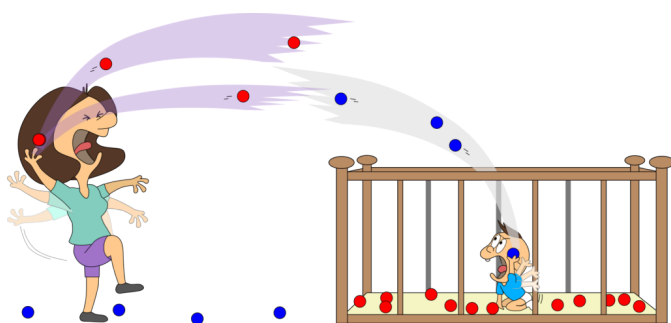


Abb. 1: Im Gleichgewicht sind die Reaktionsraten gleich groß. ²

3 Angewandt auf unsere Bälleschlacht

Im Gleichgewicht gilt $v(M) = v(B)$

$$\underset{K}{\frac{k_M}{k_B}} = \underset{Q}{\frac{c(B)}{c(M)}}$$

$$\frac{2 \text{ s}^{-1}}{1 \text{ s}^{-1}} = \frac{16 \frac{\text{Bälle}}{\text{m}^3}}{8 \frac{\text{Bälle}}{\text{m}^3}} \iff K = Q$$

Warum gilt das Massenwirkungsgesetz immer so?

Bei **Reaktionsgeschwindigkeiten** konnten wir die Exponenten **nicht einfach aus der Reaktionsgleichung** ablesen. Warum funktioniert das beim **Massenwirkungsgesetz** dann doch?

Der entscheidende Unterschied:

- **Geschwindigkeit** beschreibt, wie *schnell* eine Reaktion abläuft → hängt vom Mechanismus ab
- **Gleichgewicht** beschreibt, wie *weit* eine Reaktion abläuft → hängt nur von den beteiligten Stoffen ab

Eine Reaktion kann über viele Zwischenschritte verlaufen. Diese bestimmen, wie schnell das Gleichgewicht erreicht wird – aber nicht, wo es liegt.

Der Grund liegt in der Energie:

Im Gleichgewicht ist die sogenannte **freie Enthalpie** minimal. Dieser Zustand hängt nur davon ab, welche Stoffe vorliegen – nicht davon, wie sie entstanden sind. Mathematisch ergibt sich daraus ein Ausdruck, in dem die Konzentrationen der Stoffe miteinander verknüpft sind. Dabei treten die Stoffe genau mit den stöchiometrischen Koeffizienten als Exponenten auf. Diese spiegeln wider, wie viele Teilchen jeweils umgesetzt werden.

Kurz gesagt:

- Das Geschwindigkeitsgesetz braucht den Reaktionsweg.
- Das Massenwirkungsgesetz beschreibt den Gleichgewichtszustand – und der ist unabhängig vom Weg.

M2 Was bringt uns das Massenwirkungsgesetz?

Für eine einfache chemische Reaktion analog zur Bälleschlacht, kann man es so formulieren:

4 Für eine chemische Reaktion gilt für die Reaktionsraten

$$v_{hin} = k_{hin} \cdot c(Edukte) \text{ und } v_{rück} = k_{rück} \cdot c(Produkte)$$

5 Im Gleichgewicht gilt

$$v_{hin} = v_{rück} \iff k_{hin} \cdot c(Edukte) = k_{rück} \cdot c(Produkte)$$

6 Umgeformt ergibt sich

$$\underbrace{\frac{k_{hin}}{k_{rück}}}_{\textcolor{red}{K}} = \underbrace{\frac{c(Produkte)}{c(Edukte)}}_{\textcolor{violet}{Q}}$$
$$\textcolor{red}{K} = \textcolor{violet}{Q}$$



Die **Gleichgewichtskonstante K** kann als das Verhältnis aus den Geschwindigkeitskonstanten der Hin- und Rückreaktion ausgedrückt werden. Im chemischen Gleichgewicht sind die Reaktionsraten der Hin- und Rückreaktion gleich groß, sodass keine Nettoänderung der Konzentrationen stattfindet.



Kennt man also **K**, sagt der **Massenwirkungsquotient Q** etwas zur Verteilung von Produkten und Edukten im Gleichgewicht.



Die Gleichgewichtskonstante sagt jedoch **nichts** darüber aus, wie lange es dauert, bis das Gleichgewicht erreicht wird – dies wird von der **Reaktionskinetik** bestimmt.

Einzelnachweise

- 1 Fun fact: Guldberg und Waage publizierten in Norwegisch und ihre Erkenntnisse blieben damit 15 Jahre lang nahezu unbeachtet.
- 2 Gregor von Borstel, 2025