

Vom Modell zur Wirklichkeit?

Vorsicht beim Umgang mit Modellen

LNCU.de
ID 32471
CC-BY-SA 4.0
Online abrufen

M1 Ausgangsgedanken



Basierend auf dem Modell der Stoßtheorie müssten doch logischerweise alle Reaktionsgeschwindigkeiten direkt proportional zu den Konzentrationen aller beteiligten Stoffe sein.

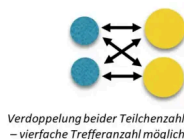


Abb. 1: Die Verdoppelung einer Teilchenzahl führt zur Verdopplung der Treffermöglichkeiten. ¹

Das stimmt eigentlich! Für die Reaktion $A + B \rightarrow \text{Produkt(en)}$ mit A und B als Stoffe in einer Lösung sollte laut Modell für die **Reaktionsgeschwindigkeit** v stets gelten:

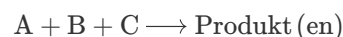
$$v = k \cdot [A] \cdot [B]$$

Solche Formeln nennt man ein **Geschwindigkeitsgesetz**.

Und für andere Reaktionen könnten ein „Geschwindigkeitsgesetz“ dann so aussehen:



$$v = k \cdot [A] \cdot [A] \text{ bzw. } v = k \cdot [A]^2$$



$$v = k \cdot [A] \cdot [B] \cdot [C]$$



Aufgaben

- 1 Vollziehen Sie die Gedanken in **M1** nach und erklären Sie die mathematische Darstellungen.
- 2 Klären Sie in **M2** alle Fachbegriffe und ergänzen Sie die noch fehlenden Reaktionsordnungen.
- 3 Benennen Sie eine Reaktion, in welcher die Erwartung aus dem Modell **M1** von den Messungen in der Wirklichkeit **M2** unterschiedlich sind.
- 4 Erklären Sie basierend auf **M3** die dort gezeigte Abweichungen von Erwartung laut Modell zu gemessener Realität.
- 5 Modelle helfen beim Verständnis der Wirklichkeit. Beschreiben Sie eine falsche Nutzung von Modellen und einen korrekten Umgang mit Modellen, der sich aus der heutigen Betrachtung ergibt.

M2 Messungen ergeben mitunter andere Geschwindigkeitsgesetze

Reaktionsgleichung (ausnahmsweise wird die Ziffer 1 hier notiert)	Experimentell beobachtetes Geschwindigkeitsgesetz	Reaktionsordnung
$1C_2H_4 + 1H_2 \rightarrow 1C_2H_6$	$v = k [C_2H_4]^1 \cdot [H_2]^1$	2
$1N_2O_5 + 1N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2$	$v = k [N_2O_5]^1$	1
$1CHCl_3 + 1Cl_2 \rightarrow 1CCl_4 + HCl$	$v = k [CHCl_3]^1 \cdot [Cl_2]^{\frac{1}{2}}$	
$2NO + 2H_2 \rightarrow 1N_2 + 2H_2O$	$v = k [NO]^2 [H_2]^1$	
$1N_2O_4 \rightarrow 2NO_2$	$v = k [N_2O_4]^1$	1
$2NH_3 \xrightarrow{\text{Katalysator}} 1N_2 + 3H_2$	$v = k$	0

Abb. 2: Reaktionsgleichungen, tatsächliches Geschwindigkeitsgesetz und Reaktionsordnung. ²

Als **Reaktionsordnung** bezeichnet man die Summe aller **Exponenten** der Konzentrationen im **Geschwindigkeitsgesetz**.

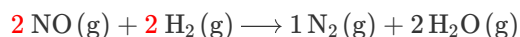
Nicht alle Reaktionen haben eine Reaktionsordnung, die der Summe der **stöchiometrischen Faktoren der Edukte** in der Reaktionsgleichung entspricht, obwohl man dies nach dem einfachen **Modell der Stoßtheorie** erwarten würde.

Dies bedeutet, dass die Konzentrationen einiger Edukte mitunter weniger Einfluss auf die Geschwindigkeit der Reaktion haben als die Konzentrationen anderer Edukte.

Chemische Reaktionen laufen nämlich selten in einem einzigen Schritt ab. Eine **Gesamtreaktionsgleichung** zeigt uns nur den Anfangs- und Endzustand einer chemischen Reaktion – also was wir hineingeben und was am Ende herauskommt. Die **Elementarreaktionen** dagegen beschreiben, was tatsächlich auf molekularer Ebene Schritt für Schritt passiert.

In der Regel weichen die Geschwindigkeitsgesetze von der Erwartung ab, wenn die Reaktionen nicht in einem Schritt ablaufen. Das bedeutet, dass es nicht immer so ist, dass zwei Eduktteilchen einfach aufeinanderprallen und daraus die Produkte entstehen. Besteht eine Gesamtreaktion aus mehreren Reaktionsschritten, so bestimmt der langsamste Schritt – also die langsamste Elementarreaktion – die Geschwindigkeit der Gesamtreaktion. Damit sind nur die Konzentrationen der Stoffe relevant, die an den Reaktionen bis zum langsamsten Schritt beteiligt sind.

Beispiel:

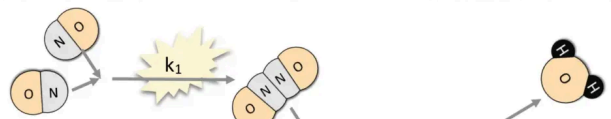


Experimentell ermitteltes **Geschwindigkeitsgesetz**:

$$v = k \cdot [\text{NO}]^2 \cdot [\text{H}_2]^1$$

Die Reaktion ist **nicht** insgesamt **4. Ordnung** bzw. **2. Ordnung** bezüglich der Konzentration von H_2 . Sie verläuft daher sicherlich über einen mehrschrittigen Mechanismus. Die drei Elementarreaktionen könnten wie folgt aussehen:

Schritt 1: $2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O}_2$ $v_1 = k_1 \cdot [\text{NO}]^2$ Die Bildung von N_2O_2 erfolgt sehr schnell



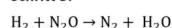
Schritt 2: $\text{H}_2 + \text{N}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

$$v_2 = k_2 \cdot [\text{N}_2\text{O}_2] \cdot [\text{H}_2]$$

Der zweite Schritt verläuft langsam.

Die Konzentrationen der hier beteiligten Stoffe sind für die Gesamtgeschwindigkeit relevant!

Schritt 3:



$$v_3 = k_3 \cdot [\text{N}_2\text{O}] \cdot [\text{H}_2]$$

Der dritte Schritt verläuft sehr schnell. Letztlich wird N_2 so schnell gebildet, wie N_2O auftritt!



Abb. 3: Modellhafte Darstellung der Reaktion ³

Aus einer **Gesamtreaktionsgleichung** kann man niemals das **Geschwindigkeitsgesetz** ableiten, da man nicht sicher weiß, ob es sich um eine **Elementarreaktion** handelt!

Ausblick auf den späteren Chemieunterricht: Mitunter hat die Konzentration der einen Edukte weniger Einfluss auf die Geschwindigkeit der Reaktion als die Konzentrationen anderer Edukte. Die experimentell bestimmte Reaktionsordnung kann dann Hinweise über den tatsächlichen **Reaktionsmechanismus** geben.



Weitergedacht

- 6 Beschreiben Sie eine Vorgehensweise, mit der man in der Realität ein Geschwindigkeitsgesetz für eine beliebige Reaktion prinzipiell bestimmen könnte.

Einzelnachweise

- ¹ Team LNCU, 2025
- ² Gregor von Borstel und Andreas Böhm, 2020
- ³ Gregor von Borstel 2021 in Anlehnung an eine Darstellung in Dickerson, R. E.; Geis, I. (1981): Chemie – eine lebendige und anschauliche Einführung. Berichtigter Nachdruck. Weinheim: VCH