

Elektrolyse von Wasser

TEIL 2



Wolfgang SCHATZ

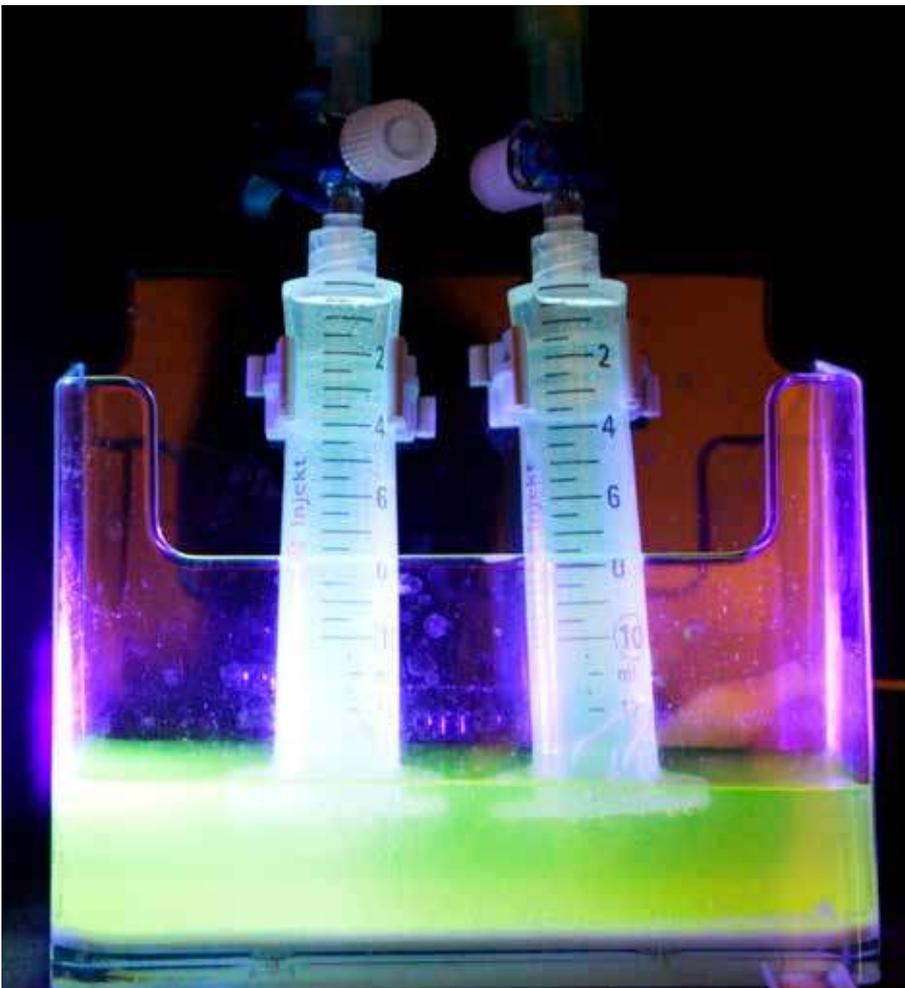
Was ist eine Gemeinsamkeit von Chemie und Leben? – „Geben und Nehmen“.

Im Leben erleben wir dies in der Wirtschaft beim Austausch von Waren, im Privaten beim Austausch von Geschenken. In der Chemie ist dieses Prinzip durch einen Teilchenaustausch gekenn-

zeichnet. Dieses Donator-Akzeptor-Konzept (lat.: *donare* = *spenden*, *accipere* = *aufnehmen*; einer gibt etwas her, der andere nimmt dies auf) ist ein Grundkonzept des Chemieunterrichts [7] und findet sich bei zwei Reaktionstypen: Säure-Base-Reaktion und Redoxreaktion. Bei der Säure-Base-Reaktion kommt es zum Protonentransfer zwischen den Reaktionspartnern. Bei der Redoxreaktion kommt es zum Elektronentransfer zwischen den Reaktionspartnern, unabhängig von der Anwesenheit von Sauerstoff. Die Durchführung von verschiedenen Redoxreaktionen in der beschriebenen Versuchsapparatur ermöglicht durch die getrennten Reaktionsräume eine gleichzeitige Visualisierung des Elektronenübergangs in beide Richtungen:

- An der KATODE:
Ein Stoff nimmt Elektronen AUF,
er wird also reduziert.
- An der ANODE:
Ein Stoff gibt Elektronen AB,
er wird also oxidiert.

Im 2. Teil des Artikels werden nun bekannte Beispiele von Redoxreaktionen beschrieben, durchgeführt im Wasserzer-setzer.



VERSUCH 6: Nachweis einer sauren und basischen Lösung bei der Elektrolyse von Wasser

MATERIAL UND CHEMIKALIEN:

Wasserersetzer mit 3-Wege-Hahn, Steckernetzteil 24V (oder 3 Blockbatterien 9V in Serienschaltung), 2 Kabel mit Krokodilklemmen, 10 mL-Spritze, Blaukrautlösung mit normalem Leitungswasser, Na₂CO₃-Lösung oder Natriumcarbonat (Na₂CO₃ x 12 H₂O)

HERSTELLUNG DER BLAUKRAUTLÖSUNG:

Siehe **Tippt 4** in der Onlineversion. Um einen pH-Wert von 7 einzustellen, der eine eindeutige Blaufärbung verursacht [8], ist es notwendig ein paar Tropfen einer Na₂CO₃-Lösung zur Blaukrautlösung zu geben. Optional kann auch eine kleine Spatelspitze Natriumcarbonat zugegeben werden.

DURCHFÜHRUNG 1:

Circa 100 mL der Blaukrautlösung werden in den Wasserersetzer eingefüllt. Die Blaukrautlösung wird mit der 10 mL-Spritze bis an die Spitze der 1. Spritze gezogen. Der Hahn wird in Schrägposition gestellt, dass der Durchfluss in alle Richtungen verschlossen ist. Ebenso wird bei der 2. Spritze verfahren. Der Wasserersetzer wird an die Spannungsquelle angeschlossen.

BEOBACHTUNG 1:

An der Katode beginnt sich die Lösung grün zu färben. Direkt am Draht der Anode ist eine schwache Violett färbung erkennbar. Vom Draht ausgehend lassen sich in weiterer Folge schwache violette Schlieren beobachten, die sich weiter ausbreiten. Die Gasentwicklung ist schwach erkennbar (Abb. 10).



Abbildung 10

DURCHFÜHRUNG 2: Umpolung

BEOBACHTUNG 2: Bei Umpolung verändern sich die Farben entsprechend (Abb. 11).

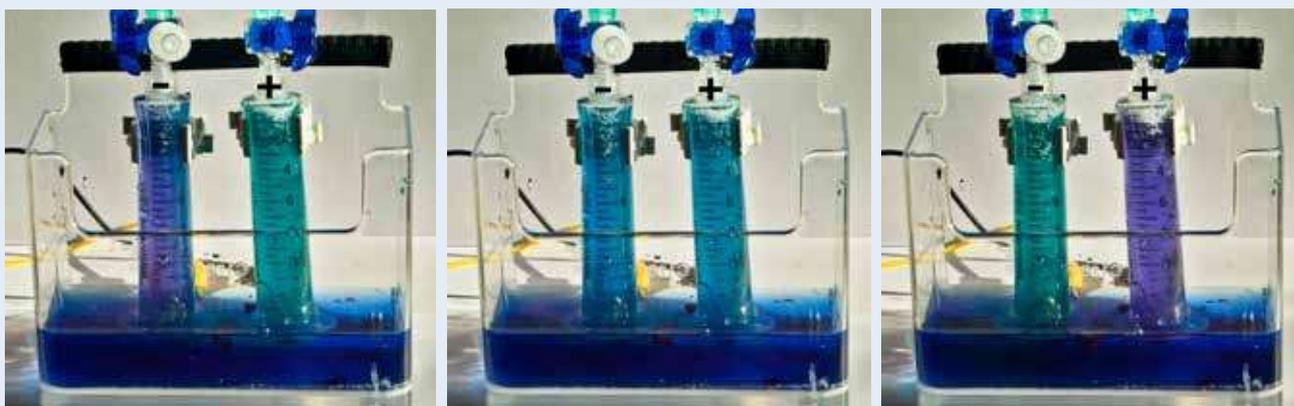
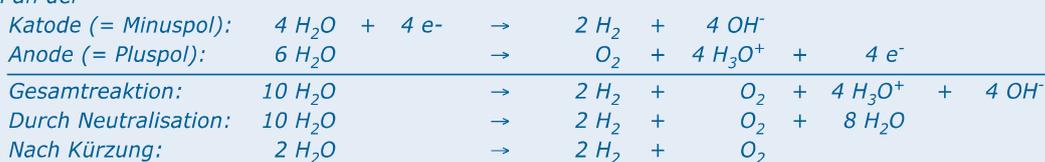


Abbildung 11

ERKLÄRUNG FÜR DURCHFÜHRUNG 1 UND 2: Ablauf der Elektrolyse von Wasser in neutraler Lösung [9].

Reaktion an der



Die Bildung der OH⁻ Ionen an der Katode ist für die Grünfärbung verantwortlich, die Bildung der H₃O⁺ Ionen an der Anode für die Violett färbung.

ZUSATZVERSUCH 2 in der Onlineversion.

VERSUCH 7: Redoxreaktion einer Iodlösung

ERFORDERLICHES VORWISSEN:

Iodlösung als Redoxindikator. Braune Iodlösung wird durch ein Reduktionsmittel entfärbt und durch ein Oxidationsmittel wieder gefärbt (**Zusatzversuch 3 und 4** in der Onlineversion).

MATERIAL UND CHEMIKALIEN:

Wasserersetzer mit 3-Wege-Hahn, Steckernetzteil 24 V (oder 3 Blockbatterien 9 V in Serienschaltung), 2 Kabel mit Krokodilklemmen, 10 ml Spritze, Iodlösung aus Betaisodona hergestellt (**Tipp 5** in der Onlineversion)

DURCHFÜHRUNG 1:

Ca. 100 mL der Iodlösung werden in den Wasserersetzer eingefüllt. Die Iodlösung wird bis an die Spitze der 1. Spritze aus der Kammer gesogen. Der Hahn wird in **Schrägposition** gestellt, **dass der Durchfluss in alle Richtungen** verschlossen ist. Ebenso wird bei der 2. Spritze verfahren. Der Wasserersetzer wird an die Spannungsquelle angeschlossen.

BEOBACHTUNG 1:

An der Katode (= Minuspol) entfärbt sich die Iodlösung (Abb. 12).



Abbildung 12

DURCHFÜHRUNG 2: Umpolung

BEOBACHTUNG 2: Die vorher entfärbte Iodlösung wird an der Anode (= Pluspol) wieder braun und an der Katode (= Minuspol) entfärbt sich die vorher braune Iodlösung (Abb. 13).



Abbildung 13

ERKLÄRUNG:

Reaktion an der

Katode: Iod nimmt von der Katode Elektronen auf, es wird reduziert zu farblosen Iodid Ionen.



Anode: Iodid Ionen geben an die Anode Elektronen ab, sie werden zu Iod Molekülen oxidiert.



VERSUCH 8: Redoxreaktion einer Indigocarminlösung

MATERIAL UND CHEMIKALIEN:

Wasserersetzer, Steckernetzteil 24 V oder 3 Blockbatterien 9 V, Kabel mit Krokodilklemmen, 10 mL Spritze, Indigocarminlösung (E 132, alternativ aus Ostereierfarbe), Natriumcarbonat ($\text{NaCO}_3 \times 10 \text{H}_2\text{O}$), Natriumdithionit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, z.B. aus Dr. Beckmanns Intensivfärbler, **Tipp 3** in der Onlineversion)

VORBEREITUNG:

In 100 ml Wasser werden ein paar Körner Indigocarmin gelöst. Die Lösung soll schön blau sein, aber nicht zu intensiv. Dann wird gerade so viel Natriumdithionit zugegeben und langsam eingerührt, bis die Lösung eindeutig gelb gefärbt ist. (Wird zu viel Natriumdithionit zugegeben, funktioniert der Versuch nur mehr sehr langsam oder gar nicht.) Um die Leitfähigkeit zu verbessern und den Versuch zu beschleunigen, kann noch eine Spatelspitze Natriumcarbonat zugegeben werden.

DURCHFÜHRUNG 1: Die vorbereitete Leukolösung wird in den Wasserersetzer gegeben und Spannung angelegt.

BEOBACHTUNG 1: Schnell färbt sich beim Pluspol (= Anode) die Lösung blau.

DURCHFÜHRUNG 2: Umpolung

BEOBACHTUNG 2: Bei Umpolung erfolgt auch in der 2. Spritze (nun Anode) eine Blaufärbung (Abb. 14).



Abbildung 14

DURCHFÜHRUNG 3: Die Elektrolyse der Lösung läuft noch ca. 10 Minuten weiter.

BEOBACHTUNG 3:

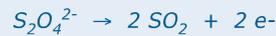
Langsam entfärbt sich die Lösung im Katodenraum. Überraschenderweise beginnt sich auch im Anodenraum, also dort wo Sauerstoff gebildet wird, die Lösung zu entfärben. (Abb. 15)



Abbildung 15

ERKLÄRUNG 1:

Durch Zugabe von Natriumdithionit färbt sich Indigocarmin von blau zu gelb. Das Dithionit Ion zerfällt unter Elektronenabgabe zu zwei Molekülen SO_2 .



Die zwei frei werdenden Elektronen reduzieren Indigo zum Leukoindigo [10] und [11]. Dabei entsteht eine gelbe Lösung.

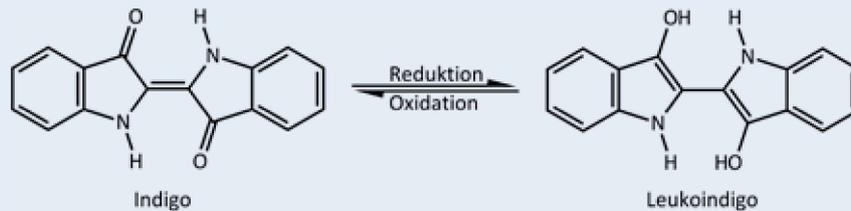


Abbildung 16 [12]

ERKLÄRUNG DURCHFÜHRUNG 1 UND 2:

Reaktion an der Anode: Leukoindigo gibt Elektronen an die Anode ab, es wird oxidiert.

**ERKLÄRUNG DURCHFÜHRUNG 3:**

Reaktion an der

Katode: Indigo nimmt von der Katode Elektronen auf, es wird zu Leukoindigo reduziert.



Anode: Bei der Elektrolyse von Wasser bildet sich bei der Anode ein saures Milieu (siehe Versuch 6) und dabei entstehen nicht nur Sauerstoffmoleküle O_2 , sondern auch Ozonmoleküle O_3 [13].



Das bei der Anode gebildete Ozon zerstört das Indigocarmin, indem das Molekül an der Doppelbindung gespalten wird. Es bildet sich das gelb-orange Isatin [14] und [15].

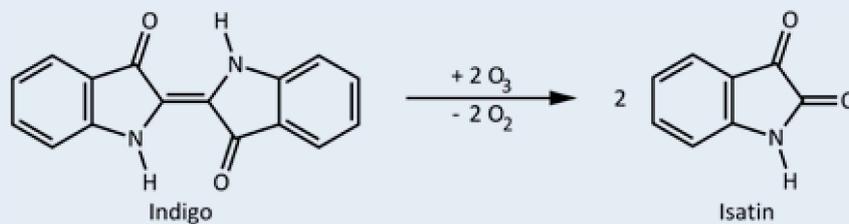


Abbildung 17

Im Versuch wird statt Indigo das leicht wasserlösliche Indigocarmin verwendet, das wie Indigo reagiert.



Abbildung 18

VERSUCH 9: Redoxreaktion von Riboflavin (= Vitamin B2)

MATERIAL:

Wasserzersetzer, Steckernetzteil 24 V oder 3 Blockbatterien 9 V, 10 mL Spritze, Riboflavin (enthalten in Multivitamin-tabletten, siehe **Tipp 6** in der Onlineversion), Natriumdithionit $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (siehe **Tipp 3** in der Onlineversion), UV-Lampe (Wellenlänge im Bereich von 360 bis 400 nm, siehe **Tipp 7** in der Onlineversion)

VORBEREITUNG:

In 100 mL Wasser wird ein kleines Stück der Multivitamin-tablette (1/16 der Tablette reicht vollkommen) gelöst. Bei Bestrahlung mit der UV-Lampe ist eine schöne gelbgrüne Fluoreszenz sichtbar (Abb. 19), die durch den Anteil von Riboflavin verursacht wird. Eine **kleine** Spatelspitze Natriumdithionit wird zugegeben und vorsichtig umgerührt. Es wird **gerade soviel** Natriumdithionit zugegeben, bis die Fluoreszenz eindeutig erlischt (Wird zu viel Natriumdithionit zugegeben, funktioniert der Versuch nur mehr sehr langsam oder gar nicht).



Abbildung 19

DURCHFÜHRUNG 1:

Die nun nicht leuchtende Lösung wird in den Wasserzersetzer gefüllt, dieser an die Spannungsquelle mit 24 V angeschlossen und die ganze Zeit mit der UV-Lampe bestrahlt.

BEOBACHTUNG 1:

An den Elektroden setzt die Gasentwicklung ein. Sehr rasch bilden sich an der Anode leuchtende Schlieren. Die Leuchterscheinung breitet sich im ganzen Anodenraum aus (Abb. 20).

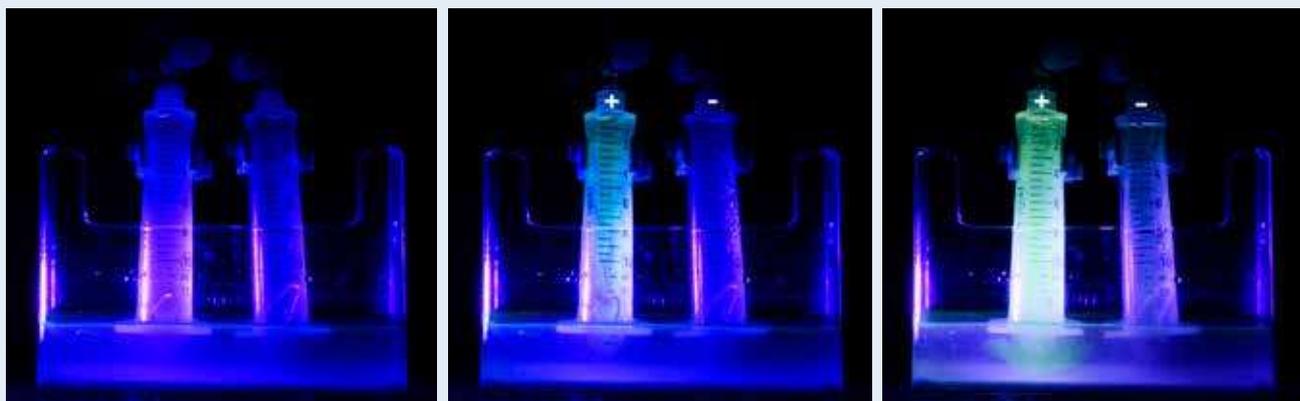


Abbildung 20

DURCHFÜHRUNG 2: Umpolung**BEOBACHTUNG 2:**

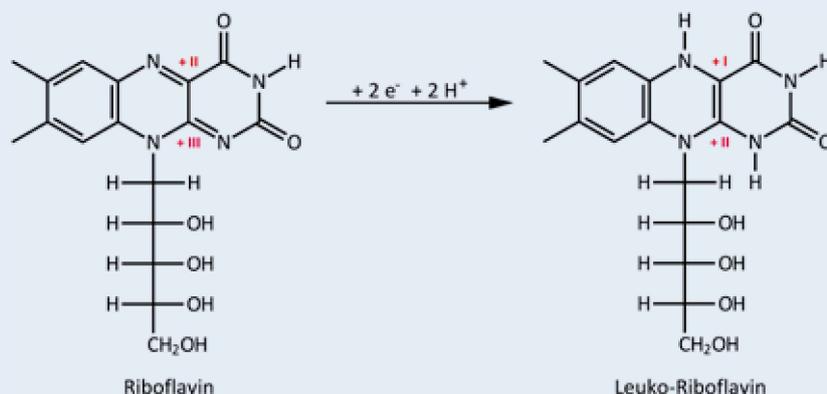
Bei Umpolung beginnt die Fluoreszenz in dem vorherigen Katodenraum, der nun als Anode gepolt ist. In weiterer Folge erlischt die Fluoreszenz im vorherigen Anodenraum, der nun als Katode gepolt ist (Abb. 21).



Abbildung 21

ERKLÄRUNG DES VERSUCHS DER VORBEREITUNG:

Riboflavin zeigt eine schöne gelb-grüne Fluoreszenz. Natriumdithionit reduziert Riboflavin durch Elektronenabgabe zur Leukoform, die Fluoreszenz erlischt [16].

**ERKLÄRUNG VON DURCHFÜHRUNG 1 UND 2:**

Reaktion an der Anode: Die Leukoform gibt die Elektronen an die Anode ab, sie wird oxidiert.



Die Reaktion ist bei Umpolung reversibel.

Reaktion an der Katode: Riboflavin nimmt von der Katode Elektronen auf und wird reduziert.

**Ausblick**

Wahrscheinlich können noch viele weitere Redoxreaktion in der beschriebenen Versuchsapparatur durchgeführt werden. Der Vorteil ist, dass die Schüler*innen immer mit der gleichen Apparatur arbeiten und so das Verständnis der Redoxreaktion gefestigt wird. Jede und jeder Interessierte ist ermuntert, andere Versuche selbst auszuprobieren. Um ein in Österreich hinlänglich bekanntes Zitat zu strapazieren: „Man wird sich noch wundern, was alles möglich ist!“ Aber vielleicht wird man auch feststellen, dass nicht alles möglich ist, z.B. ist mir die Oxidation von Luminol in der Apparatur nicht gelungen.

LITERATUR

- [7] „Chemie im Kontext“, Schulbuch 135368, Veritas-Verlag, 1. Auflage (2007), ISBN: 978-3-7058-7792-4
- [8] <https://www.seilnacht.com/Lexikon/Indikato.htm>, 17.12.2020
- [9] <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserelektrolyse>, 12.12.2020
- [10] <https://www.chemieunterricht.de/dc2/schwefel/s-indigo.htm>, 18.12.2020
- [11] <https://www.chf.de/eduthek/projektarbeiten/abb/blaufaerben-wolle/20.gif>, 18.12.2020
- [12] Alle in dem Artikel dargestellten Strukturformeln wurden von Dr. Helmut Wachtler, Universität Innsbruck, gezeichnet.
- [13] <https://www.chemieunterricht.de/dc2/ozon/ozonbild.htm>, 13.04.2020
- [14] <https://www.chemieunterricht.de/dc2/ozon/oz34.htm>, 13.04.2020
- [15] <https://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/971/ozon.pdf>, 13.04.2020
- [16] https://chids.online.uni-marburg.de/dachs/expvotr/701Vitamine_Schmidt_Ausarbeitung.pdf (Seite 12 - 17), 18.12.2020

HINWEISE

Die angeführten Tipps und Zusatzversuche finden sich bei:
<http://shop.vcoe.or.at/shop/de/vcoe-elektrolyseset.html>

Das VCÖ-Wasser-Elektrolyseset ist erhältlich im VCÖ-Shop chemieshop.at

Mag. Wolfgang Schatz
wolfgang.schatz@hotmail.com
 6923 Lauterach

INGEREICHT AM: 22.4.2020
 ANGENOMMEN AM: 16.6.2020

