

# Das Wechselspiel von Ozeanen und Atmosphäre

Kohlenstoffdioxidspeicher oder -senke? Genauer hingeschaut.



LNCU.de  
ID 34459  
CC-BY-SA 4.0  
Online abrufen

## Aufgaben

- 1 Erklären Sie mit Hilfe von **M1** die konkret beobachteten Auswirkung Erhöhung des Kohlenstoffdioxidgehaltes der Luft auf die Versauerung der Meere unter Verwendung der Begriffe „**Massenwirkungsquotient Q**“ und „**Gleichgewichtskonstante K**“.

## M1 Modellhafte genauere Betrachtung

### Erhöhung der Konzentration an Kohlenstoffdioxid

Erhöht man die Konzentration an Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre, so erhöht sich nachfolgend auch die Konzentration des gelösten Kohlenstoffdioxids in den Meeren und darauf folgend die Konzentration der Oxonium-Ionen. Die Meere werden saurer.

Wir haben zwar keine exakten Messungen, aber wir konnten indirekt sehen: es stellt sich immer eine neues Gleichgewicht mit mehr Edukten und vor allem aber mehr Produkten ein.



Auch wenn es sich bei unserem Beispiel um gekoppelte Gleichgewichte handelt, können wir uns den Zusammenhang sehr leicht mit unserer Analogie und den Modellrechnungen erklären.

### Bälle werden bei Mama hinzugefügt

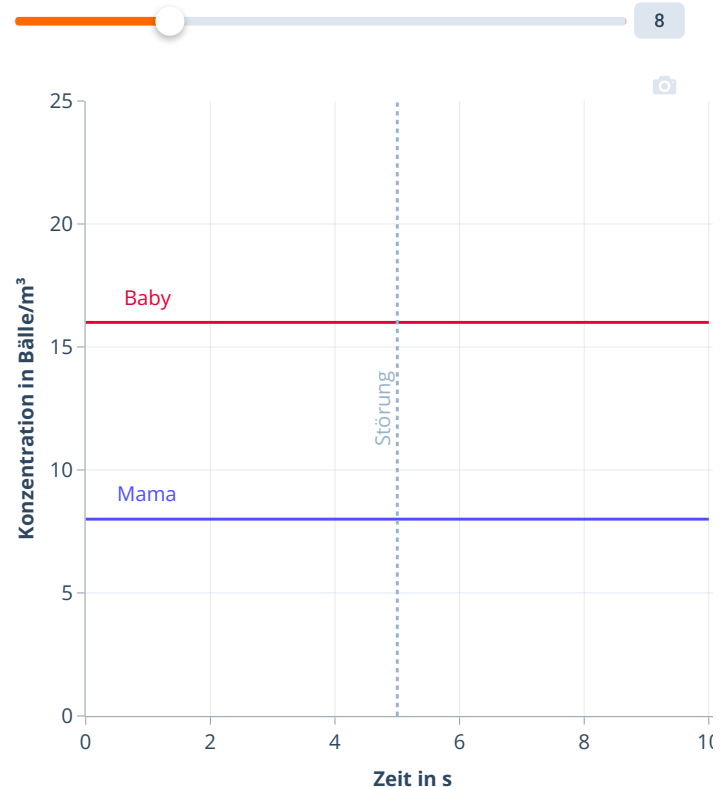


Galerie 1: Analogie zur Erhöhung einer Konzentration auf Seiten von Mama **1**

### Berechnungen dazu

Das System befindet sich im Gleichgewicht und wird nach 5s gestört, indem Bälle auf der Seite der Mutter hinzugefügt (oder auch entfernt) werden. Mit Hilfe des Reglers kann die neue Bälleanzahl direkt nach der Störung eingestellt werden. Der Modellierung der Kurven liegen die uns **bekanntem Formeln** zugrunde und die betrachteten Zeitintervalle sind auf 1 ms eingestellt.

neue Ballzahl der Mutter direkt nach der Störung



## M2 Allgemein: Veränderungen der Konzentrationen führen zu neuen Gleichgewichten

### Verallgemeinerung

Ganz allgemein kann man Folgendes feststellen. Befindet sich ein System im Gleichgewicht und stört man dieses Gleichgewicht, in dem man

- die **Konzentration der Edukte von außen erhöht**, so wird ein Teil der hinzugefügten Edukte zu Produkten. Es stellt sich ein **neues Gleichgewicht** ein, in dem die Konzentration des hinzugefügten

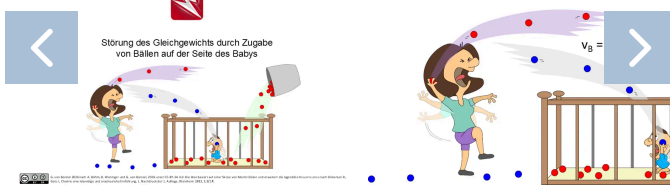
## Was bei der Mama geht, geht auch beim Baby



Mama vs. Baby

(1) Ein Gleichgewicht herrscht

$$v_M = 2 \frac{m^3}{s} \cdot \frac{8 \text{ Bälle}}{4 m^3} = 4 \frac{\text{Bälle}}{s}$$



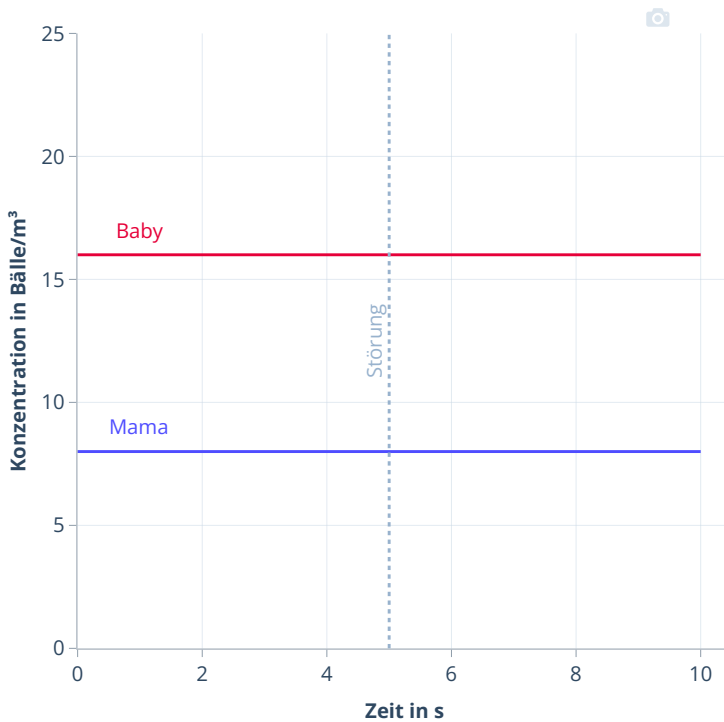
Galerie 2: Analogie zur Erhöhung einer Konzentration auf Seiten von Baby 1

Eduktes und vor allem aber **die Konzentration der Produkte größer geworden ist.**

- die **Konzentration der Produkte von außen erhöht**, so wird ein Teil der hinzugefügten Produkte wieder zu Edukten. Es stellt sich ein **neues Gleichgewicht** ein, in dem die Konzentration des hinzugefügten Produkts und vor allem aber **die Konzentration der Edukte größer geworden ist!**

## Berechnungen hierzu

neue Zahl Bälle auf Seiten des Babys direkt nach der Störung



## Weitergedacht

- 2 Erklären sie den Unterschied zwischen den Verfahren CCS und CDR.
- 3 Beurteilen Sie, inwiefern die beiden **Versuche V1 und V2** als Modellexperimente für die Erklärung vergangener und gegenwärtiger oder zur Vorhersage zukünftiger Lösevorgänge von Kohlenstoffdioxid in den Weltmeeren dienen können.
- 4 „Eigentlich ist egal, ...“. Nehmen Sie Stellung zu den Aussagen in den Sprechblasen in **M3**.

M3

## Was geplant ist, um das 1,5° C Ziel zu erreichen

### CCS & CDR - angedacht aber noch nicht groß umgesetzt

Es ist allen Akteuren eigentlich klar, dass nicht nur weniger Kohlenstoffdioxid frei gesetzt, sondern auch aktiv solches aus der Atmosphäre herausgeholt werden muss.

Für beides gibt es schon einen Namen:

- **CCS (Carbon Capture and Storage)** bedeutet, dass Kohlenstoffdioxid direkt an der Entstehungsquelle z. B. in Kraftwerken oder Industrieanlagen abgeschieden, verflüssigt und

dauerhaft unter der Erde gespeichert wird. So gelangt weniger CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre.

- CDR (**Carbon Dioxide Removal**) geht einen Schritt weiter: Hier soll CO<sub>2</sub> **direkt aus der Atmosphäre entfernt**, z. B. durch Aufforstung oder technische Anlagen (Direct Air Capture).

In vielen Klimaschutzstrategien zur Einhaltung des 1,5 °C-Ziels werden beide Ansätze als wichtige ergänzende Maßnahmen eingeplant. Leider steckt die Umsetzung noch in den Ansätzen.

### Was passiert, wenn wir Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre holen?

Die Meere haben seit Beginn der Industrialisierung große Mengen Kohlenstoffdioxid aufgenommen und dadurch den Anstieg in der Atmosphäre gebremst. Genau deshalb reagieren sie auch auf eine spätere Absenkung: Sinkt durch CDR der Kohlenstoffdioxid-Partialdruck der Atmosphäre, wird der Antrieb für die weitere Aufnahme durch den Ozean kleiner. Modellrechnungen zeigen daher, dass ein Teil des gewünschten Effekts von CDR durch Rückkopplungen im Kohlenstoffkreislauf abgeschwächt wird. <sup>2</sup>

Für idealisierte Modellfälle beschreibt der IPCC einen deutlichen Rückpralleffekt: Wird schlagartig eine große Menge CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernt, bleibt nach 80 bis 100 Jahren nur ein Teil dieser Entnahme langfristig wirksam. Ein erheblicher Anteil wird durch CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Land- und Ozeanspeichern teilweise kompensiert. Der IPCC betont dabei, dass die Richtung dieses Effekts sicher ist, seine genaue Stärke jedoch zwischen Modellen variiert. <sup>3</sup>

Für realistischere Szenarien ist die Einordnung günstiger: Bei allmählich sinkenden Emissionen bleibt der Ozean zunächst eine CO<sub>2</sub>-Senke, nimmt aber langsamer CO<sub>2</sub> auf als zuvor. Das bedeutet: CDR wirkt grundsätzlich, aber nicht 1:1 – ein Teil der entfernten Menge wird zeitverzögert durch das System Erde abgeschwächt. <sup>4</sup>

### Das Volumen bei Mama vergrößern

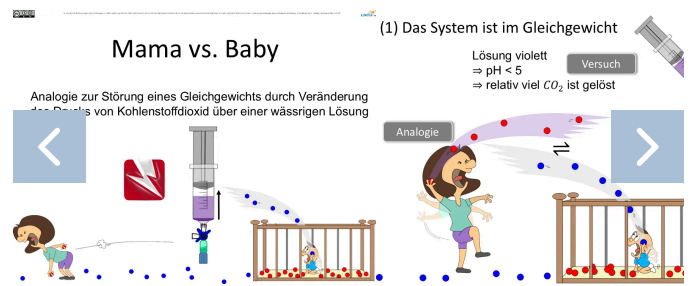
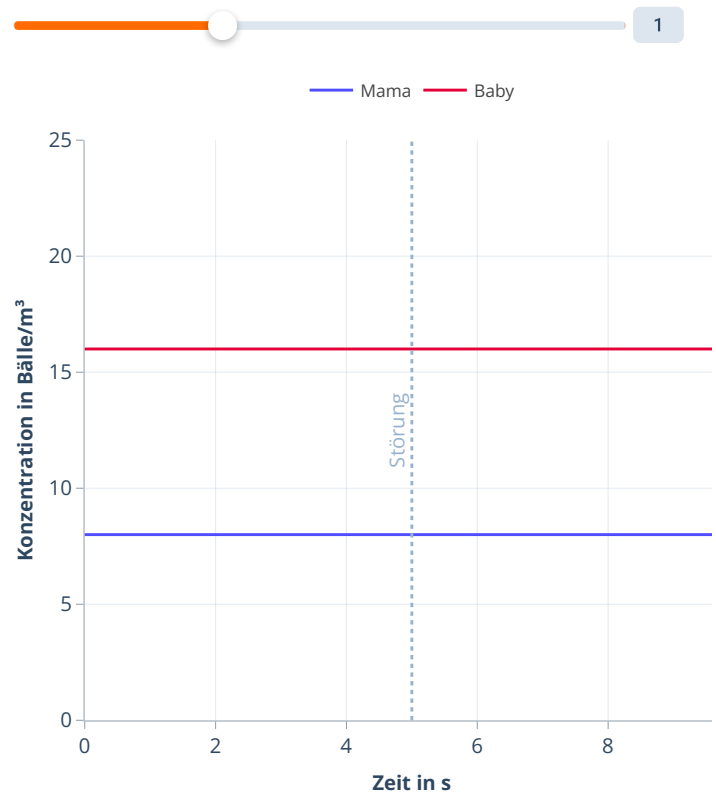


Abb. 1: Analogie zur Erniedrigung des Drucks auf Seiten von Mama <sup>1</sup>

Wir können auch das Volumen des Raumes bei Mama vergrößern (oder verkleinern). Das simuliert eine Druckänderung und damit eine Konzentrationsänderung in einer Gasphase (Mama) über eine wässrige Phase (Baby).

### Volumenänderung Mutter (Gasphase über Flüssigkeit) um den Faktor



Eigentlich ist es egal, wann wir aufhören, mehr Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre zu entlassen oder welches via CDR herauszuholen. Die Meere gleichen diese Effekte so und so wieder aus.



Wenn du das denkst, hast du ein paar Wesentliche Dinge außer acht gelassen!

## Übung

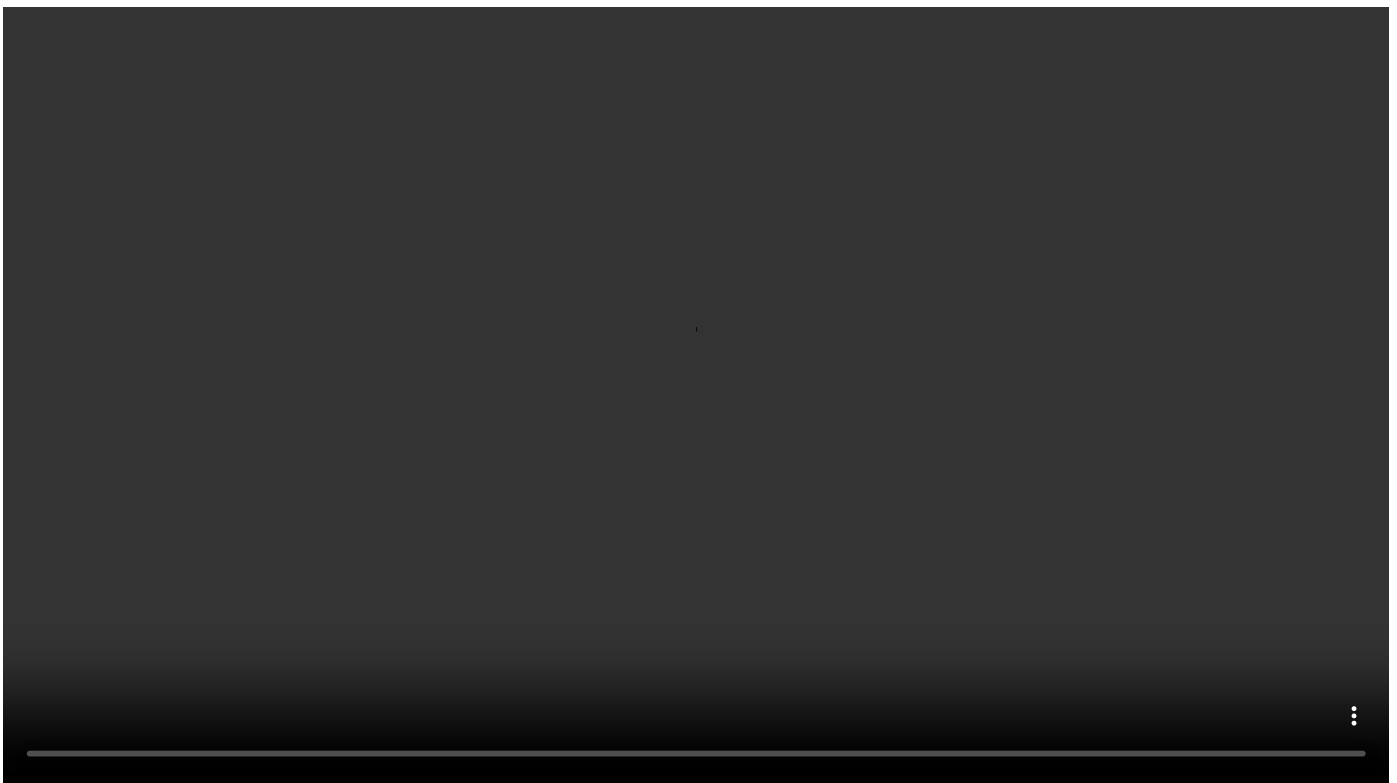
- 5 Erklären Sie, was beim Sprudelvorgang in einem „Sodastreamer“ passiert. Gehen Sie davon aus, dass die rechte Skizze die Flasche direkt nach der Störung eines Gleichgewichts durch Zugabe von Kohlenstoffdioxid zeigt. Vervollständigen Sie die Schemazeichnung mit geeigneten Pfeilen.
- 6 Erläutern Sie, was passieren wird, wenn wir den Deckel längere Zeit geöffnet lassen.

### M4 Eine anwendende Übung: Sprudelwasser

Wenn wir aus Wasser „Sprudelwasser“ machen, handelt es sich eigentlich ebenfalls um ein Experiment mit einem System aus zwei Phasen: unten eine Lösung aus Kohlenstoffdioxid und darüber eine Gasphase mit gasförmigem Kohlenstoffdioxid.

Ein Gleichgewicht wird gestört

Direkt nach der Störung



Video 1: Leitungswasser mit Kohlensäure versetzen <sup>5</sup>

## Einzelnachweise

- 1 Gregor von Borstel, 2026, nach Gregor von Borstel und Andreas Böhm, Bälleschlacht 2021
- 2 IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Chapter 5: Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks*, Abschnitt 5.6.2.1. Cambridge University Press. Online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-5/>
- 3 IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Chapter 5, Abschnitt 5.6.2.1.1 (inkl. Beschreibung zu Abb. 5.32). Cambridge University Press. Online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-5/>
- 4 IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Chapter 5, Abschnitt 5.6.2.1.2. Cambridge University Press. Online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-5/>
- 5 Gregor von Borstel, 2021
- 6 Gregor von Borstel, 2025