Die Idee dahinter: Solvay-Verfahren

Anwendung des Prinzips von Le Chatelier und mehr

Didaktisch-methodische Hinweise

Beim Solvay-Verfahren spielt u. a. die gezielte Verschiebung des CO_2/H_2CO_3-Gleichgewichts eine entscheidende Rolle. Um das nur mäßig lösliche $NaHCO_3$ ausfällen zu können, müssen relativ große Mengen CO_2 gelöst werden, um entsprechend große Konzentrationen von HCO_3^- -Ionen zu erzeugen. Für das Verständnis des Solvay-Verfahrens spielt das Prinzip von Le Chatelier an mehreren Stellen eine Rolle:

- Durch die Alkalisierung der NaCl-Lösung wird die Bildung von CO_3^{2-}- und HCO_3^--Ionen durch Verschiebung des CO_2/Kohlensäure-Gleichgewichts erreicht.
- Durch eine sehr hohe Na^+-Ionen-Konzentration wird die Löslichkeit von $NaHCO_3$ erniedrigt.
- Durch das Ausfällen von $NaHCO_3$ werden der Lösung HCO_3^--Ionen entzogen, so dass ständig HCO_3^--Ionen nachgebildet werden.
- Bei der Wiedergewinnung von NH_3 aus der während des Verfahrens entstandenen NH_4Cl-Lösung wird die Verschiebung des NH_3/NH_4^+-Gleichgewichts durch Erhöhung der OH^--Ionen-Konzentration erreicht.

Das Prinzip der Bildung eines Hydrogencarbonats durch das Einwirken von CO_2 auf eine alkalische und/oder carbonationenhaltige Lösung spielt nicht nur beim Solvay-Verfahren eine Rolle. Auch für den natürlichen Kalkkreislauf und den natürlichen Eisenkreislauf ist dieser Vorgang von zentraler Bedeutung.

Möglicher Ablauf

1. Problemstellung entdecken und Vorstellungen entwickeln; Vorschläge zur Sodaentwicklung

Die Bedeutung von Natriumcarbonat als Grundstoff für die chemische Industrie wird herausgestellt, um anschließend Vorschläge zur Herstellung zu sammeln. Die chemische und wirtschaftliche Bedeutung kann kurz und knapp mit den ersten 70 Sekunden (also bis 1:10) eines Youtube-Videos angerissen werden: https://www.youtube.com/watch?time_continue=71&v=GpGH8dLJhao. Es bietet sich an, die Verwendung der Fachsprache im Video kritisch zu hinterfragen und nicht kommentarlos stehen zu lassen („Soda besteht aus Natrium und Carbonat…“).

Als grundsätzliche Strategie zur Herstellung von Natriumcarbonat kann die Erzeugung möglichst hoher CO_3^{2-}-Konzentrationen in einer Lösung mit einer hohen Konzentration an Na^+-Ionen herausgearbeitet werden. Um die hohe CO_3^{2-}-Konzentration zu erzielen, muss das CO_2/H_2CO_3-Gleichgewicht auf die CO_3^{2-}- Seite verschoben werden. Hierbei können Vorschläge zu Druck-, Temperatur- und Konzentrationsverhältnissen gemacht werden; insbesondere die ständige „Entsorgung“ der H_3O^+-Ionen durch OH^- -Ionen sollte dabei diskutiert werden. Wird die sehr gute Löslichkeit von Na_2CO_3 mit in die Diskussion eingebracht, wird klar, dass sehr extreme Gleichgewichtsverschiebungen notwendig sein müssen. Als Vorschlag sollte sich das Einleiten von reinem CO_2 in kalte konzentrierte Natronlauge unter möglichst großem Druck herauskristallisieren.

2. Lernmaterial bearbeiten / Lernprodukt erstellen

Das industriell eingesetzte Solvay- Verfahren soll den eigenen Vorschlägen gegenübergestellt werden. Die Leitfrage für den folgenden Unterrichtsabschnitt wäre also: „Wie machen es die Profis?“

Im Solvay-Verfahren werden manche Aspekte der eigenen Vorschläge wiederauftauchen (hohe Na^+-Ionen-Konz., alkalische Lösung) andere dagegen nicht. Außerdem werden weitere Aspekte

Andreas Böhm und 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.

beleuchtet (Fällung eines Zwischenprodukts, Rückgewinnung von Ausgangsstoffen), die in den eigenen Überlegungen vermutlich noch keine Rolle spielten.

Für die Lernenden stellt es eine Herausforderung dar, am Ende noch zu erkennen, wie letztendlich die Gesamtbilanz des Verfahrens aussieht.

Daher sollte man diese Aufgabe zunächst auf die Reaktionen beschränken, die letztendlich zur Gewinnung von Na_2CO_3 führen.

Einleiten von CO_2 in wässrige Lösung:

1) $2CO_2\,(g) \rightleftharpoons 2CO_2\,(l)$ $\Delta H<0$ (exotherm)

2) $2CO_2\,(l) + 2H_2O \rightleftharpoons 2H_2CO_3$

3) $2H_2CO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons 2H_3O^+\,(aq) + 2HCO_3^-\,(aq)$

Neue Reaktionen, die die GG-Lagen beeinflussen:

4) $2Na^+\,(aq) + 2HCO_3^-\,(aq) \rightleftharpoons 2NaHCO_3\downarrow$

5) $2NH_3 + 2H_2O \rightleftharpoons 2NH_4^+ + 2OH^-$

6) $2H_3O^+ + 2OH^- \rightleftharpoons 4H_2O$

alle Reaktionen x 2

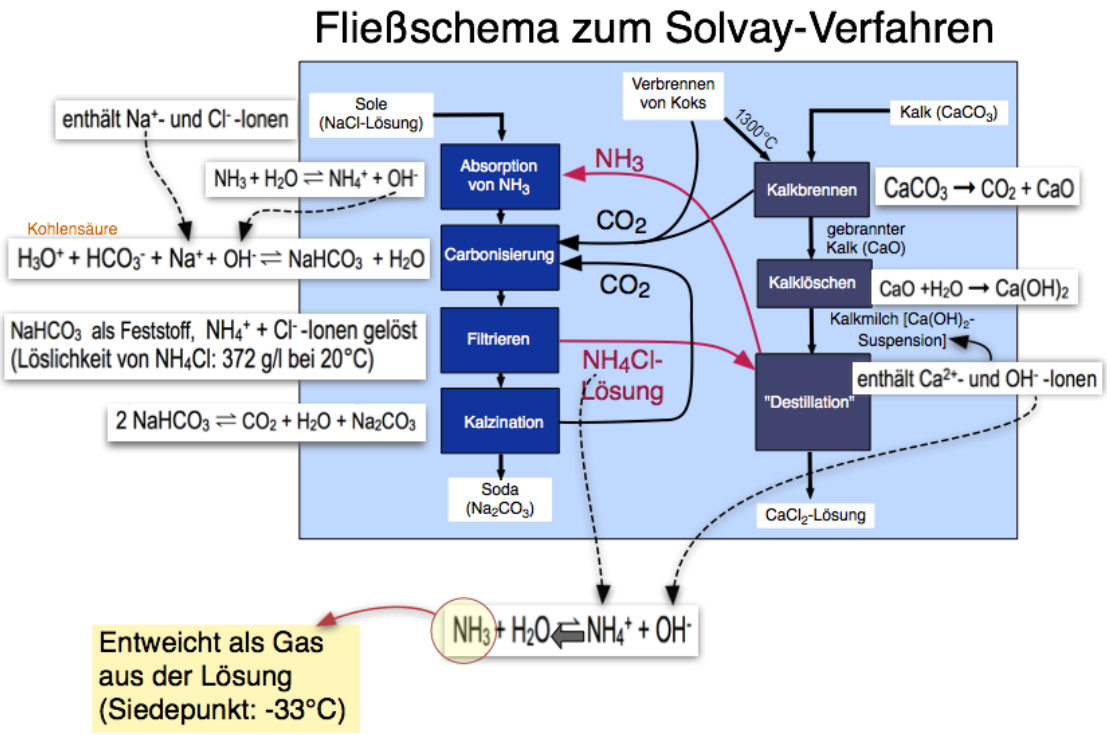
Thermische Zersetzung von $NaHCO_3$:

7) $2\,NaHCO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O + Na_2CO_3$

$$2\,Na^+ + CO_2 + 2\,NH_3 + H_2O \rightleftharpoons 2\,NH_4^+ + Na_2CO_3$$

Im Rahmen einer Binnendifferenzierung kann dieser Aspekt auch als optionale Aufgabe definiert werden. Für leistungsschwächere Gruppen sollte die Option überdacht werden, eine übersichtliche Gesamtbilanz vorzubereiten und nur das Prinzip des Erstellens der Gesamtgleichung zu diskutieren.

Nach der Bearbeitung der Aufgaben und Präsentation und Diskussion der Ergebnisse sollten alle Einzelschritte im Solvay-Verfahren „kommentiert“ und ggf. mit dem Prinzip von Le Chatelier in Verbindung gebracht worden sein.



Andreas Böhm und 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.

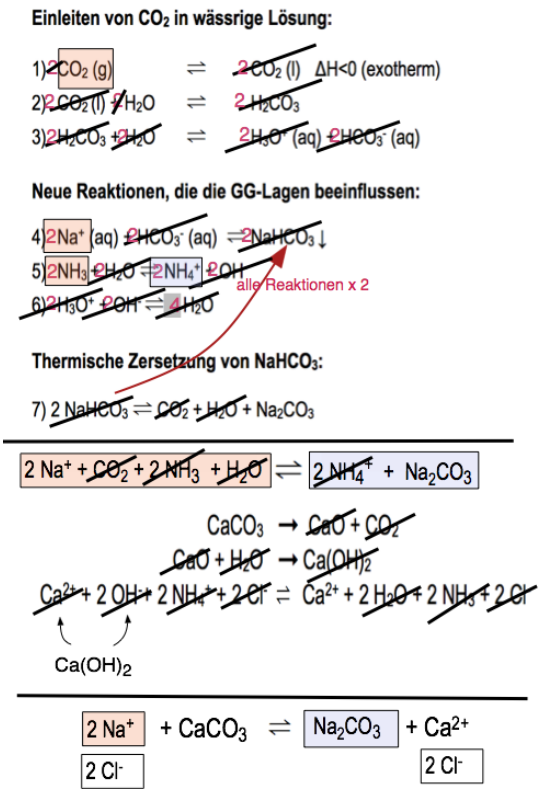
Die Idee dahinter: Solvay-Verfahren

Anwendung des Prinzips von Le Chatelier und mehr

3. Vertiefung

Ggf. kann die „Gesamtbilanz“ des Verfahrens anschließend nochmals überarbeitet werden, indem z. B. die Bedeutung von $CaCO_3$ als Ausgangsstoff berücksichtigt wird und dadurch NH_3 und NH_4^+ insgesamt aus der Bilanz komplett verschwinden, dafür aber Ca^{2+}-Ionen als „Abfallprodukt“ (zusammen mit den Cl^- -Ionen aus der NaCl-Lösung) auftauchen. Durch diesen zusätzlichen Denkschritt werden als „Ausgangssubstanzen“ die in der Natur relativ preiswert als Rohstoffe zu findenden Substanzen NaCl und $CaCO_3$ (neben der zu verbrennenden Kohle) identifiziert.

Für leistungsschwächere Gruppen sollte die Option überdacht werden, eine übersichtliche Gesamtbilanz vorzubereiten und nur das Prinzip des Erstellens der Gesamtgleichung zu diskutieren.



4. Rückbezug zu den selbst formulierten Vorschlägen zur Sodasynthese

Zum Schluss bleibt noch die Frage zu klären, weshalb das Solvay-Verfahren das weltweit bedeutendste Verfahren zur Herstellung von Soda ist, die Einleitung von CO_2 in konzentrierte Natronlauge (sofern dies der von den Lernenden erarbeitete Vorschlag war) aber keinerlei nennenswerte wirtschaftliche Bedeutung hat.

Ein Vergleich der Gesamtreaktionsgleichungen kann für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit hilfreich sein.

Solvay-Verfahren	**CO_2 in konz. Natronlauge einleiten**
$2\ Na^+ + 2\ Cl^- + CaCO_3 \rightleftharpoons 2\ Ca^{2+} + 2\ Cl^- + Na_2CO_3$	$2\ Na^+ + 2\ OH^- + CO_2 \rightleftharpoons Na_2CO_3 + H_2O$

Beim selbstentwickelten Verfahren wird ständig NaOH verbraucht, welches als Rohstoff immer wieder nachgeliefert werden muss. NaOH kommt aber in der Natur nicht vor, sondern muss zunächst synthetisiert werden. CO_2 könnte aus der Verbrennung von Koks gewonnen werden (beim Solvay-Verfahren reichen die CO_2-Mengen, die im Verlaufe des Verfahrens freigesetzt werden; das CO_2 aus der Koks-Verbrennung wäre bei kompletten geschlossenen Kreisläufen also rechnerisch nicht nötig; lediglich die Wärmeenergie wird benötigt.)
Bei Solvay-Verfahren verwendet man die deutlich preiswerteren Stoffe NaCl und $CaCO_3$, benötigt aber auch Koks. Insgesamt könnten also Preise verglichen werden….die Tatsache, dass ein Verfahren zur Produktion von NaOH darin besteht, Natriumcarbonat mit Kalkwasser reagieren zu lassen (Kaustifizierung von Soda), zeigt aber schon, dass Natriumhydroxid ein zu kostbarer Ausgangsstoff ist, um auf wirtschaftlich lohnende Art und Weise Soda herzustellen.

Andreas Böhm und 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.

5. Vertiefung (optional)

Zur Diskussion stellen: Wäre es nicht wirtschaftlicher, CO_2 aus der Verbrennung von Koks zu nutzen und auf das Kalkbrennen zu verzichten? Dann könnte man sich das Geld für den Kalk sparen…

Diskussion der Konsequenzen:

- ohne den Einsatz von Kalk entstünde keine Kalkmilch, mit der man Ammoniak wiedergewinnen könnte.
- Also müsste man anstelle des Kalks ständig Ammoniak nachkaufen. Damit stellt sich die Frage: Was ist leichter zu beschaffen: Kalk (liegt in der Natur so vor) oder NH_3 (muss synthetisiert werden)?
- Außerdem würde kein $CaCl_2$ anfallen; kann das anfallenden $CaCl_2$ noch verwertet werden? Im wasserfreien Zustand extrem hygroskopisch; hier wären verschiedene Einsatzgebiete denkbar, z.B. als Luftentfeuchter (Aber: ein Großteil gelangt ins Abwasser).

Andreas Böhm und 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.