Die Idee dahinter: Wettstreit im Kinderzimmer

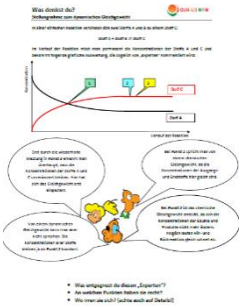
Einführung einer mathematischen Betrachtung des Gleichgewichts

Didaktisch-methodische Hinweise

Erfahrungsgemäß haben Schüler*innen oft Probleme mit der mathematischen Erfassung des Massenwirkungsgesetzes. Die Betrachtung von K als Gleichgewichtskonstante sowie von Q als Massenwirkungsquotient stellt einen Abstraktionsschritt dar, der einige überfordert. Das Massenwirkungsgesetz findet aber nachfolgend in zahlreichen Zusammenhängen eine Anwendung, so dass es in seiner Aussage erfasst sein soll!

Die Visualisierung des Chemischen Gleichgewichts durch eine Bälleschlacht[1] geht zurück auf den legendären Holzapfelkrieg[2]. Die Bälleschlacht bietet die Gelegenheit, die Mathematisierung auf ein anschauliches Niveau zu bringen, mit welchem man die Bedeutung der Geschwindigkeitskonstanten k und der Konzentrationen gut erfassen kann.

Es knüpft an bereits Bekanntes an (Konzentrationen der Edukte und Produkte im Ester-Gleichgewicht, Reaktionsgeschwindigkeit, Stechheber-Versuch), das ggf. noch einmal kurz vorab wiederholt wird.



Die Analogie kann - einmal eingeführt - nachfolgend in mehreren Zusammenhängen als Visualisierungshilfe genutzt werden (Verschiebung oder Störung von Gleichgewichten, Prinzip Le Chatelier, Einfluss von Konzentration, Temperatur, Druck und Katalysatoren auf die Lage bzw. Einstellung von Gleichgewichten).

Bei der nachfolgenden Betrachtung von Active O_2 ist es besonders passend, dass hier analog zur Darstellung mit den Bällen, nur eine Sorte Teilchen über die Phasengrenzen hin und her wandert.

Obgleich es in seiner Einfachheit besticht, muss es dennoch einer Modellkritik unterzogen werden:

1) So werden weder Baby noch Mutter unermüdlich sein.

2) Hin- und Rückreaktion werden räumlich getrennt dargestellt und es werden für die Konzentrationsberechnungen verschiedene Räume angenommen. In der Regel wird die Reaktion aber in einem Raum stattfinden.

Möglicher Ablauf

1. Problemstellung entdecken und Vorstellungen entwickeln

Die Ausgangssituation im Kinderzimmer wird mit Hilfe einer Bilderserie (Powerpoint s. Arbeitsmaterial) vorgestellt. Dadurch wird Raum für die Erwartungshaltung der Schüler*innen hinsichtlich der Entwicklung des Konfliktes gegeben.



[1] Alle Abb. von D. Weninger, A. Böhm und G. von Borstel, 2018 unter CC BY-SA. Die Idee basiert auf einer Vorlage von Martin Düker.

[2] Dickerson R., Geis I., Chemie eine lebendige und anschauliche Einführung, 1. Nachdruck der 1. Auflage, Weinheim 1983, S.321ff.

Gregor von Borstel im Team LNCU für Sinus/QUA-LiS NRW, 2019. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.

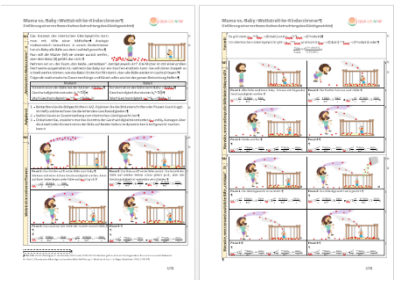
Möglicherweise wird es verschiedene Vorstellungen geben - sicherlich wird aber aufgrund des Vorwissens schon eine Einstellung eines Gleichgewichtes prognostiziert und zumindest die Analogie zu bereits Behandeltem erkannt.

Unter Verweis auf die „Rahmenbedingungen“ (4m³ Raum, k_{Mutter}:k_{Baby} = 2:1) sollte herausgestellt werden, dass heute die mathematische Erfassung des Gleichgewichtes im Vordergrund steht.

Bereits hier kann man auf die Größen noch etwas näher eingehen: Die Konzentration **c** beschreibt die jeweilige Anzahl an Bällen pro Kubikmeter, die Geschwindigkeitskonstante **k** steht für die Kubikmeter/pro Sekunde, die Baby oder Mutter erreichen und die Wurfgeschwindigkeit v beschreibt damit für die Anzahl der Bälle pro Sekunde, die hinübergeworfen werden können.

2. Lernmaterial bearbeiten / Lernprodukt erstellen

Zentraler Arbeitsauftrag: Stelle einen Zusammenhang zwischen der Bildergeschichte und dem chemischen Gleichgewicht her.



Mit Hilfe der Bildergeschichte (→ Anzahl Bälle/4m³ entspricht der jeweiligen Konzentration der Stoffe im Verlauf der fiktiven Reaktion) und der Informationen soll im Rahmen der Erarbeitung der Zusammenhang zum bereits erarbeiteten chemischen Gleichgewicht nach und nach erfasst werden. In der nachfolgenden Diskussion wird ein Schwerpunkt auf die Erfassung der mathematischen Aspekte des chemischen Gleichgewichts gelegt. Zusätzlich dienen die formulierten Texte zu den Abbildungen als Diskussionsgrundlage.

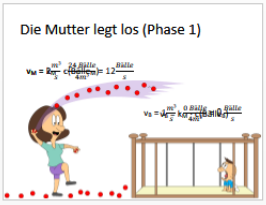
1. *Betrachten Sie die Bildgeschichte in M2. Ergänzen Sie die Bildunterschriften der Phasen 3 und 4 (ggf. im Heft) und berechnen Sie die fehlenden Geschwindigkeiten.*
2. *Stellen Sie einen Zusammenhang zum chemischen Gleichgewicht her.*

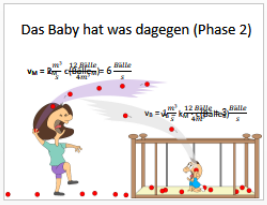
Die Gleichungen sind dabei bereits teilweise vorgefasst, können aber je nach Vorwissen auch schwieriger oder einfacher gestaltet werden. Vorbereitend auf das Massenwirkungsgesetz ist:

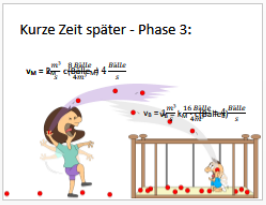
3. *Diskutieren Sie, inwiefern man bei Kenntnis der Geschwindigkeitskonstanten k_{Mutter} und k_{Baby} Aussagen über die Anzahl oder Konzentration der Bälle auf beiden Seiten im dynamischen Gleichgewicht machen kann.*

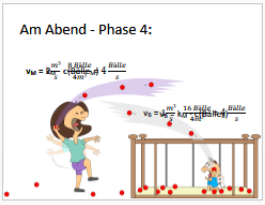
3. Lernprodukt präsentieren, diskutieren/verhandeln

Die Ergebnisse werden Bild für Bild mit Hilfe der Folienserie präsentiert und den Bildern sowohl Text als auch Zahlenwerte zugeordnet. Hierbei lohnt es sich, explizit auf die jeweiligen Größen und deren Einheiten einzugehen! Diese werden zum Ende jeder Folie eingeblendet oder notiert.









Gregor von Borstel im Team LNCU für Sinus/QUA-LiS NRW, 2019. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.

Phase 1: Mutter wirft Bälle über das Gitter in den Laufstall. Dies entspricht der Hinreaktion. Die Bälleverteilung ist 24:0 (Ein Ball ist in der linken Hand der Mutter): $v_M = 2\frac{m^3}{s} \cdot \frac{24\ Bälle}{4m^3} = 12\frac{Bälle}{s}$.

Phase 2: Mutter hat nun weniger Bälle und das Baby beginnt damit, zurückzuwerfen. Letzteres entspricht der Rückreaktion. Die Bälleverteilung ist 12:12. Aber es ist noch kein Gleichgewicht erreicht, denn beide werfen aufgrund der verschiedenen großen Geschwindigkeitskonstanten noch verschieden schnell die Bälle herüber: $v_M = \mathbf{2}\frac{m^3}{s} \cdot \frac{12\ Bälle}{4m^3} = 6\ \frac{Bälle}{s}$ $v_B = \mathbf{1}\frac{m^3}{s} \cdot \frac{12\ Bälle}{4m^3} = 3\ \frac{Bälle}{s}$

Phase 3: Das Baby hat immer mehr Bälle. Die Mutter kann nicht mehr so schnell wie am Anfang werfen, da die Bälle auf ihrer Seite immer schwerer zu erreichen sind. Die Bälle Verteilung ist 8:16 und nun werfen beide gleich schnell: $v_M = \mathbf{2}\frac{m^3}{s} \cdot \frac{8Bälle}{4m^3} = 4\frac{Bälle}{s}$ $v_B = \mathbf{1}\frac{m^3}{s} \cdot \frac{16Bälle}{4m^3} = 4\frac{Bälle}{s}$

Phase 4: Obwohl bei weiterhin werfen, ändert sich an der Anzahl der Bälle auf beiden Seiten nichts mehr. Beide werfen (fiktiv in alle Ewigkeit) gleich schnell und ein dynamisches (chemisches) Gleichgewicht ist erreicht $v_M = \mathbf{2}\frac{m^3}{s} \cdot \frac{8Bälle}{4m^3} = 4\frac{Bälle}{s}$ $v_B = \mathbf{1}\frac{m^3}{s} \cdot \frac{16Bälle}{4m^3} = 4\frac{Bälle}{s}$

All dies entspricht den bisher am Estergleichgewicht aufgezeigten Sachverhalten.

Fokus auf die Zahlenwerte (Aufgabe 3): Grundsätzlich sind beim Baby mehr Bälle als bei der Mutter. Der Grund ist, dass die Mutter doppelt so schnell und wendig ist. Das Baby ist zwar langsamer und nicht so gelenkig (kleine Geschwindigkeitskonstante), muss sich aber auch nicht so schnell bewegen, da es wegen der höheren Bällekonzentration mit viel weniger Bewegung die gleiche Anzahl an Bällen herüberwerfen kann wie die Mutter.

Wichtig: Die Lehrperson sollte hier bewusst den Unterschied zwischen der Wendigkeit/Geschwindigkeit (k) und der Wurfgeschwindigkeit (v) herausstellen.

Kurze Modellkritik - Wo hinkt die Analogie?

- Hier wird mitunter ein Nacheinander gezeigt und es sind nur Momentaufnahmen, in Wahrheit finden die Hin- und Rückreaktionen kontinuierlich und gleichzeitig statt.
- Die Geschwindigkeiten der „Kontrahenten“ werden nicht konstant sein.
- Reaktionen finden in getrennten Räumen statt und Konzentrationen beziehen sich damit nur auf den jeweiligen Raum und nicht auf das gesamte „Kinderzimmer“.

4. Sichern und vernetzen

Die Lage des Gleichgewichtes hängt vom Verhältnis der Wendigkeiten ab.
Es gilt stets $v_{hin} = k_{hin} \cdot c(\text{Edukt})$ und $v_{rück} = k_{rück} \cdot c(\text{Produkt})$
Im chemischen Gleichgewicht gilt: $v_{hin} = v_{rück}$ und somit $k_{hin} \cdot c(\text{Edukt}) = k_{rück} \cdot c(\text{Produkt})$ oder

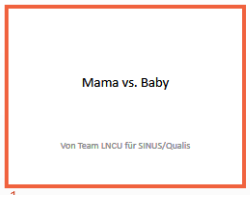
$$\frac{k_{hin}}{k_{rück}} = \frac{c(Produkt)}{c(Edukt)}$$

D.h. ist die Mutter doppelt so schnell wie das Baby, so liegen bei ihr auch nur halb so viele Bälle.

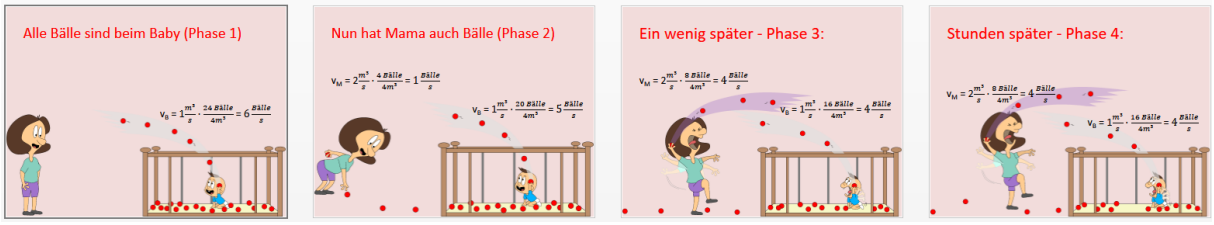
Wie wäre es eigentlich, wenn alle Bälle auf der Seite des Babys gelegen hätten? Mit Hilfe der nächsten Folienserie (Powerpoint s. Material) kann man dies überdenken, dann auf der Rückseite des Arbeitsblattes berechnen und schließlich zusammen mit den Folien noch einmal besprechen.

Gregor von Borstel im Team LNCU für Sinus/QUA-LiS NRW, 2019. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.

Am Ende entsteht wieder dasselbe Gleichgewicht. Hier lässt sich alles bisher Genannte vertiefend noch mal anwenden und festigen.







Die Konstante K kann als Massenwirkungskonstante und Term Q als Massenwirkungsquotient benannt werden.

5. Transferieren und festigen

K kann nun noch allgemeiner für eine Reaktion A + B ⇄ C + D oder auch für komplexere Reaktionen wie 2A + B ⇄ 2C + D beschrieben werden. Die Veränderungen und Anpassung von K bzw. Q infolge von Änderungen von Temperatur, Druck oder Konzentrationen und daraus resultierende Störungen bestehender Gleichgewichte werden im weiteren Verlauf des Unterrichtes sowohl experimentell als auch mit Hilfe der Analogie vertiefend betrachtet. Beim Einfluss des Drucks am Beispiel Active O_2 und Mineralwasser wird interessanterweise der Raum in der Gasphase verändert. Das passt zur Analogie, wo der „feste Raum des Laufstalles“ unverändert bleibt, aber der Raum der Mutter größer wird.



Der Einfluss des Katalysators als Beschleuniger, der die Aktivierungsenergie für Hin- und Rückreaktion gleichermaßen herabsetzt, kann übrigens auch verdeutlich werden:



Literatur zum Weiterlesen

- Dickerson R., Geis I., Chemie eine lebendige und anschauliche Einführung, 1. Nachdruck der 1. Auflage, Weinheim 1983, S.321ff.

Gregor von Borstel im Team LNCU für Sinus/QUA-LiS NRW, 2019. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.