Die Idee dahinter: Wettstreit im Kinderzimmer

Einführung einer mathematischen Betrachtung des Gleichgewichts

Grundlegendes

Erfahrungsgemäß haben Lernende mitunter Probleme mit der Erläuterung eines Gleichgewichtszustands, beschrieben durch das Massenwirkungsgesetz mit K als Gleichgewichtskonstante und Q als Massenwirkungsquotient oder den Prozessen seiner Einstellung bzw. Neu- oder Wiedereinstellung (Dynamik, Le Chatelier) nach Störungen. Ein nicht vernetzter Wechsel von der makroskopischen auf die symbolische Betrachtungsebene stellt einen Abstraktionsschritt dar, der dabei einige überfordert.

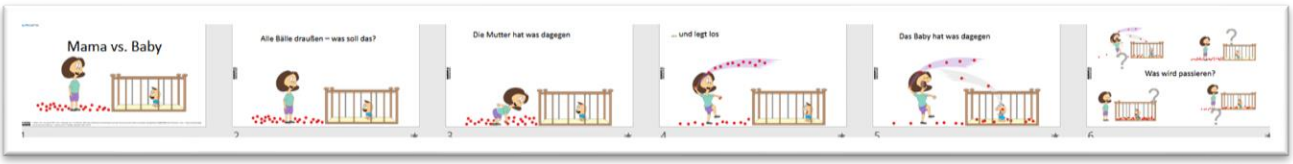
Die Bälleschlacht [1] bietet die Gelegenheit, die Mathematisierung mit Hilfe einer Analogie auf ein anschauliches Niveau zu bringen, mit welchem man u. a. die Bedeutung der Geschwindigkeitskonstanten k und der Konzentrationen gut erfassen kann. Die von uns ersonnene Visualisierung des chemischen Gleichgewichts geht zurück auf den legendären Holzapfelkrieg [2].

Die Analogie, die wir grundlegend schon bei der Reaktionsgeschwindigkeit eingeführt haben, vernetzt auf dem Weg zum Massenwirkungsgesetz die Erkenntnisse aus den Versuchen zur Veresterung/Esterhydrolyse und dem Stechheber-Modellversuch zur Einführung eines dynamischen Gleichgewichts. Nachfolgend kann ihre jeweilige Erweiterung bei der Betrachtung der Störung von Gleichgewichten durch Konzentrations-, Druck- oder Temperaturveränderungen auf dem Weg zum Prinzip von Le Chatelier und dem Einfluss von Katalysatoren bei der Einstellung von Gleichgewichten genutzt werden.

Möglicher Ablauf

1. Problemstellung entdecken und Vorstellungen entwickeln

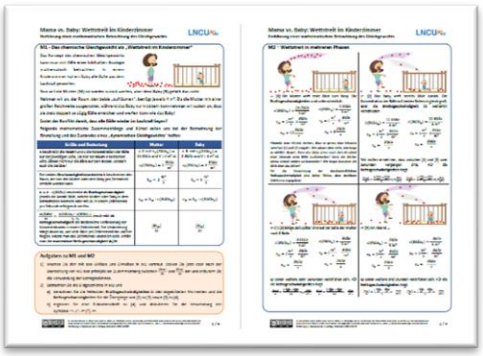
Die Ausgangssituation im Kinderzimmer wird mit Hilfe einer Folienserie vorgestellt. Dadurch und ggf. mit Folie 6 wird Raum für die Erwartungshaltung der Lernenden hinsichtlich der Entwicklung des Konfliktes gegeben.



Unter Verweis auf die „Rahmenbedingungen“ (u. a. Mama und Baby sind nun beide im Zimmer, räumen je 4 m³ auf, k_M:k_B= 2:1) sollte herausgestellt werden, dass die mathematische Erfassung eines Gleichgewichts im Vordergrund steht.

2. Lernmaterial bearbeiten / Lernprodukt erstellen

Zentraler Arbeitsauftrag: Stelle einen Zusammenhang zwischen der Bildergeschichte, dem Prozess der Einstellung und dem Zustand eines chemischen Gleichgewichts her.



Das Material **M1** liefert den Schülerinnen und Schülern neben einem Überblick der Analogie auch eine Übersicht über die verwendeten Größen sowie deren Bedeutung. Mit Hilfe der Bildergeschichte in **M2** sollen die Lernenden im Rahmen der eigenständigen Erarbeitung den Zusammenhang zum bereits erarbeiteten chemischen Gleichgewicht tiefergehend erfassen und vernetzen.

Mit Hilfe der Aufgaben **A1 und A2** wird ein Schwerpunkt auf die Erfassung der mathematischen Aspekte rund um das chemische Gleichgewicht gelegt. Die zusätzlichen Infotexte und die Symbolik

G. von Borstel und A. Böhm 2021 nach G. von Borstel, für SINUS NRW 2020 unter CC-BY-SA 4.0. Die Idee für die Abbildungen basiert auf einer Skizze von Martin Düker und erweitert die legendäre HOLZAPFELKRIEG nach Dickerson R., Geis I., Chemie eine lebendige und anschauliche Einführung, 1. Nachdruck der 1. Auflage, Weinheim 1983, S.321ff.

der Pfeile, die im Wesentlichen den Vorschlägen der AG Terminologie und Symbolik der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh [3] folgt, bilden eine weitere Diskussionsgrundlage zur Vernetzung.

3. Lernprodukt präsentieren, diskutieren/verhandeln

Hintergrundinformationen zu A1 *machen Sie sich mit den Größen und Einheiten in M1 vertraut. Stellen Sie jetzt oder nach der Bearbeitung von M2 den prinzipiellen Zusammenhang zwischen* $\frac{|\Delta c_M|}{\Delta t}$ *und* $\frac{|\Delta c_B|}{\Delta t}$ *dar und erläutern Sie die Verwendung der Betragszeichnen.*

Die Gleichungen in M2 sind bereits teilweise vorgefasst, können aber je nach Vorwissen auch schwieriger oder einfacher gestaltet werden. Wir unterscheiden zwischen der Reaktionsrate (s. [3]) und den Reaktionsgeschwindigkeiten. Sie sind nicht zu verwechseln mit einer Momentan- und einer Durchschnittsgeschwindigkeit, denn auch für erstere könnte man Δc/Δt oder dc/dt betrachten!

Die **Reaktionsraten** (Anzahl erfolgreicher Würfe) v_M und v_B

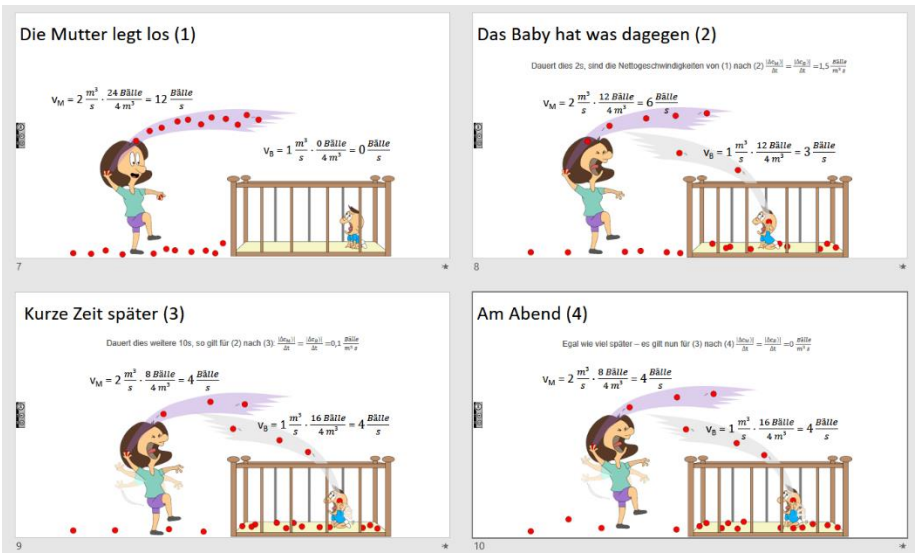
- hängen auf beiden Seiten jeweils von k und c ab, wobei hier zunächst $v_M > v_B$
- nähern sich im Prozess der Einstellung des Gleichgewichtes solange weiter an, später symbolsiert durch → bzw. ⇄, …
- … bis sie gleich sind und der Zustand des Gleichgewichts erreicht ist, symbolisiert durch ⇌
- und sind eine Analogie für bereits bekannte Sachverhalte bzgl. chemischer Reaktionen (Anzahl erfolgreicher Stöße) auf Teilchenebene und erklären den Begriff „dynamisches Gleichgewicht“.

Die **Reaktionsgeschwindigkeiten** (Abnahme der Konzentration der Bälle auf Seiten der Mutter, Zunahme der Konzentration der Bälle auf Seiten des Babys pro Zeit)

- sind den Schülerinnen und Schülern als solche bereits von der Betrachtung der Reaktionsgeschwindigkeiten auch mit Hilfe der Analogie bekannt, wobei dort die Mutter bzw. das Baby noch ohne Gegenwehr (Rückreaktion) warfen
- sind nur zu berechnen, wenn man fiktive Zeiträume zwischen den Bildern angibt. Diese lassen sich wie im realen Experiment nicht vorhersagen, u. a. weil man nicht weiß, wie oft in einer Sekunde ein Austausch stattfindet, wie lange die Bälle hinüber brauchen etc.
- entsprechen sich aufgrund der stöchimetrischen Zusammenhänge (ein Ball auf Seiten der Mutter wird zu einem Ball auf Seiten des Babys) im Betrag
- fallen im Laufe des Prozesses gegen Null (wie bereits bei der Betrachtung im Rahmen der Kinetik), obwohl die Konzentration auf beiden Seiten immer ungleich Null ist (anders als bei der Betrachtung der Kinetik)
- sind nach Erreichen des Gleichgewichtzustandes stets gleich null.

Hintergrundinformationen zu A2 *berechnen Sie die fehlenden* ***Reaktionsraten*** *und die* ***Reaktions-geschwindigkeiten*** *für die Übergänge von (2) zu (3) sowie (3) zu (4).*

Grundlage kann die schrittweise Vorstellung der weiteren Folien sein, anhand derer Lernende ihre eigenen Berechnungen vorstellen, vergleichen und

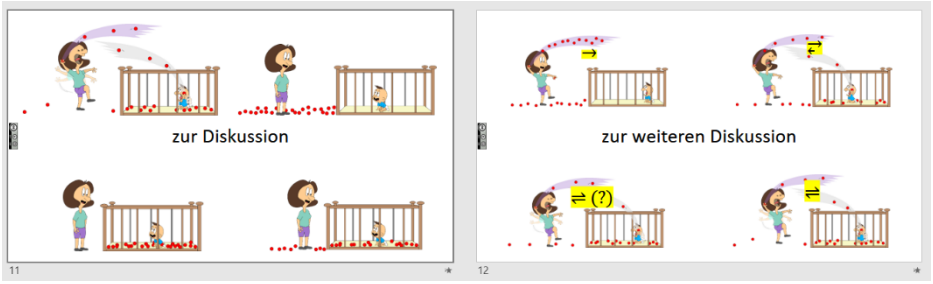


G. von Borstel und A. Böhm 2021 nach G. von Borstel, für SINUS NRW 2020 unter CC-BY-SA 4.0. Die Idee für die Abbildungen basiert auf einer Skizze von Martin Düker und erweitert die legendäre HOLZAPFELKRIEG nach Dickerson R., Geis I., Chemie eine lebendige und anschauliche Einführung, 1. Nachdruck der 1. Auflage, Weinheim 1983, S.321ff.

Einführung einer mathematischen Betrachtung des Gleichgewichts

mit denen ggf. die Ergebnisse für alle sichtbar gesichert werden.

Hintergrundinformationen zu A2 *ergänzen Sie eine Bildunterschrift zu (4) und diskutieren Sie die Verwendung der Symbole →, ⇄, ⇌(?), ⇌.*



Mit dem letzten Teil der Aufgabe werden noch einmal mögliche Erwartungen geprüft und geklärt, warum es zu einem dynamischen Gleichgewicht kommt. Wichtig: natürlich wären in der Geschichte der Analogie auch alle anderen Optionen denkbar – sie würden dann aber keine chemischen Reaktion, die zu einem Gleichgewichtszustand führen, darstellen!

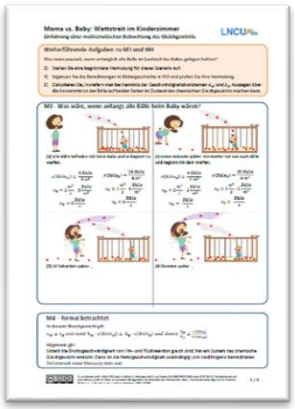
Die Symbolik der Pfeile wird „übersetzt". Sie ist mit Blick auf die Störung von Gleichgewichten später noch von Relevanz. So unterscheidet sich die Darstellung der Einstellung eines Gleichgewichts als **Prozess**, vom Gleichgewicht als **Zustand** u. a. in den Pfeillängen und Spitzen.

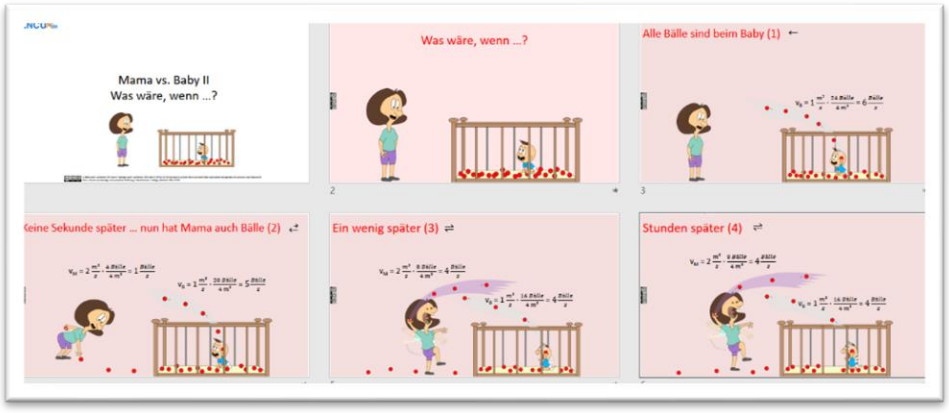
Die Abbildung *⇌(?)* ist von großer Relevanz und war ansatzweise schon vorher bei anderen Redeanlässen bzgl. „Wann ist das Gleichgewicht erreicht?" im Fokus. Es lässt sich klären, dass die Reaktionsgeschwindigkeiten auf null fallen, sobald die Reaktionsraten gleich sind und man statt Δc/Δt dann dc/dt betrachtet.

Obgleich es in seiner Einfachheit besticht, sollte das Modell einer Modellkritik unterzogen werden. So werden weder Baby noch Mutter unermüdlich sein (s. o.) und die Geschwindigkeitskonstanten der „Kontrahenten" werden gar nicht konstant sein. Hin- und Rückreaktion werden räumlich getrennt dargestellt, ohne eine Veränderung der Teilchen und auch nur für eine Teilchensorte. Dabei wird mitunter ein Nacheinander gezeigt und Konzentrationen beziehen sich damit nur auf den jeweiligen Raum und nicht auf das gesamte „Kinderzimmer".

4. Sichern und vernetzen

Dass es zu einer Einstellung eines Gleichgewichtszustandes kommen muss, zeigt überdeutlich M3 bzw. der dazugehörige Foliensatz.





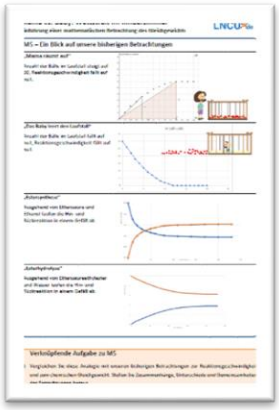
Hier lässt sich alles bisher Genannte inkl. der Symbolik vertiefend noch mal anwenden und festigen.

G. von Borstel und A. Böhm 2021 nach G. von Borstel, für SINUS NRW 2020 unter CC-BY-SA 4.0. Die Idee für die Abbildungen basiert auf einer Skizze von Martin Düker und erweitert die legendäre HOLZAPFELKRIEG nach Dickerson R., Geis I., Chemie eine lebendige und anschauliche Einführung, 1. Nachdruck der 1. Auflage, Weinheim 1983, S.321ff.

Die Idee dahinter: Wettstreit im Kinderzimmer

Einführung einer mathematischen Betrachtung des Gleichgewichts

M5 liefert fakultativ viele Redeanlässe unter den Aspekten: *Was kannten wir bereits? Was zeigt die Analogie noch deutlicher? Was zeigt sie ggf. auch nicht?*



5. Transferieren und festigen

Ist die Geschwindigkeitskonstante der Mutter doppelt so groß, wie die des Babys, so liegen bei ihr im Gleichgewichtszustand auch nur halb so viele Bälle (**A5** und **M4**).

Die Konstante K als Massenwirkungskonstante und Term Q als Massenwirkungsquotient können benannt werden. K kann auch allgemeiner für eine Reaktion A + B ⇌ C + D oder auch für komplexere Reaktionen wie 2A + B ⇌ 2C + D beschrieben werden, ohne dabei korrekt hergeleitet werden zu müssen.

Die Veränderungen und Anpassung von K bzw. Q infolge von Änderungen von Temperatur, Druck oder Konzentrationen und daraus resultierende Störungen bestehender Gleichgewichtszustände samt der nachfolgenden Prozesse der Neu- oder Wiedereinstellung werden im weiteren Verlauf des Unterrichtes nachfolgend sowohl experimentell als auch mit Hilfe der Analogie vertiefend betrachtet. Beim Einfluss des Drucks am Beispiel Mineralwasser wird interessanterweise der Raum in einem Mehrphasensystem in der Gasphase verändert. Das passt zur Analogie, wo der „feste Raum des Laufstalles“ unverändert bleibt, aber der Raum der Mutter größer wird.

Literatur – auch zum Weiterlesen

[1] Bindl, A., Böhm, A., von Borstel, G., Eusterholz, M., Weninger, D. (2020). Lernaufgaben für einen kompetenzorientierten Chemieunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In: SINUS.NRW: Motivation durch kognitive Aktivierung QUA-LiS NRW (Hg.); Roß, Joachim (Hg.) 2020, S. 135 - 152. Online verfügbar unter CC-SA-BY 4.0 https://www.wbv.de/artikel/6004814w (letzter Zugriff 31.12.2020)

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

[3] AG Terminologie und Symbolik der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh (2020). Das chemische Gleichgewicht –Empfehlungen für eine konsistente Begriffsentwicklung und Symbolik. CHEMKON 27, 96–98.

G. von Borstel und A. Böhm 2021 nach G. von Borstel, für SINUS NRW 2020 unter CC-BY-SA 4.0. Die Idee für die Abbildungen basiert auf einer Skizze von Martin Düker und erweitert die legendäre HOLZAPFELKRIEG nach Dickerson R., Geis I., Chemie eine lebendige und anschauliche Einführung, 1. Nachdruck der 1. Auflage, Weinheim 1983, S.321ff.