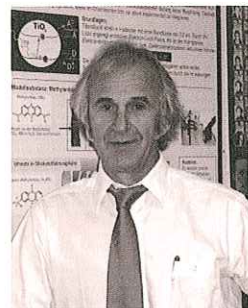


Erweitertes Repertoire an Experimenten, Simulationen und Grundsätzlichem



M. W. Tausch

Das chemische (thermodynamische) Gleichgewicht gehört in allen Bundesländern zu den obligatorischen Inhalten und fehlt in keinem Schulbuch für die Sekundarstufe II. Betrachten Sie, liebe Leserin und lieber Leser, dieses Heft als Ergänzung zu den Kenntnissen, Experimenten und Unterrichtsmaterialien, die Sie bereits in Ihrem Repertoire haben. Welche Ergänzungen sind das im Einzelnen?

Zunächst ist es nützlich, einen kommentierten Überblick über die im Internet frei zugänglichen Simulationen von Gleichgewichten zur Hand zu haben, um viel Zeit bei der Suche, dem Vergleich und der Auswertung zu finden. Ralf-Peter Schmitz, der sowohl über seine eigene, als auch über die Seite der Wuppertaler Chemiedidaktik vielen unter Ihnen bekannt ist, gibt in seinem Beitrag eine solche Synopse.

Bei der Behandlung von heterogenen Gleichgewichten und bei den Protolysegleichgewichten in wässriger Lösung gerät man oft in Erklärungsnot, wenn es darum geht, überzeugend zu begründen, warum eigentlich die Konzentration des Feststoffs bzw. des Wassers in die Gleichgewichtskonstanten K_L bzw. K_W , K_S und K_B eingeht. Diesem Problem geht Jörg Kleffmann in seinem Beitrag nach und liefert Argumente, die man als Background für besonders kritische Schülerfragen parat haben sollte.

Vergleicht man die Nernst-Gleichung und die Puffergleichung miteinander, so fällt die verblüffende Ähnlichkeit ihrer äußeren Form auf: ein Term, der eine Systemkonstante darstellt (E° bzw. pK_s) gefolgt von einem Term, in dem unter dem Logarithmus ein Massenwirkungsquotient (oder ein Überbleibsel davon) steht. Worauf beruht diese Ähnlichkeit? Hat

das etwa damit zu tun, dass Redoxreaktionen und Protolysen nach dem gleichen Donator-Akzeptor funktionieren? Peter Heinzerling räumt in seinem Beitrag unter Auswertung historischer Daten zur Thermodynamik mit diesem Missverständnis auf.

Um Missverständnisse im Zusammenhang mit dem chemischen Gleichgewicht geht es auch im Beitrag von Hans-Dieter Barke, der am Beispiel des Boudouard-Gleichgewichts zeigt, wie Fehlvorstellungen von Schülern erfasst und korrigiert werden können.

Simone Krees geht in ihrem Beitrag dem allgemeinen Konzept der Gleichgewichte in chemischen Systemen an die Wurzeln. Etwas salopp kann man sagen, dass das chemische (thermodynamische) Gleichgewicht seine Energie aus dem Wärmeinhalt des Systems „zieht“. Was aber ist, wenn einem System im chemischen Gleichgewicht auch Energie in Form von Licht bereitgestellt wird? Kann es damit etwas anfangen? Falls ja, unter welchen Bedingungen und mit welchem Ergebnis? Zur Klärung dieser Fragen liefert die Autorin originelle Experimente, anschauliche Modellanimationen und konzeptionelle Grundlagen, die zu einem besseren Verständnis des chemischen Gleichgewichts beitragen, indem sie es von anderen Gleichgewichten abgrenzen.

Beim chemischen Gleichgewicht wird (fast) immer auch gerechnet. Wie das geht, ist nicht neu und auch nicht notwendiger Inhalt dieses Themenhefts. Dass und wie das aber auch mit grafikfähigen Taschenrechnern geschehen kann, zeigt Dietmar Abt in seinem Kurzbeitrag an einem Beispiel. Recht anspruchsvoll (zu anspruchsvoll?) für das Schulniveau sind Berechnungen zu Puffersystemen, die mit

anderen Puffersystemen gekoppelt sind, beispielsweise zum Hydrogencarbonat-Puffer im Blut. Dass aber dieser lebenswichtige Puffer vom Kohlenstoffdioxid-Partialdruck und von respiratorischen sowie metabolischen Störungen abhängt ist für den Chemie- und Biologieunterricht wichtig. Christoph Maulbetsch liefert dazu in seinem Beitrag nicht nur die fachlichen Grundlagen, sondern zeigt auch, wie man diese im Unterricht einsetzen kann.

Last not least, ein Beitrag mit „schäumenden Geschichten“ aus Cola, Sirup und verschiedenen Säften von Paulina Kaempfe, Sebastian Wischniewsky und Matthias Eppe in dem Versuchsreihen vorgestellt werden, die sowohl für die Sekundarstufe I als auch für die Sekundarstufe II in verschiedenen Zusammenhängen – auch mit Gleichgewichten – geeignet sind.

Computersimulation von Gleichgewichten

Eine Synopse über frei zugängliche Programme im Internet

R.-P. Schmitz

Im Beitrag werden einige im Internet frei zugängliche Simulationen zum chemischen Gleichgewicht vorgestellt und erläutert. Ihr Leistungsvermögen für das Verständnis des chemischen Gleichgewichts auf Stoff- und Teilchenebene wird verglichen.

1 Einleitung

Im Chemieunterricht vermitteln Computeranimationen mithilfe bewegter Objekte Modellvorstellungen zu chemischen Reaktionen. Damit können Veränderungen an stofflichen Systemen auf der Teilchenebene in videoclipähnlichen Szenarien erlebbar gemacht werden.

Solche animiert aufbereiteten Fachinformationen wurden in den letzten Jahren von verschiedensten Arbeitsgruppen von Universitäten, Verlagshäusern oder auch engagierten Lehrern entwickelt und die Zahl der Webportale mit frei zugänglichem Animationsmaterial wächst zunehmend. Dem Unterricht stehen damit neben den bisherigen, typisch statischen Lehr- und Lernmedien „dynamische Modellgeschehen“ in Form von Computeranimationen zur Verfügung [1, 2, 3] (vgl. Beispielaufstellung in Kap. 2).

Die verschiedenen Softwareprogramme für den Chemieunterricht unterscheiden sich in ihrem methodischen Vorgehen bei der Vermittlung von Fachwissen und in ihrem inhaltlichen Aufbau. Hierbei lassen sich interaktive Lernprogramme [2], die Schülerinnen und Schüler tutoriell bei ihrer selbstständigen PC-Arbeit durch die Lernschritte begleiten, von zeitlich kurzen Animationen [2, 3] unterscheiden, die im Plenum des Unterrichts vom Lehrer gesteuert einen kleineren Part der Stoffvermittlung innerhalb einer Lernphase leisten. Daneben wurden interaktive Simulationsprogramme (vgl. Beispiele 1, 2, 3, 5, 6 und 10) und vertonte Lehrtools („Lerngeschichten“, [2]) (vgl. Beispiele 4, 7 und 9) entwickelt.

Bei der Planung von Unterricht ergibt sich für Lehrerinnen und Lehrer unmittelbar die Frage, welche inhaltlichen Ele-

mente in Computersimulationen den Unterricht im Vergleich zu bisherigen Arbeitsmaterialien inhaltlich und methodisch bereichern können, um letztlich ein größeres Lernverständnis bei Schülerinnen und Schülern zu gewinnen und zu verwirklichen. Worin besteht der didaktisch-methodische Mehrwert solcher Arbeitsmittel? Lehrerinnen und Lehrer müssen sich deshalb mit den Lehr- oder Lerntools auseinandersetzen und diese erkunden, um den didaktisch-methodischen Rahmen ihrer Unterrichtseinheit kompetenz- und zielorientiert zu konzipieren.

Gleichgewichtsreaktionen werden im Unterricht über die klassischen experimentellen Zugänge z. B. anhand von Farbveränderungen oder Volumenveränderungen auf der makroskopischen Ebene veranschaulicht. Experimentelle Beobach-

Web-Adresse: <http://www.chem.arizona.edu/chemt/Flash/N2O4.html>

Programmausführung:

- online als Flashprogramm im Browser
- speichern über den Browser (Datei → speichern)
- Programmstart über den Browser (Datei → öffnen)

Medienmethodik:

- interaktive Simulation
- englische Beschriftung

Autor: PhD John Pollard et. al., University of Arizona, Tucson, USA.
(Dieses Programm ist Bestandteil einer Vielzahl weiterer Flash- und Java-Programme; siehe: <http://www.chem.arizona.edu/chemt/ido.html>.)

Inhalte: In diesem Simulationsprogramm wird anhand einer Teilchenanimation mit vereinfachten Kugelteilchen die Gleichgewichtseinstellung bei veränderlicher Temperatur, veränderlicher Teilchenzahl und veränderlichem Volumen des Modellgefäßes veranschaulicht (Schiebereglern).

Über den On-/Off-Schalter wird die Simulation gestartet. Die Gleichgewichtseinstellung lässt sich am Teilchenmodell beobachten. Die Anzahl der Kugelteilchen der beiden Stoffe wird während der laufenden Gleichgewichtseinstellung kontinuierlich aktualisiert mittels farbiger Ziffern angezeigt (Felder oben rechts). Neben der Teilchendarstellung kann die Gleichgewichtseinstellung in einem dynamischen Kurvendiagramm mit laufender Zeitachse verfolgt werden. Die aktuellen Konzentrationen werden in darunter liegenden Feldern angezeigt. Ein Neustart des Programms (Zurücksetzen auf die Ausgangsbedingungen) kann über F5 (Seite neu laden) im Browser durchgeführt werden (keine Reset-Taste vorhanden).

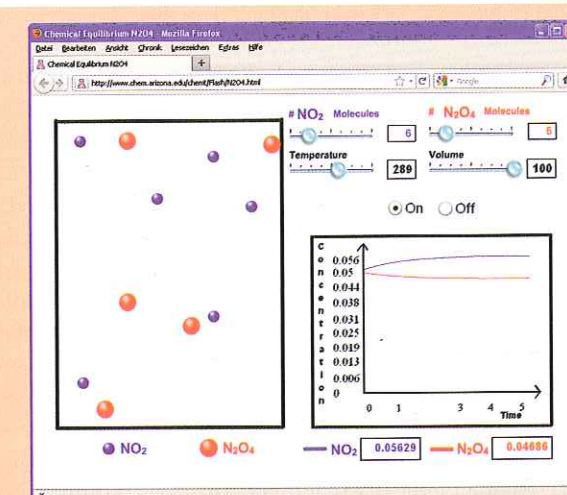


Abb. 1: Programmansicht: Animation mit vereinfachtem Kugelteilchenmodell, Steuerelemente und dynamisches Kurvendiagramm.

Kasten1: Beispiel 1: $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ -Gleichgewicht (vgl. Abb. 1)

Web-Adresse: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/reactions-and-rates>

Programmausführung:

- online (Java-Programm)
- Download und auf dem PC mittels der Java-Umgebung abspielbar (falls nicht vorhanden, leicht installierbar über <http://www.java.com/de/index.jsp>)

Medienmethodik:

- interaktive Simulation
- englische Beschriftung

Autoren: PhET-Autorenteam im Projekt „PhET – Interactive Simulations“ an der University of Colorado at Boulder.

Das Programm ist Bestandteil einer umfangreichen Animationsammlung: (<http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/chemistry>).

Dazu findet man unter „<http://phet.colorado.edu/en/for-teachers/browse-activities>“ Unterrichtshinweise und Arbeitsaufgaben- bzw. Beobachtungspapiere.

Inhalte: Das Simulationsprogramm veranschaulicht auf der Teilchenebene anhand der Reaktion vom Typ $A + BC \leftrightarrow AB + C$, dass einerseits Kollisionen der Stoffteilchen A und BC bzw. AB und C und andererseits der Energiegehalt dieser Stoffteilchen die Voraussetzungen für einen möglichen Atomaustausch (Reaktion) sind.

Um diese Zusammenhänge systematisch zu entwickeln, ist das Programm in 3 Lernabschnitte gegliedert.

Im 1. Teil werden anhand nur zweier Stoffteilchen Kollisionen und Reaktionen (Hin- und Rückreaktion) in Abhängigkeit vom Energiegehalt veranschaulicht. Dem Reaktionssystem kann Energie zugeführt bzw. auch abgeführt werden (Schieberegler unterhalb des Versuchsgefäßes). Der Energiegehalt wird in der veränderten Bewegungsgeschwindigkeit (Impulsintensität bei den Kollisionen) und in einem dynamischen Energiediagramm verdeutlicht.

Im 2. Teil lassen sich Teilchenmengen von Ausgangsstoffen und Endprodukten festlegen. In Abhängigkeit vom vorgegebenen bzw. neu eingestellten Energiegehalt (Temperaturregler) findet sofort eine Gleichgewichtseinstellung statt. Dies kann im Teilchenmodell verfolgt werden. Parallel zum Energiediagramm lässt sich die stoffliche Veränderung (Teilchenzahl der Edukt- bzw. Produktteilchen) in einem dynamischen Balken-, Kreis- oder Liniendiagramm verfolgen.

Im 3. Programmteil stellt man zunächst die Teilchenanzahl, die Starttemperatur und den Reaktionstyp (verschiedene Vorgaben exothermer, endothermer und frei einstellbarer Reaktionssysteme) ein und startet dann erst die Reaktion über eine eigene Starttaste. Man beobachtet die Gleichgewichtstellung (Teilchenanimation, dynamisches Diagramm, aktuelle Teilchenzahlen). Über die Pause-Taste (bzw. Play-Taste) kann die Animation angehalten bzw. wieder fortgesetzt werden.

Zusätzlich kann eine Stoppuhr eingeblendet werden, um virtuelle Versuchsreihen in Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen (Teilchenzahl, Temperatur) zeitlich zu erfassen.

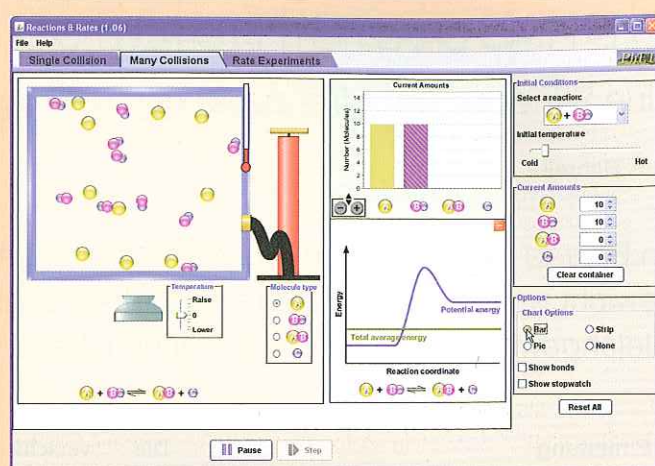


Abb. 2: Ansicht des 2. Programmteils („Many Collisions“): Animation, dynamisches Balkendiagramm, Energiediagramm, Steuerleiste.

Kasten 2: Beispiel 2: Reactions and Rates (vgl. Abb. 2)

tungen werden analysiert und mittels Reaktionsgleichungen mit Gleichgewichtspfeilen formalisiert. Schließlich werden die gewonnenen Erkenntnisse zu Gleichgewichtsreaktionen auf die Teilchenebene mit Begriffen wie „zunehmende oder abnehmende Teilchenmengen oder Teilchenkonzentrationen“ gedanklich übertragen bzw. in Form von Kurvendiagrammen mathematisch fixiert. Damit sind dann die Begriffe „Gleichgewichtseinstellung“ und „Gleichgewichtszustand“ beschrieben und definiert. In diesem „Gedankenspiel“ bleiben aber Überlegungen auf der Teilchenmodellebene wie z.B. die Interaktionen von Stoffteilchen, die Häufigkeit der Kollisionen und ihre Bedeutung, die Wirkung von Energiezufuhr auf die Stoffteilchen u.a. im Wesentlichen unbildlich und ausschließlich kognitiv-statisch im Gedächtnis. Gerade hier würden animierte Teilchenmodelle, dynamische Grafiken oder interaktiv beeinflussbare Simulationen zur Veranschaulichung der Dynamik

chemischer Vorgänge dienen und zu einer erhöhten Transparenz in Bezug auf stoffliche Veränderungen in der Zeitdimension führen. Dies wird letztlich zu einem verbesserten Lernverständnis bei den Schülerinnen und Schülern beitragen.

2 Simulationen zum chemischen Gleichgewicht im Internet

Sucht man im Internet in den Suchmaschinen unter den Begriffen „chemisches Gleichgewicht“ oder „chemical equilibrium“ und „animation“ in verschiedenen Kombinationen, so erhält man etliche Links auf deutsche, aber zumeist englischsprachige Webseiten, die Informationen zum Gleichgewicht liefern oder Links auf Animationen zu Gleichgewichtsvorgängen beinhalten. Daneben wird auf Experimente zu Gleichgewichtsreaktionen in Videoclips verwiesen.

Die folgende Übersicht enthält mit 10 Beispielen eine Auswahl von frei zugänglichen Simulationen zum chemi-

schen Gleichgewicht im Internet. In jedem der Beispiele erhält man zu Beginn einen Online-Link. Die Systemvoraussetzungen sind bei den meisten PCs mit der Grundinstallation gegeben. Eventuelle Nachinstallationen von Flash, Java, Shockwave-Flash und Phytion sind leicht online zu erledigen (vgl. Kasten 1 bis 4, Tab. 1).

3 Didaktisch-methodische Ergänzungen

3.1 Simulationsprogramme

Die Simulationsprogramme von Pollard (Bsp. 1, 5 und 6) bzw. der PhET-Arbeitsgruppe (Bsp. 2) verwenden Teilchenmodelle und dynamische Diagramme, um die stoffliche Verschiebung der Gleichgewichtslage in Abhängigkeit von der Teilchenzahl oder Temperatur zu veranschaulichen.

Von Pollard wird ein vereinfachtes Kugelteilchenmodell eingesetzt. Eine Temperaturerhöhung verursacht eine Ver-

Web-Adresse: http://www.kronberg-gymnasium.de/Chemie-Lernprogramme_1853.html und <http://chemie-lernprogramme.de/index.html>

Programmausführung:

- nicht online
- Download einer gezippten „Python-Datei“
- Ausführung des Programms auf dem PC nach zuvor installierter Python-Umgebung (einfach durchführbar, s. Hinweise auf der verlinkten Webseite oben)

Medienmethodik:

- interaktive Simulation
- deutsche Beschriftung

Autor: Joachim Jakob, Kronberg-Gymnasium Aschaffenburg.

Das Programm ist Bestandteil einer umfangreichen Sammlung weiterer Simulationsprogramme zu verschiedenen Naturwissenschaften mit Aufgaben bzw. Anleitungen für Schülerinnen und Schüler.

Inhalte: Der „Gleichgewichtmodeller“ stellt ein Simulationsexperiment dar. Das Programm zeigt die beiden Versuchsgefäße des Hebermodells mit zwei Pipetten. Über vier Schieberegler lassen sich die Füllhöhen und die Pipettenbreiten verändern.

Darunter befindet sich eine breite Schiebeleiste, über die die Anzahl der wechselseitigen Übertragungsschritte bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustands ermittelt werden kann.

Verschiedene Füllhöhen bzw. Pipettenbreiten stellen jeweils andere Ausgangsbedingungen dar, die wiederum zu verschiedenen Gleichgewichtszuständen führen.

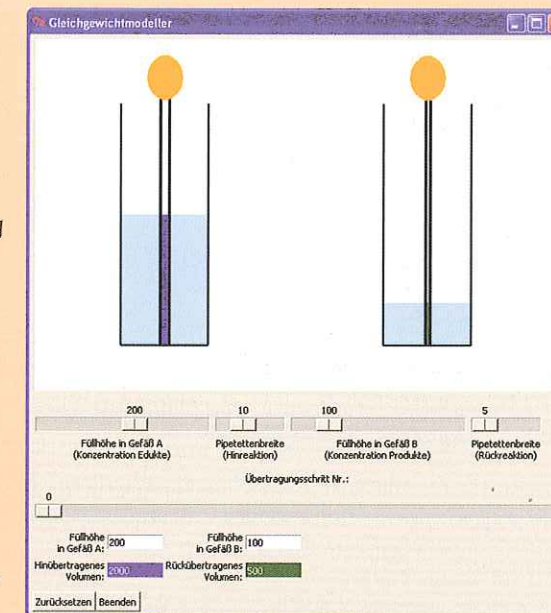


Abb. 3: Programmansicht mit Versuchsgefäßen und Schieberegler zur Steuerung.

Kasten 3: Beispiel 3: Hebermodell „Gleichgewichtmodeller“ (vgl. Abb. 3)

schiebung des $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ -Gleichgewichts in Richtung der NO_2 -Bildung. Die Visualisierung im Teilchenmodell beschränkt sich dabei auf das Ausblenden der roten Kugeln (N_2O_4) bzw. auf das Einblenden von blauen Kugeln (NO_2) an beliebigen Stellen im Modellgefäß. Hier geht es ausschließlich um die Veranschaulichung der Richtung der stofflichen Verschiebung. Die Reaktion selbst (Zerfall bzw. Bildung) soll nicht demonstriert werden.

Eine Temperaturniedrigung (Schieberegler) lässt die Umkehrbarkeit der Reaktion $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ am Teilchenmodell und an den eingeblendeten Teilchenzahlen deutlich werden.

Die Konzentrationen der Stoffteilchen sind aus den Konzentrationsangaben unterhalb des Kurvendiagramms ersichtlich. Mit diesen Konzentrationsangaben kann man über das MWG die Gleichgewichtskonstante berechnen $[K = c^2(\text{NO}_2)/c(\text{N}_2\text{O}_4)]$. Nach Veränderung der Teilchenzahl bzw. Veränderung des Volumens (Drucksimulation) über die entsprechenden Schieberegler lässt sich nach Einstellung des Gleichgewichts die gleiche Gleichgewichtskonstante errechnen (bei unveränderter Temperatur). Die stoffliche Verschiebung des Gleichgewichts kann dabei unmittelbar am Teilchenmodell beobachtet werden.

Bei veränderten Temperaturen berechnet man entsprechend andere Gleichgewichtskonstanten.

Thema/Autor	Internet-Adresse/Programmtyp
Beispiel 5: Reaktion: $3 \text{H}_2 + 2 \text{N}_2 \rightleftharpoons \text{NH}_3$ (vgl. Bsp. 1)	http://www.chem.arizona.edu/chemt/Flash/NH3.html
Beispiel 6: Reaktion: $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ (vgl. Bsp. 1)	http://www.chem.arizona.edu/chemt/Flash/HI.html
Beide Programme sind Bestandteile einer größeren Simulationssammlung zum chemischen Gleichgewicht und anderen Themen. Autor: PhD John Pollard (University of Arizona).	http://www.chem.arizona.edu/chemt/ido.html (Online-Flashfilme)
Beispiel 7: $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$-Gleichgewicht: Lerngeschichte mit gesprochenen englischen Kommentaren in 3 Teilen. Darstellung mit Versuchsgefäß, dynamischem Liniendiagramm und Teilchenanimation. Autor: http://www.kentchemistry.com/ .	http://www.kentchemistry.com/links/Kinetics/Equilibrium/equilibrium.swf (Online-Flashfilme)
Beispiel 8: $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$-Gleichgewicht: Kurze und einfache mit englischem Text kommentierte Lerngeschichte. Autor: Tom Greenbowe (Iowa State University).	http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/animationsindex.htm (Online-Shockwave-Film, Plugin erforderlich) http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/index4.html#abEquilibria (Download)
Beispiel 9: Essigsäure-Acetat-Puffer („Buffers“): Interaktive Lerngeschichte mit englischem Kommentar. Autor: Raymond Chang (Williams College, Massachusetts; vgl. Bsp. 4).	http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/buffer12.swf (Online-Flashfilm)
Beispiel 10: Säure-Base-Titration („Titrierer“): Simulationsprogramm zur Säure-Base-Titration-Darstellung mit Titrationskurve und Versuchsaufbau (Arbeitsblatt mit Aufgaben). Autor: Joachim Jakob (Kronberg-Gymnasium, Aschaffenburg; vgl. Bsp. 3).	http://www.kronberg-gymnasium.de/Chemie-Lernprogramme_1853.html#titrierer (Download; Python-Programm s. Bsp. 3)

Tab. 1: Weitere Simulationen

Web-Adresse: <http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/lechr17.swf>

Programmausführung:

- online als Flashprogramm im Browser
- speichern über den Browser (Datei → speichern)
- Programmstart über den Browser (Datei → öffnen)

Medienmethodik:

- Interaktive Lerngeschichte und Simulation
- Vertont in Englisch

Autor: Prof. Raymond Chang (Williams College).

Das Programm ist Bestandteil einer Animationssammlung; siehe unter der URL: <http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/flash.mhtml>

Inhalte: Diese in Englisch vertonte Anwendung stellt eine Lerngeschichte dar. Nach einer gesprochenen Einleitung wählt der Anwender zwischen drei Teilanwendungen aus: Teil 1: Change in Concentration (s. Abb. 4)

Teil 2: Change in Pressure

Teil 3: Change in Temperature

Dahinter verbergen sich drei weitere Lerngeschichten zu den Reaktionen:

- $\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq}) + \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^{-}(\text{aq})$ | s. Abb. 4
- $\text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{I}(\text{g})$
- $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$

In den drei Teilprogrammen kann der Anwender in die vorgegebene Reaktion eingreifen. Wie in Abb. 4 zu sehen ist, lassen sich über zwei Button Natriumthiocyanat hinzugeben bzw. Eisen(III)-Ionen entfernen. Das Programm kommentiert dann die jeweilige Auswahl und veranschaulicht die Veränderungen bzw. Neueinstellung des Gleichgewichts in einer einfachen Teilchenanimation, im dynamischen Balkendiagramm und abschließend mit einem veränderten Reaktionspfeil, durch den auf die Richtung der Gleichgewichtsverschiebung hingewiesen wird.

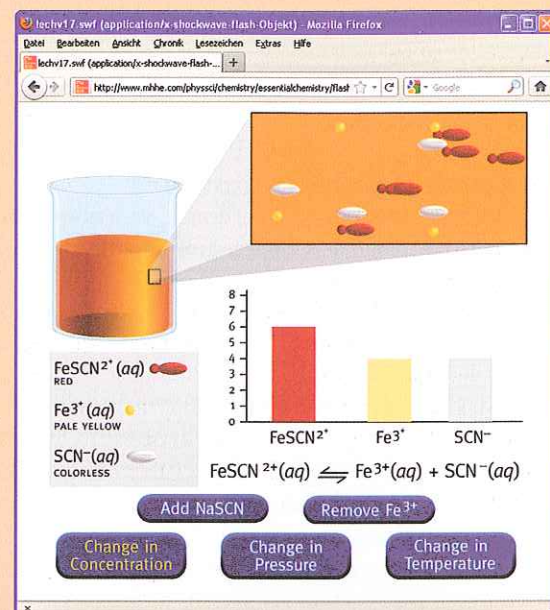


Abb. 4: Programmsicht des 1. Teils mit Versuchsgefäß, Teilchenanimation (oben rechts), dynamischem Diagramm, Reaktionsgleichung und Auswahlbutton.

Kasten 4: Beispiel 4: Das Prinzip von Le Chatelier (vgl. Abb. 4)

Die Simulation „Reactions and Rates“ (Bsp. 2) der PhET-Arbeitsgruppe an der Universität von Colorado veranschaulicht im Vergleich zu den Simulationen von Pollard (Bsp. 1, 5, 6) Teilcheninteraktionen. Dabei handelt es sich um Kollisionen und den Austausch von Atomen. Der Austausch von Atomen (Hin- oder Rückreaktion) findet aber nur dann statt, wenn die kollidierenden Teilchen eine bestimmte Mindestenergie (kinetische Energie) besitzen. Außerdem lässt sich erkennen, dass eine bestimmte Orientierung der Stoffteilchen für eine erfolgreiche Kollision erforderlich ist. Diese Inhaltsaspekte können anhand des 1. Teilprogramms („Single Collision“) entwickelt werden.

Mit dem 2. bzw. 3. Programmteil („Many Collisions“, „Rate Experiments“) können Schülerinnen und Schüler selbstständig den Einfluss der Temperatur bzw. der Teilchenkonzentration auf die Umsätze und damit auf die Gleichgewichtslage erkunden und erarbeiten. Im laufenden virtuellen Experiment kann dazu mittels eines Schiebereglers Energie zugeführt bzw. das Reaktionssystem abgekühlt werden. Über die „Pumpe“ (Abb. 2 in Kasten 2) lassen sich ebenfalls im laufenden Experiment nach vorhergehender Auswahl einzelne Reaktanden „hinzupumpen“, um damit

die Teilchenzahl des einen oder anderen Reaktanden zu verändern. Die Reaktion des Systems lässt sich dann bei hoher Teilchenzahl leicht in dem eingblendeten Balkendiagramm verfolgen.

In einem weiteren Arbeitsschritt können andere voreingestellte Reaktionstypen mit verschiedenen Reaktionskoordinaten (endotherm, exotherm oder frei einstellbar) über ein Menü ausgewählt und somit in der Simulation Unterschiede ermittelt werden. Über diese zusätzliche Einstellungsmöglichkeit wird die Bedeutung energetischer Aspekte berücksichtigt.

Von den Autoren dieses Simulationsprogramms (s. Beispiel 2, weitere Links) werden Arbeitsanleitungen und Lehrerinformationen mit Zielvorgaben bereitgestellt. Die meisten Programme dieses Autorenteams sind Java-Programme. Zur Ausführung benötigt man die Java-Umgebung auf dem PC. Die Anzahl der zur Verfügung gestellten Programme ist so groß, dass es sich lohnt diese gegebenenfalls nachträglich zu installieren.

Das Simulationsprogramm zum Hebermodell, welches von Jakob vom Kronberg-Gymnasium (s. Bsp. 3) erstellt wurde, stellt eine Alternative zum Experiment dar. So könnte dieses Modellexperiment im Plenum des Unterrichts vom Fachlehr-

rer oder einer Schülergruppe präsentiert und mit Versuchsreihen virtuell durchgespielt werden. Durch Betätigung der großen Schieberleiste wird bei jedem Klick wechselseitig die jeweilige Füllmenge der beiden Pipetten übertragen. Ein Zähler zeigt die Anzahl der Austauschschritte an. Ist der Gleichgewichtszustand erreicht, bleiben die Füllhöhen der beiden Standzylinder unverändert.

Dass das Programm nicht das Volumen der Pipette berücksichtigt, sondern nur die Flächen berechnet, spielt für das Prinzip der Gleichgewichtseinstellung keine Rolle.

Diese Simulation benötigt auf dem PC die „Python-Run-time-Umgebung“. Sie ist leicht zu installieren (s. Bsp. 3, Hinweise und Links des Programmautors).

3.2 Lerngeschichten

Bei „Lerngeschichten“ wie in den Beispielen 4, 7 und 9 handelt es sich um vertonte Lehrprogramme, in denen Fachzusammenhänge sachlogisch und fachsystematisch aufbereitet vorgestellt werden. Das methodische Vorgehen besteht darin, dass Bildinformationen, Animationselemente oder Textbausteine dem Gedankengang der Lerngeschichte folgend ein- bzw. ausgeblendet werden. Damit wird

der fachliche Leitgedanke sukzessive entwickelt. Schülerinnen und Schüler verfolgen die visuellen und akustischen Informationen der jeweiligen Kurzvorträge. Interaktionen beschränken sich zumeist auf das Starten einzelner Abschnitte und das Zurückspringen, um Teile wiederholt ablaufen lassen zu können.

Lerngeschichten liefern Zusammenfassungen und ermöglichen den Schülerinnen und Schülern Unterrichtsinhalte individuell zu wiederholen. Für die Arbeit mit den Beispielen 4, 7 und 9 wird ein ausreichendes englisches Hörverständnis vorausgesetzt. Das Programm im Beispiel 8 ist unvertont. Hier wurden ausschließlich englische Textbausteine verwendet.

3.3 Fazit

Mit Computeranimationen lassen sich Gleichgewichtsreaktionen an dynamischen Teilchenmodellen veranschaulichen und gleichzeitig Abhängigkeiten von Umgebungsparametern simulieren. Damit werden experimentelle Ergebnisse, die sich ggf. aus mehreren Experimentierphasen mehrerer Unterrichtsstunden ergeben haben, zeitlich komprimiert in

dynamischen Teilchenmodellen zusammengefasst. Konkrete Lernmomente können unmittelbar wiederholt, konkretisiert und damit akzentuiert werden. Tauchen im Unterrichtsgespräch Verständnisschwierigkeiten auf, so kann man sofort über veränderte Parameter das Reaktionsgeschehen erneut simulieren. Abhängigkeiten und Reaktionstendenzen werden verbildlicht und im Unterrichtsgespräch versprochen. Damit bekommen Aussagen unmittelbar einen bildlich-modellhaften Rahmen. Das gesamte Lerngeschehen des Unterrichts erhält durch eine aufgewertete Anschaulichkeit eine größere Transparenz.

Die hier vorgestellten Programme lassen sich hervorragend in der selbstständigen PC-Schülerarbeit (Einzel- und Gruppenarbeit) einsetzen. Ergänzend und in einigen Fällen sogar alternativ zum Schülerexperiment liefern sie in einem virtuellen Umfeld individuelle Lernmöglichkeiten. Dies wird durch die bei den Schülerinnen und Schülern unterschiedlich gewählten Einstiege und Fortsetzungen im Simulationsgeschehen ermöglicht. Computersimulationen tragen

zur Entwicklung der Medienkompetenz von Schülerinnen und Schülern bei. Sie fördern die Kommunikation in der Schülergruppe im Hinblick auf die fachlichen Grundfragestellungen, die Ergebnisbesprechung und die Planung und Durchführung von Gruppenpräsentationen. ■

Literatur

- [1] Rey, G. D.: E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung. Verlag Hans Huber, Bern 2009
- [2] Chemie interaktiv: Eine Internet-Sammlung von Lehr- und Lerntools für den Chemieunterricht. Homepage des Autors: <http://www.chemie-interaktiv.net>
- [3] Chemiedidaktik-Homepage der Bergischen Universität Wuppertal. Flashanimationen und weitere Materialien für den Chemieunterricht. <http://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de>

Anschrift des Verfassers

Dr. Ralf-Peter Schmitz,
Sandstraße 104, 47475 Kamp-Lintfort,
E-Mail: rpschmitz@t-online.de

Zweigbibliothek Chemie der
Universitäts- u. Landesbibliothek
Corrensstraße 40, Tel. 0251/833330
D-48149 Münster (Germany)

Die Gleichgewichtskonstante K

Diskrepanz zwischen gebräuchlichen Formulierungen und der Thermodynamik

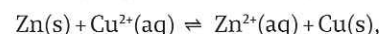
J. Kleffmann

Warum wird eigentlich bei der Berechnung der Zellspannung in der Nernstgleichung für reine Metalle ein Konzentration von $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ eingesetzt und warum fällt beim Löslichkeitsprodukt von Wasser dessen Konzentration weg? Der Beitrag beantwortet diese Fragen.

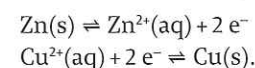
1 Einleitung

Gleichgewichte sowie deren quantitative Beschreibung sind in der Chemie von großer Bedeutung. Man denke hier nur an den pH-Wert, aber auch an großtechnische Prozesse wie die Ammoniakherstellung nach dem Haber-Bosch Verfahren, bei der das quantitative Verständnis des chemischen Gleichgewichtes zur Optimierung der Ammoniakausbeute führte.

Oft werden Gleichgewichte betrachtet, die sich zwischen verschiedenen Phasen einstellen. Ein typisches Beispiel ist das Daniell-Element:



welches im Unterricht oft zur Erklärung einer elektrochemischen Zelle verwendet wird. Hierbei werden heterogene Gleichgewichte zwischen reinen Metallen und deren wässriger Lösungen betrachtet:



Bei der quantitativen Beschreibung dieser Gleichgewichte kommt es jedoch oft zu Unklarheiten, welche aus ungenauen Definitionen der Gleichgewichtskonstante K resultieren. So wird z.B. bei der Berechnung der Zellspannung des oben genannten Daniell-Elements mit Hilfe der Nernst-Gleichung

$$(1) E = E^0 - \frac{R \cdot T}{\nu_e \cdot F} \cdot \ln K_c, \text{ mit:}$$

E = Zellspannung; E^0 = Zellspannung bei Standardbedingungen ($^{\circ}$: 1013 hPa),
 T = Temperatur, R = allgemeine Gaskonstante, ν_e = Anzahl der übertragenen Elektronen pro Formelumsatz, F = Faradaykonstante, K_c = Gleichgewichtskonstante,

für die Konzentration der Metalle in der Gleichgewichtskonstante K_c ein Wert von 1 mol/L angegeben, bzw. teilweise gar nicht berücksichtigt, was zu berechtigten Verständnisfragen führen kann.

Ein weiteres Beispiel ist in diesem Zusammenhang die Eigendissoziation von Wasser: