
Lernaufgabe zum Thema

Herleitung des Massenwirkungsgesetzes für das chemische Gleichgewicht zwischen Iod, Wasserstoff und Iodwasserstoff

Unterrichtsfach	Chemie
Schultyp	Gymnasium, alle Typen
Zielgruppe	SchülerInnen im zweiten Jahr Chemieunterricht

Dauer der Lernaufgabe	1 Unterrichtslektion à 45 Minuten 15 Minuten Hinführung 20 Minuten Bearbeitung 10 Minuten Auswertung
-----------------------	---

Autoren	Felix Ziegler, Dr. Georg Graf
---------	-------------------------------

Fassung vom ohne Schulerprobung	April 1999
------------------------------------	------------

Bisherige Lerntätigkeiten und Leistungen der SchülerInnen

Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeiten (1 Lektion)

Die Schüler und Schülerinnen werden mit dem Konzept der Reaktionsgeschwindigkeit (RG) bekannt gemacht. Anschliessend wird die Synthese von Iodwasserstoff aus den Elementarstoffen besprochen. Die Schüler und Schülerinnen lernen, dass *im Falle dieser Reaktion* ein einfacher Zusammenhang besteht zwischen der RG und den Konzentrationen der beteiligten Stoffe:

$$RG_1 = k_1 \cdot [H_2] \cdot [I_2]$$

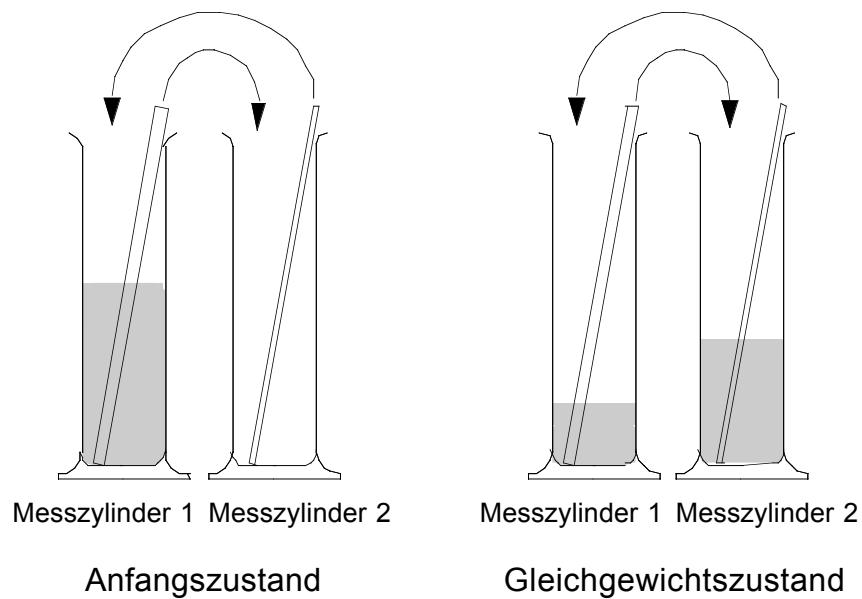
Nun wird die Zersetzung von Iodwasserstoff in die Elementarstoffe besprochen. Die Schüler und Schülerinnen lernen, dass die RG diesmal durch folgende Gleichung beschrieben werden kann:

$$RG_2 = k_2 \cdot [HI] \cdot [HI]$$

Chemische Gleichgewichte (2 Lektionen)

In einigen kurzen Experimenten wird den Schülerinnen der Unterschied zwischen irreversiblen und reversiblen Reaktionen vorgeführt. Im Gespräch werden die Unterschiede dieser beiden Reaktionstypen herausgearbeitet. Es wird klar, dass bei umkehrbaren Reaktionen die Hin- und die Rückreaktion gleichzeitig ablaufen. Bei irreversiblen Reaktion läuft dagegen nur die Hinreaktion ab.

Anhand eines Modellexperiments lernen die Schülerinnen die Prinzipien einer chemischen Gleichgewichtsreaktion kennen. Das Experiment besteht aus zwei Glaszylindern und zwei offenen Glasrohren mit verschiedenem Durchmesser (nach Höfling 1984, 227, siehe Abbildung).



Zu Beginn ist nur ein Zylinder mit einem bestimmten Wasservolumen gefüllt. Mit Hilfe der Glasrohre wird nun abwechselnd Wasser zwischen den Zylindern hin- und hergehoben. Mit der Zeit stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein: Die Füllhöhe der Flüssigkeit in den beiden Messzylindern verändert sich nicht mehr. Daran ändert auch das Fortsetzen des Wassertransports zwischen den Zylindern nichts mehr. Die Reaktion ist scheinbar zum Stillstand gekommen. Das Gleichgewicht ist aber kein statischer, sondern ein dynamischer Zustand. Im chemischen Gleichgewichtszustand entspricht dies der gleichen Geschwindigkeit von Hin- und Rückreaktion. Wenn genügend Zeit vorhanden ist, kann das Experiment mit einem anderen Anfangsvolumen nochmals durchgeführt werden. Es stellt sich wieder das gleiche Verhältnis der Wasservolumina in den beiden Zylindern ein. Dieses Experiment kann auch unter Einbezug der Studierenden durchgeführt werden. Anhand dieses Beispiels wird auch deutlich, dass im Gleichgewicht die Konzentrationen der beteiligten Stoffe nicht gleich sein müssen. Dabei entsprechen die Konzentrationen den Wasservolumina in den Zylinder. Die Konzentrationen respektive die Volumina verändern sich nur nicht mehr. Anschliessend wird den Studierenden klar gemacht, dass sich ein Gleichgewicht nur in einem abgeschlossenen System ausbilden kann. Zum Schluss wird darauf hingewiesen, dass sich in einem abgeschlossenen System zwischen vorgegebenen Mengen von Wasserstoff, Iod und Iodwasserstoff ein chemisches Gleichgewicht einstellt: $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$.

Hinführung zur Lernaufgabe

Informierender Unterrichtseinstieg

Gleichgewichte spielen in der Chemie, aber auch in der Natur eine wichtige Rolle. Deshalb ist es auch entscheidend, dass ein solches Gleichgewicht mathematisch beschrieben werden kann. In der heutigen Stunde wagen wir uns an diese mathematische Formulierung. Und ihr werdet sehen, dass dies mit einer einfachen Gleichung möglich ist. Auf der einen Seite dieser Gleichung steht die sogenannte Gleichgewichtskonstante. Das Ziel dieser Stunde ist es, dass ihr den Ausdruck für diese Gleichgewichtskonstante für eine *bestimmte* Gleichgewichtsreaktion selbständig aufstellen könnt. Damit ihr das schafft, gehen wir folgendermassen vor:

- Gleich anschliessend werden wir zusammen die Prinzipien eines chemischen Gleichgewichts nochmals zusammentragen.
- Dann werde ich euch eine Lernaufgabe verteilen. Mit eurem Wissen könnt ihr die Formel für die Gleichgewichtskonstante der Reaktion $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ selber herleiten. Bei dieser Lernaufgabe werdet ihr zu zweit arbeiten.
- Zum Schluss der Stunde werden wir gemeinsam eure Resultate anschauen. Ich werde euch noch auf einige wichtige Punkte zu diesem Gesetz hinweisen.

Ablauf der Unterrichtsstunde

- Gemeinsam mit den Studierenden werden nochmals die wichtigsten Eigenschaften eines chemischen Gleichgewichts zusammengetragen und an der Wandtafel notiert. Das Modellexperiment aus den vorangehenden Stunden dient dabei als Gedankenstütze.
- ⇒ Die Geschwindigkeit der Hinreaktion ist gleich der Geschwindigkeit der Rückreaktion. Die Konzentrationen der beteiligten Stoffe bleiben konstant.

⇒ Das Verhältnis der Konzentrationen ist für eine bestimmte Reaktion konstant. Es ist bei einer bestimmten Temperatur unabhängig von den Anfangsbedingungen.

⇒ Das Gleichgewicht kann sich nur in einem geschlossenen System ausbilden.

- Verteilen und selbständiges Lösen der Lernaufgabe
- Gemeinsames Auswerten der Lernaufgabe: An der Wandtafel wird die Lösung der Lernaufgabe mit den Schülerinnen Schritt für Schritt behandelt.
- Abschliessende Bemerkungen: Im Anschluss an die Besprechung werden noch einige wichtige Punkte zum gefundenen Ausdruck für die Gleichgewichtskonstante an die Wandtafel geschrieben:

⇒ Der gefundene Ausdruck für die Gleichgewichtskonstante wird Massenwirkungsgesetz (MWG) genannt.

⇒ Die Konzentrationen der Endprodukte der Reaktion kommen im MWG als Produkt in den Zähler, die Konzentrationen der Edukte als Produkt in den Nenner. Die stöchiometrischen Koeffizienten in der Reaktionsgleichung werden dabei zu Exponenten der entsprechenden Konzentrationen.

⇒ Die Gleichgewichtskonstante hängt vom Druck und von der Temperatur ab.

Lernaufgabe

In den letzten Lektionen habt ihr die umkehrbare Reaktion $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ kennengelernt. Bei dieser Reaktion laufen sowohl die Hin- als auch die Rückreaktion gleichzeitig ab. Nach einer bestimmten Zeit stellt sich ein Gleichgewicht ein: Dann ist die Geschwindigkeit der Hinreaktion gleich der Geschwindigkeit der Rückreaktion. Die Konzentrationen der beteiligten Stoffe verändern sich nicht mehr. Ein solches Gleichgewicht lässt sich durch eine einfache Gleichung beschreiben. Auf der einen Seite dieser Gleichung steht nur eine Konstante, auf der anderen Seite stehen nur Konzentrationen. Eure Aufgabe ist es nun, diese Gleichung herzuleiten.

Anleitung

Die Bildung von Iodwasserstoff aus Iod und Wasserstoff ist eine typische umkehrbare Reaktion. Die Reaktionsgleichung lautet:



Formuliert für die Hin- und die Rückreaktion die Gleichungen, welche die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeiten von den Konzentrationen der beteiligten Stoffe aufzeigen! Mit eurem Wissen über Gleichgewichte aus den letzten Lektionen könnt ihr diese beiden Gleichungen miteinander in Beziehung bringen. Konkret: ihr könnt sie zu einer einzigen Gleichung zusammenfassen.

Nun müsst ihr diese Gleichung noch so umformen, dass auf der linken Seite nur Konstanten und auf der rechten Seite nur Konzentrationen stehen. Die Konstanten auf der linken Seite könnt ihr zu einer neuen Konstanten K zusammenfassen: der sogenannten Gleichgewichtskonstanten.

Für diese Aufgabe habt ihr 20 Minuten Zeit. Ihr könnt in Zweiergruppen arbeiten. Die Aufgabe wird bewertet.

Lösung

Bewertung: Maximal 6 Punkte

- Geschwindigkeit der Hinreaktion $= k_1 \cdot [I_2] \cdot [H_2]$ 1 Pkt.
- Geschwindigkeit der Rückreaktion $= k_2 \cdot [HI] \cdot [HI]$
oder $= k_2 \cdot [HI]^2$ 1 Pkt.
- Wenn sich ein Gleichgewicht eingestellt hat, ist die Geschwindigkeit der Hinreaktion gleich gross wie die Geschwindigkeit der Rückreaktion

$$k_1 \cdot [I_2] \cdot [H_2] = k_2 \cdot [HI] \cdot [HI] \quad 2 \text{ Pkt.}$$

- Umformen ergibt $\frac{k_1}{k_2} = \frac{[HI] \cdot [HI]}{[I_2] \cdot [H_2]}$

oder $\frac{k_1}{k_2} = \frac{[HI]^2}{[I_2] \cdot [H_2]}$ 1 Pkt.

- Die Gleichgewichtskonstante lautet:

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[HI]^2}{[I_2] \cdot [H_2]} \quad 1 \text{ Pkt.}$$

Anhang 1: Materialliste

Eventuell zur Illustration die Utensilien zum Versuch mit den Wasserzylindern aus den vorgegangenen Lektionen nochmals aufstellen:

- 2 identische Messzylinder 250 ml aus Glas
- 2 Glasrohre, auf beiden Seiten offen, ca. 5 cm länger als die Messzylinder, beide Glasrohre mit verschiedenen Durchmessern, z.B. eines mit 10 mm, das andere mit 7 mm Durchmesser
- Farbstoff zum Färben von ca. 500 ml Wasser

Anhang 2: Benutzte Quellen

- Brown T.L, LeMay H.E.
Chemie - Ein Lehrbuch für alle Naturwissenschaftler
Weinheim 1988 (VCH)
- Christen H.R.
Chemie
Frankfurt a.M.; 1984, 12. Auflage (Diesterweg/Salle · Sauerländer)
- Christen H.R.
Chemieunterricht - Eine praxisorientierte Didaktik
Basel 1990 (Birkhäuser)
- Höfling E. et.al.
Unterrichtspraxis Chemie, Sekundarstufe I
Chemie und Technik: Salze - Redoxreaktionen - Metalle
Aarau 1984 (Diesterweg)