

Rosenberg, Dominique; Rehling, Alexander; Ernst, Dorothee; Busker, Maike; Jansen, Walter
**Organische Batterien mit Phloroglucin und Vanillin. Schulexperimente zur
Demonstration von Redox-Flow-Batteries**

formal überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:

formally revised edition of the original source in:

Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule : PdN 66 (2017) 2, S. 9-13



Bitte verwenden Sie in der Quellenangabe folgende URN oder DOI /

Please use the following URN or DOI for reference:

urn:nbn:de:0111-pedocs-173947

10.25656/01:17394

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-173947>

<https://doi.org/10.25656/01:17394>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Organische Batterien mit Phloroglucin und Vanillin

Schullexperimente zur Demonstration von Redox-Flow-Batteries

D. Rosenberg, A. Rehling, D. Ernst, M. Busker, W. Jansen

Wiederaufladbare, organische Batterien enthalten als elektrochemisch wirksame Substanzen häufig Polyphenole, die zu Chinonen oxidiert werden können. Bei den Naturstoffen Phloroglucin und Vanillin ist dies nicht möglich und dennoch können sie in elektrochemische Zellen erfolgreich eingesetzt werden.

Stichwörter: Phloroglucin, Vanillin, Redox-Flow-Batteries, Energiewende

Einleitung

In mehreren vorangegangenen Arbeiten haben wir über organische Flow-Batteries und ihre Bedeutung für die Speicherung elektrischer Energie berichtet [1, 2, 3]. In [3] haben wir gezeigt, dass neben den bereits von Aziz et al. [4, 5] und Narayanan et al. [6] genutzten Systemen mit Benzochinon und Anthrahydrochinondisulfonsäure auch Gallussäure und Pyrogallol geeignete elektrochemische Systeme für den Einsatz in Flow-Batteries sind. Dabei werden diese Substanzen auf der Anodenseite zu den entsprechenden Chinonen oxidiert. Beim Phloroglucin ist auf Grund seiner Struktur eine Oxidation zu einem Chinon nicht möglich. Es wurde demnach erwartet, dass diese Substanz elektrochemisch nicht wirksam ist. Auch beim Vanillin ist eine Oxidation zum Chinon nicht denkbar. Allerdings ist anzunehmen, dass diese Substanz zu Vanillinsäure oxidiert werden kann. Es ist zwar sehr unwahrscheinlich, dass Vanillin in Flow-Batteries eingesetzt wird, dennoch ist es aufgrund des Alltagsbezugs reizvoll zu untersuchen, ob grundsätzlich der wohl bekannteste Aromastoff in Batteriesystemen eingesetzt werden kann.

In diesem Artikel sollen somit Versuche für Redox-Flow-Batteries unter anderem mit den Substanzen Vanillin und Phloroglucin dargestellt werden. Im weiteren Verlauf werden noch weitere, zu dem Vanillin ähnliche Stoffe für einen Einsatz in solchen Batteriesystemen aufgezeigt.

Phloroglucin

Das mit Pyrogallol isomere Phloroglucin ist als Naturstoff in einer Reihe von Pflanzen enthalten, reichlich z. B. in Eukalyptus-Bäumen und in einer Reihe von Akazienarten. Daneben finden sich Derivate in Hopfen und im Johanniskraut. Der Name Phloroglucin deutet auf den süßen Geschmack dieser Substanz hin (*griech. glukos = süß*) und es wird daher als Ausgangsverbindung für natürliche Süßstoffe verwendet. Beim Phloroglucin wird eine Keto-Enol-Tautomerie zwischen dem Triphenol und einem Keton beobachtet, wobei das Gleichgewicht weit auf der Seite der phenolischen Form liegt (Abb.1). Da sich Phloroglucin durch die Stellung seiner Hydroxygruppen nicht zu einem Chinon oxidieren lässt, war eine Eignung dieser

Substanz für organische Batterien eigentlich auszuschließen. Jedoch zeigten die experimentellen Versuche ein überraschendes Ergebnis.

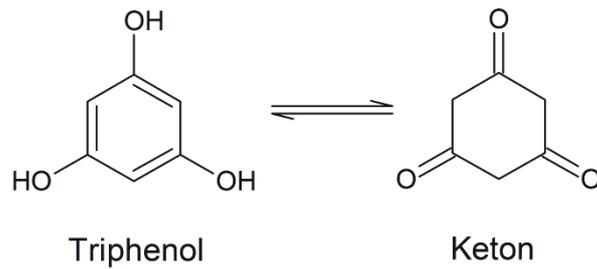


Abbildung 1: Keto-Enol-Tautomerie von Phloroglucin

In [1,2] haben wir insbesondere den Versuchsaufbau sowie die verwendeten Materialien von Demonstrationsexperimenten zu Flow-Batteries beschrieben. Daher seien an dieser Stelle nur noch einmal die Bezugsquellen (Tab. 1) aufgeführt und im Folgenden der Versuchsaufbau grafisch als Abbildung (Abb. 2) gezeigt.

Tabelle 1: Bezugsquellen der verwendeten Materialien

	Händler	Artikelnr.	Maße	Preis
Siebhülsen	Baumarkt	----	Ø = 16 mm, L = 5 mm	4 Stk für 2,65 €
Graphitstab- elektrode oder Bleistiftmine	www.eydam.de Faber-Castell	139098010 TK 9071	100 x 8 mm Ø = 65 mm	2,80 € pro Stk 6,00€ für 10 Stk
Graphitfolie	www.conrad.de	189 060	190 x 190 x 0,2 mm	5,99 € pro Stk
Hand- Multimeter, digital	www.conrad.de	1090519-62		19,99 € pro Stk
Terrakotta- Blumentopf	Baumarkt	----	Ø = 65 mm, H = 80 mm	0,79 € pro Stk
Leistungs- starker Motor	www.heliocentris.com (nur auf Anfrage)	H60-0047		25,00 € pro Stk.
Leistungs- schwacher Motor (Anlaufspan- nung 0,2 V)	www.lemo-solar.de	SMM502		47,90 € pro Stk.
Becherglas, breit	www.carlroth.com	C116.1	600 ml	10 Stk für 66,40 €

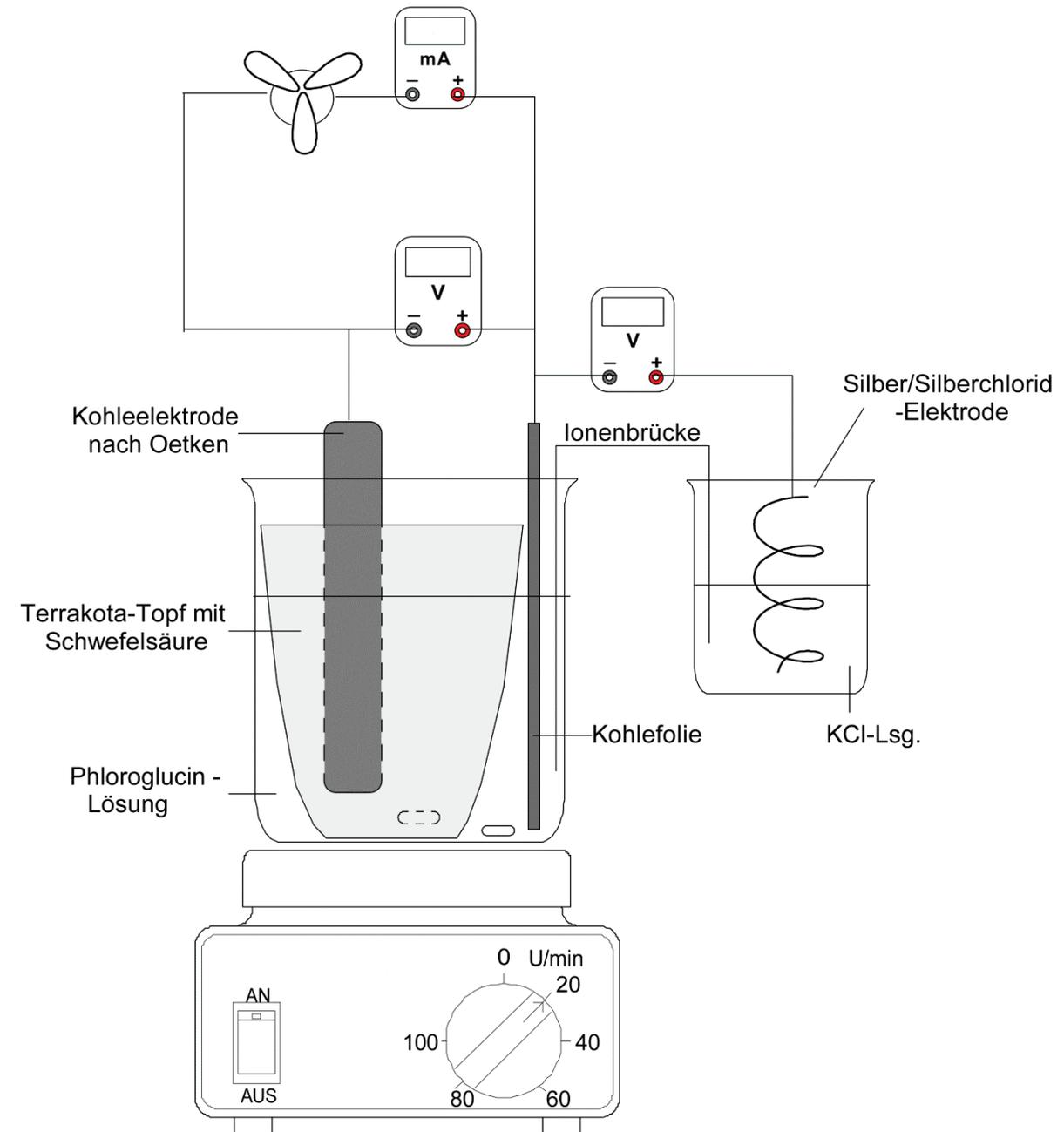


Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Phloroglucin-Sauerstoff-Zelle

Versuch 1: Batterie mit Phloroglucin in alkalischer Lösung

Geräte: Becherglas 600 mL breit, Blumentopf aus Terrakotta (Tontopf) - unten mit einem passenden Gummistopfen verschlossen, leistungsstarker Elektromotor von Heliocentris, 3 Multimeter, Kabelmaterial, Krokodilklemmen, Kohlefolie ca. 5 cm x 3 cm, neuartige Kohleelektrode nach Oetken, Silber/Silberchlorid-Elektrode, Stative und Stativmaterial, ggf. Magnetrührer mit Rührkernen

Chemikalien: Phloroglucin (z.B. Sigma-Aldrich 25g/ 35,80 €), Natronlauge $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol/L}$, Schwefelsäure $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol/L}$, Natriumperoxodisulfat

Versuchsdurchführung

Die Versuchsanordnung wird wie in Abb. 2 aufgebaut. In das Becherglas wird eine Lösung von 5 g Phloroglucin in 150 mL Natronlauge gegeben. Die Lösung ist dunkel violett gefärbt. In den Tontopf gibt man 100 mL der Schwefelsäure und fügt noch 5 g Natriumperoxodisulfat hinzu. Dann wird die Kohleelektrode nach Oetken in den Tontopf gestellt. Die Spannung zwischen den Elektroden wird mit einem Voltmeter gemessen. Zur Messung der Elektrodenpotentiale wird die Silber/Silberchlorid-Elektrode wie in der Abb. 2 installiert. Über ein Multimeter lässt sich sowohl das Potential der Kohlefolie in der Phloroglucin-Lösung als auch das Potential der neuartigen Kohleelektrode nach Oetken messen. Da diese Kohleelektrode eine Sauerstoffverzehrkathode ist, ist ein Zusatz von Natriumperoxodisulfat nicht notwendig. Da dieses aber in wässriger Lösung in Sauerstoff, Wasserstoffperoxid und Natriumsulfat zerfällt, ist die Wirksamkeit der Elektrode durch die Zugabe deutlich erhöht. Obwohl Natriumperoxodisulfat ein tabelliertes Oxidationspotential von +2,123 V besitzt, wird es als solches offensichtlich nicht an der Elektrode umgesetzt. Elektrochemisch wirksam sind allein die Zerfallsprodukte. Allerdings konnten Dierks und Vennemann zeigen, dass sich chemisch das hohe Oxidationspotential auswirkt, da Silber(I)-Verbindungen zu Silber(III)-verbindungen oxidiert werden konnten [7]. Im Versuch werden zunächst die Ruhespannung und die Ruhepotentiale gemessen. Anschließend werden der leistungsstarke Elektromotor und ein Strommesser in den Stromkreis geschaltet und für eine gewisse Zeit Spannung, Elektrodenpotentiale und Stromstärke gemessen.

Beobachtung und Auswertung:

In unserem Versuch betrug die Ruhespannung nach etwa 10 Minuten 1,15 V, das Potential der Phloroglucin-Kohleelektrode betrug $-0,02$ V und das Potential der Kohleelektrode nach Oetken $+1,13$ V. Nach Einschalten des Elektromotors und des Amperemeters in den Stromkreis zeigte sich, dass sich der Propeller des Elektromotors bei zunächst mehr als 20 mA Stromentnahme sehr schnell drehte. Innerhalb von 40 Minuten sank die Stromstärke leicht auf etwa 17 mA ab. Das Potential der Sauerstoff/Kohleelektrode fiel nur leicht ab, während sich das Potential der Phloroglucin/Kohleelektrode von etwa $+0,34$ V zu Beginn der Belastung nach 40 Minuten auf $+0,45$ V erhöhte (Abb. 3). Die Lösung verfärbte sich während der Belastungszeit deutlich sichtbar von dunkel violett nach dunkelbraun.

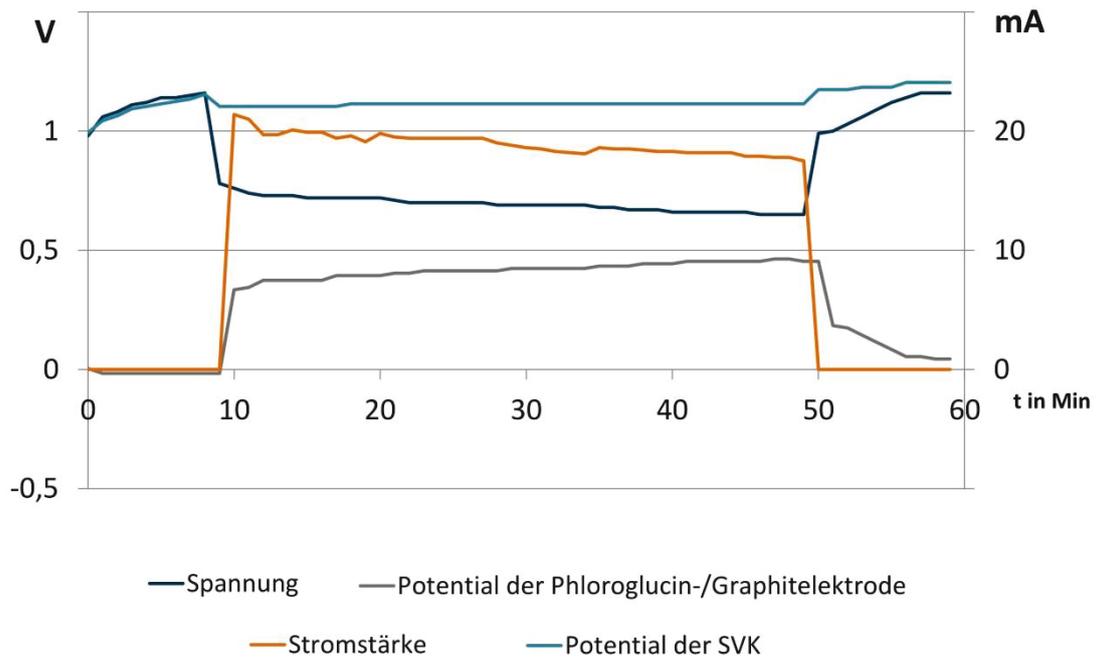


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und den Potentialen der Phloroglucin-Sauerstoff-Zelle mit Natriumperoxodisulfat und einem leistungsstarken Motor

Das Überraschende ist, dass Phloroglucin offensichtlich gut oxidiert werden kann, wobei eine Oxidation zu einem Chinon nicht möglich ist. Nun haben Stein und Tendeloo bereits in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gezeigt, dass Phloroglucin durch Eisen(III)-Verbindungen ohne Weiteres oxidiert werden kann [8]. Dabei werden Radikale gebildet, die im weiteren Verlauf der Reaktion dimerisieren. Diese Verbindungen lassen sich wieder zu Radikalen oxidieren, so dass eine weitere Polymerisierung erfolgt. Die Abb. 4 zeigt ein mögliches Reaktionsschema.

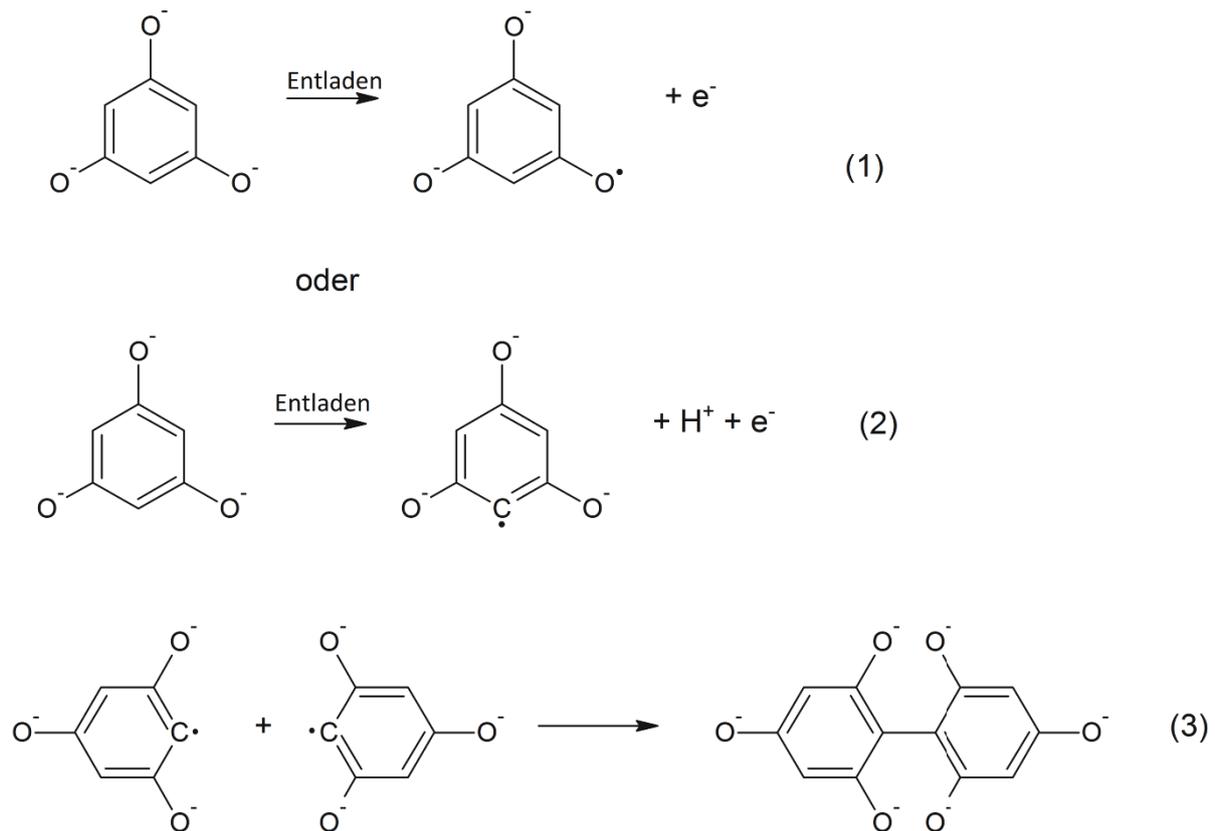


Abbildung 4: Oxidation von Phloroglucin durch Radikalbildung (1 und 2) und die anschließende Polymerisierung der dimerisierten Radikale (3)

Versuche, eine Phloroglucin-Batterie nach vollständiger Entladung wieder aufzuladen, blieben erfolglos. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass die Dimerisierung und Polymerisierung der Radikale nicht mehr elektrochemisch rückgängig gemacht werden

Vanillin

Vanillin (Abb. 5) ist einer der bedeutendsten Aromastoffe. Es kann aus den Früchten der Orchideenart *vanilla planifolia* gewonnen werden, die ursprünglich in Mittelamerika beheimatet ist. Die Azteken verfeinerten den Geschmack des Kakaos mit Vanillearoma. Mit der Eroberung Mittelamerikas durch die Spanier im 16. Jahrhundert kam neben Kakao und Kaffee auch das Vanillearoma nach Europa. Allerdings gelang es zunächst auch in klimatisch geeigneten Gebieten nicht, die Vanille-Pflanze zu vermehren, da eine für die Bestäubung der Blüten in Mexiko heimische Bienenart fehlte. Auf der französischen Insel La Reunion hatte ein Sklavenjunge mit der Fruchtbildung Erfolg. Er drückte die Staubgefäße auf die Narbe der Blüte. Die noch grünen Vanilleschoten werden einem Trocknungs- und Fermentierungsprozess unterworfen. Man erhält auf diese Weise jährlich etwa 2000 t schwarz-brauner Vanilleschoten. Der Gehalt an Vanillin beträgt zwischen 1 % und 3 %. Das bedeutet, dass man auf diese Weise nur ca. 40 t im Jahr erhalten kann. Der heutige Bedarf von 12000 t im Jahr für die Lebensmittel- und Parfüm-Industrie lässt sich damit nicht im Entferntesten decken [9].

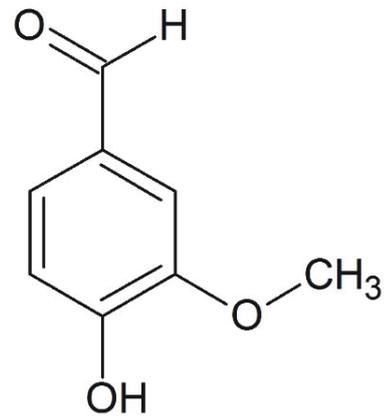


Abbildung 5: Vanillin in Pulverform und die Konstitutionsformel

Jedoch konnten die deutschen Chemiker Wilhelm Haarmann und Ferdinand Thiemann bereits 1872 die Struktur des Vanillin-Moleküls aufklären, nachdem bereits Carles die Summenformel der Verbindung ermittelt hatte. Haarmann und Thiemann konnten das Vanillin zur bereits bekannten Protocatechusäure und zum Brenzcatechin abbauen (Abb. 6). Später gelang es ihnen, Vanillin aus dem Coniferin von Fichtenrinden und dann aus Iso-Eugenol zu synthetisieren. Heute wird Vanillin aus den Lignin-Rückständen der Papierherstellung aus Holz und aus bestimmten Restsubstanzen der Petrochemie gewonnen [10]. Sommer et al. haben eine interessante Unterrichtseinheit rund um das Vanillin entwickelt, in der beispielsweise Vanillin als Unterrichtsversuch synthetisiert oder per Dünnschichtchromatographie nachgewiesen werden kann [9].

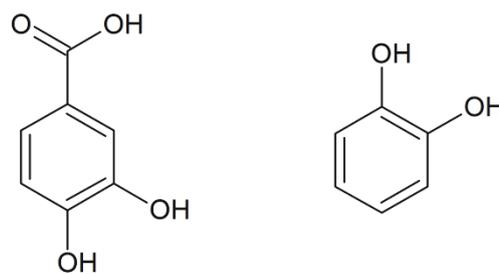


Abbildung 6: Die Konstitutionsformeln von Protocatechusäure (links) und Brenzcatechin (rechts)

Im Folgenden wird zunächst Protocatechusäure auf eine Eignung als Elektrodensubstanz für organische Flow-Batteries untersucht, da sich vermuten lässt, dass es aufgrund der beiden ortho-ständigen Hydroxygruppen elektrochemisch gut zu einem Chinon oxidiert werden kann. Daran anschließend erfolgt die experimentelle Untersuchung von Vanillin als elektrochemisch wirksame Substanz in Flow-Batteries.

Versuch 2: Batterie mit Protocatechusäure

Geräte: wie in Versuch 1

Chemikalien: wie in Versuch 1, Protocatechusäure (z.B. Sigma-Aldrich 25g/ 46,00 €)

Versuchsdurchführung:

Protocatechusäure löst sich gut in Natronlauge, wobei sich eine gelb gefärbte Lösung bildet. Die Löslichkeiten in Wasser und Schwefelsäure sind deutlich schlechter. Für Batteriezwecke ist, wie orientierende Versuche zeigten, nur die Lösung in Natronlauge geeignet. Für den folgenden Versuch werden daher 3 g Protocatechusäure in 150 ml Natronlauge gelöst, die Lösung in das Becherglas gegeben und eine Kohlefolie eingehängt. In den Tontopf werden 100 mL Schwefelsäure gefüllt, 5 g Natriumperoxodisulfat hinzugefügt und die Kohleelektrode nach Oetken hineingestellt, in der sich der Luftsauerstoff umsetzen soll. Die Spannung der Zelle kann über ein Voltmeter gemessen werden. Zur Messung der Elektrodenpotentiale kann eine externe Silber/Silberchlorid-Elektrode installiert werden. Es werden zunächst Ruheklemmenspannung und Ruhepotentiale gemessen, bevor ein Elektromotor mit einem Strommesser in den Stromkreis geschaltet und für einige Zeit Spannung, Stromstärke und Potentiale gemessen werden.

Beobachtung und Auswertung:

In unseren Versuchen betrug die Ruheklemmenspannung 1,123 V und das Ruhepotential der Protocatechusäure-/Graphitelektrode lag bei -0,036 V. Bei Belastung durch den Motor, der im Mittel 15 mA aufnahm, fiel die Spannung auf 0,86 V ab und verringerte sich im Laufe von 30 Minuten auf 0,665 V. Das Potential der Protocatechusäure-/Graphitelektrode betrug zu Beginn der Belastung +0,054 V und stieg auf +0,084 V an. Die Lösung nahm eine bräunliche Farbe an.

In Abb. 7 ist der Verlauf einer Messung dargestellt. Die Reaktionen an den Elektroden sind aus Abb. 8 ersichtlich.

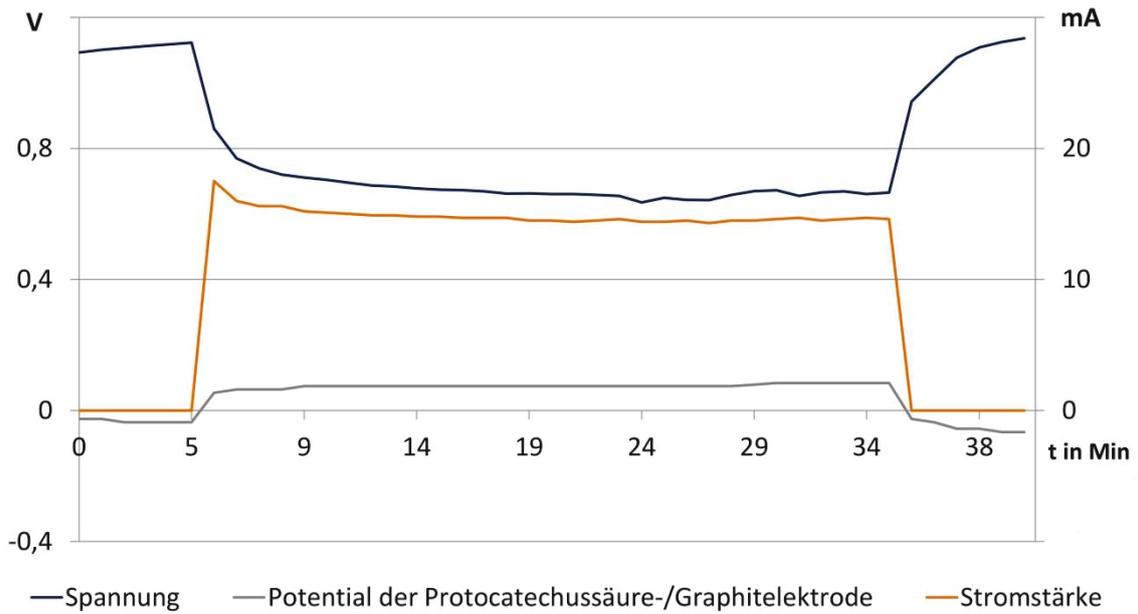
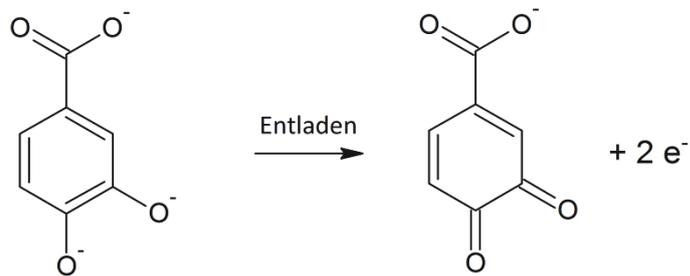
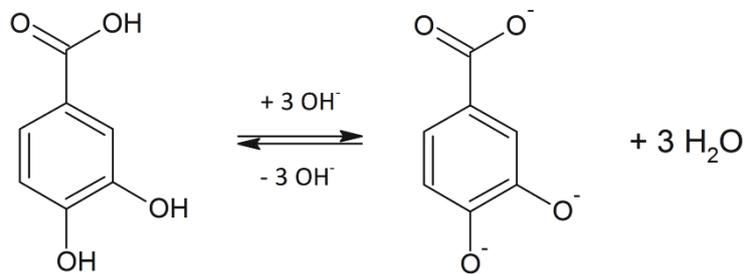


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potential der Protocatechussäure-Sauerstoff-Zelle mit Natriumperoxodisulfat und einem leistungsstarken Motor

Minuspol



Pluspol



Abbildung 8: Reaktionen der Protocatechussäure-Sauerstoff-Zelle

Vanillin kann nicht wie die Protocatechusäure zu einem Chinon oxidiert werden. Ein interessanter Oxidationsweg wäre allerdings die Oxidation zu Vanillinsäure. Bei der Strukturaufklärung konnte aus Vanillin in Kaliumhydroxid durch Oxidation mit dem Luftsauerstoff die Protocatechusäure bzw. ihr Kaliumsalz gewonnen werden. Die elektrochemische Oxidation von Vanillin zur Vanillinsäure soll im nächsten Experiment versucht werden. Bei erfolgreicher Durchführung wäre hierbei gezeigt, dass beim Übergang eines Aldehyds zu einer Säure eine Elektronenübertragung erfolgt, also eine Redoxreaktion vorliegt.

Versuch 3: Die Vanillin-Batterie

Geräte: wie in den vorausgegangenen Versuchen, leistungsschwacher Elektromotor von LemoSolar

Chemikalien: Vanillin (z.B. Carl Roth 100g/ 14,50 €), Natronlauge $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol/L}$, Schwefelsäure $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol/L}$, Natriumperoxodisulfat

Versuchsdurchführung:

Vanillin, das sich in Wasser nur schlecht löst, löst sich in Natronlauge unter Gelbfärbung der Lösung. Es werden 3 g Vanillin in 150 mL Natronlauge gelöst und die Lösung in das Becherglas gegeben. In den Tontopf füllt man 100 mL Schwefelsäure ein, gibt noch 5 g Natriumperoxodisulfat hinzu und stellt die Kohleelektrode nach Oetken hinein. In das Becherglas hängt man eine Kohlefolie ein. Zur Messung der Zellspannung, der Potentiale in Ruhe und später unter Belastung wird die Apparatur wie in Abb. 2 aufgebaut.

Beobachtung und Auswertung:

In unseren Versuchen betrug die Ruheklemmenspannung etwa 1,096 V, das Ruhepotential der Vanillin-/Graphitelektrode etwa +0,014 V. Anschließend wurden der leistungsschwache Motor und ein Strommesser in den Stromkreis geschaltet und eine Stunde lang betrieben. Die Versuchsergebnisse sind aus Abb. 9 ersichtlich. Sie zeigen, dass die Spannung nur leicht abfiel und relativ konstant blieb. Desgleichen stieg das Potential der Vanillin-/Graphitelektrode von +0,064 V unter Belastung auf +0,404 V.

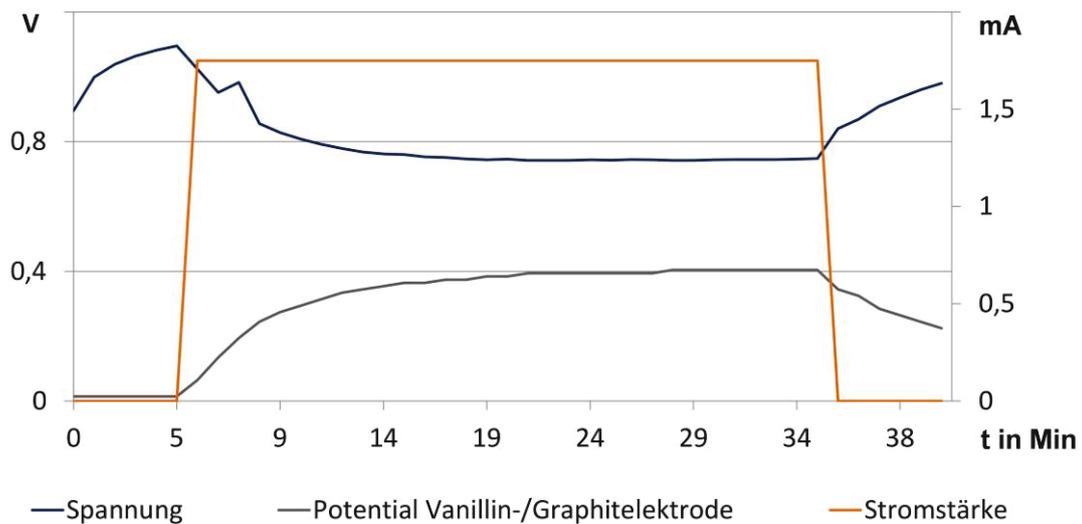


Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potential der Vanillin-Sauerstoff-Zelle mit Natriumperoxodisulfat und einem leistungsschwachen Motor

In einem weiteren Versuch wurde die Kohlelektrode nach Oetken ohne Zusatz von Natriumperoxodisulfat eingesetzt und ein leistungsstarker Motor als Verbraucher verwendet. Sie zeigen einen stärkeren Spannungsabfall während der Belastungsphase und eine langsame Erhöhung des Potentials der Vanillin-/Graphitelektrode. Unter Zusatz von Natriumperoxodisulfat konnte eine Verbesserung der Spannung erzielt werden. Bei Rührung mit einem Magnetrührer konnte die Zelle unter Belastung von durchschnittlich 15 mA eine Stunde lang betrieben werden.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass Vanillin in einer elektrochemischen Zelle erfolgreich zu Vanillinsäure oxidiert werden kann. Das Reaktionsschema ist aus Abb. 10 ersichtlich.

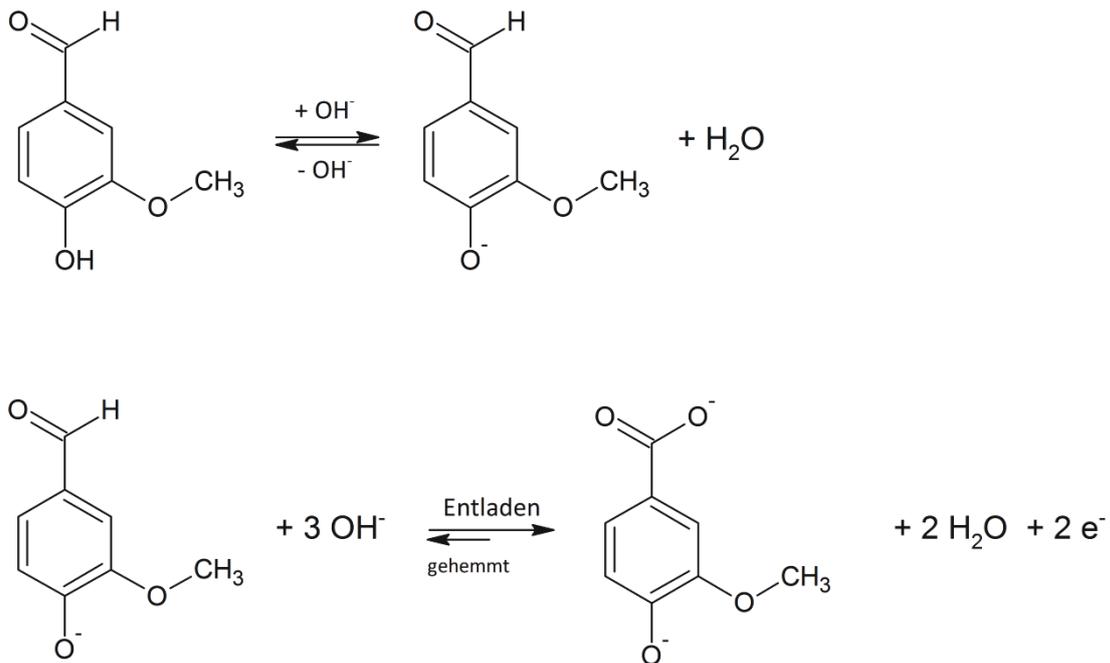


Abbildung 10: Reaktion der Vanillin-Sauerstoff-Zelle am Minuspol

In einem weiteren Versuch sollte nun untersucht werden, ob die Vanillinsäure wieder zu Vanillin reduziert werden kann. Dazu wurden 3 g Vanillinsäure in 150 mL Natronlauge gelöst. In diese Lösung wurde eine Kohlefolie eingehängt. In den Tontopf wird eine Zinksulfat-Lösung eingefüllt und eine Zinkelektrode hineingestellt. Zink sollte zu Zinkionen oxidiert werden, während die Vanillinsäure zu Vanillin reduziert werden sollte. Die Ruheklemmenspannung betrug 0,8 V. Bei Belastung mit einem leistungsschwachen Motor, der einen Strom von etwa 2 mA aufnimmt, fiel die Spannung von 0,65 V innerhalb von einer Stunde auf 0,1 V ab. Diese Ergebnisse zeigen, dass offensichtlich eine kinetisch gehemmte Reaktion die Reduktion der Vanillinsäure zu Vanillin bestimmt. Das wird auch die Resultate der Cyclovoltammetrie bestätigt.

Eine weitere Oxidation der Vanillinsäure scheint zunächst nicht möglich zu sein. Dennoch unternahmen wir einen Versuch, in dem die Vanillinsäure als Anodensubstanz dienen sollte.

Versuch 4: Die Vanillinsäure-Batterie

Geräte: wie in Versuch 3

Chemikalien: wie in Versuch 3, zusätzlich Vanillinsäure (z.B. Sigma Aldrich 25 g/ 30,10€)

Versuchsdurchführung:

3 g Vanillinsäure werden in Natronlauge gelöst und diese Lösung in das Becherglas gegossen. In diese Lösung hängt man die Kohlefolie ein. In den Tontopf werden

Schwefelsäure mit 5 g Natriumperoxodisulfat gefüllt und die Sauerstoffverzehrkathode nach Oetken hineingestellt. Man verfährt nun, wie in den anderen Versuchen bereits beschrieben.

Beobachtung und Auswertung

In unseren Versuchen betrug die Ruheklemmenspannung etwa 1,207 V und das Potential der Vanillinsäure-/Graphitelektrode +0,034V.

Überraschenderweise konnte man nun 30 Minuten lang den leistungsschwachen Motor bei einer Stromaufnahme von etwa 1,75 mA betreiben. Dabei fiel die Spannung auf etwa 0,884 V ab und das Potential der Vanillinsäure-/Graphitelektrode stieg auf +0,304 V an. Die Versuchsergebnisse sind in Abb. 11 dargestellt. Auch ein leistungsstärkerer Motor mit einer Stromaufnahme von etwa 12 mA ließ sich mit dem diesem Versuchsaufbau betreiben.

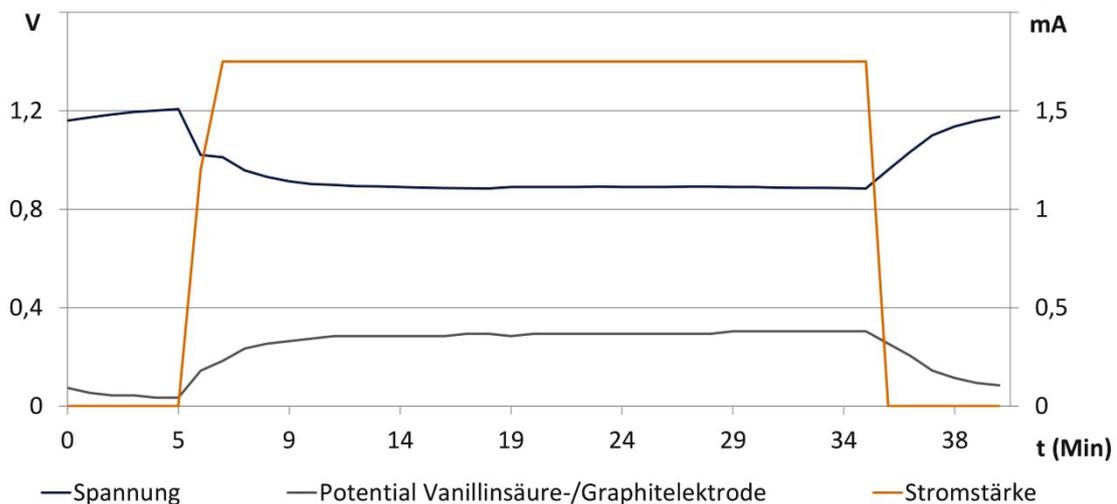


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potential der Vanillinsäure-Sauerstoff-Zelle mit Natriumperoxodisulfat und einem leistungsschwachen Motor

Zunächst ist kaum ersichtlich, wie eine Oxidation der Vanillinsäure erfolgen soll. Plausibel erscheint jedoch, eine Oxidation zu einem Radikal und eine anschließende Dimerisierungsreaktion wie beim Phloroglucin ins Auge zu fassen (Abb. 12).

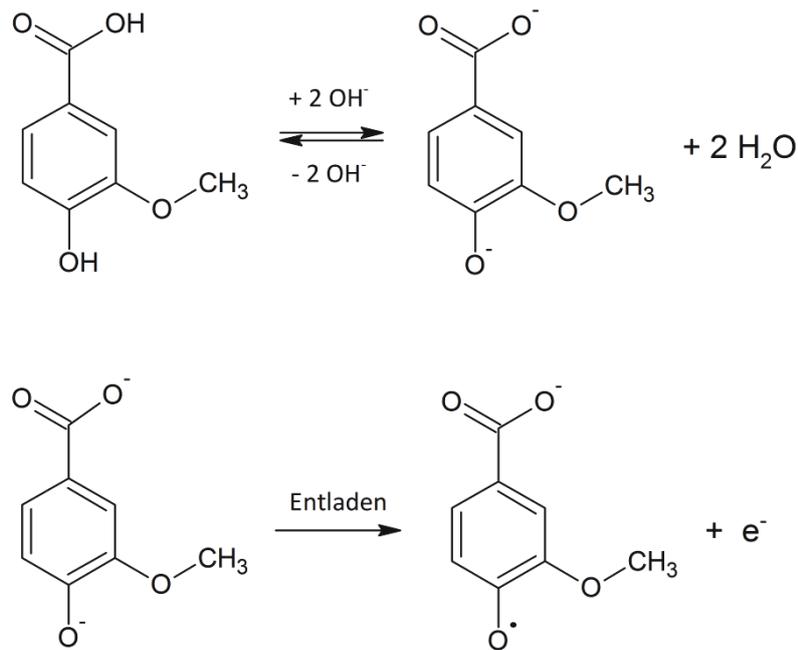


Abbildung 12: Reaktion der Vanillinsäure-Sauerstoff-Zelle am Minuspol

Ausblick

In diesem Beitrag konnte unter anderem gezeigt werden, dass sich auch Substanzen für die experimentelle Demonstration von Flow-Batteries eignen, die keine Chinone bei den Redoxreaktionen ausbilden, jedoch einen tollen Alltagsbezug aufweisen. Redoxreaktionen in der organischen Chemie sind nicht selten. Unser Ziel ist es solche aufzuspüren, die den Elektronentransfer in einer elektrochemischen Zelle sichtbar machen. Daneben möchten wir interessante Stoffklassen, wie die Anthocyan-Farbstoffe z. B. aus Früchten und Säften zur Reaktion bringen. Des Weiteren ist es uns ein Anliegen, organische Batteriesysteme zu entwickeln, die wiederaufladbar sind und deshalb zur Speicherung elektrischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen dienen können.

Literatur

- [1] D. Rosenberg, M. Behnisch, S. Pansegrau, M. Busker, W. Jansen, Speicherung elektrischer Energie mit neuartigen, organischen Batterien, PdN-ChiS 4/65, Seite 36-42, (2016)
- [2] D. Rosenberg, M. Wachholz, M. Busker, W. Jansen, Organische Batterien mit Alizarin, PdN-ChiS 3/65, Seite 14-19 (2016)
- [3] D. Rosenberg, A. Rehling, M. Busker, W. Jansen, Organische Batterien mit Gallussäure, Pyrogallol und grünem Tee, PdN-ChiS 6/65, Seite 22-28, (2016)

[4] B. Huskinson, S. Nawar, M. R. Gerhardt, M. Aziz, Novel Quinone-Based Couples for Flow-Batteries. ECS Transactions 57 (7), 101-105 (2013)

[5] B. Huskinson, M. P. Marshak, S. Changwon, E. Süleyman, M. R. Gerhardt, C. J. Galvin, X. Chen, A. Aspuru-Guzik, R. G. Gordon, M. Aziz, A metal-free organic – inorganic aqueous flow-battery. Nature Vol. 505, 195-198 (2014)

[6] B. Yang, L. Hooper-Burkhardt, F. Wang, G. K. S. Prakash, S. R. Narayanan, An Inexpensive Aqueous Flow Battery for Large-Scale Electrical Energy Storage Based on Water-Soluble Organic Redox Couples. ESC 161(p), A1371-A1380 (2014)

[7] W. Dierks, H. Vennemann, Mit Peroxodisulfat zu extremen Potentialdifferenzen – eine 5 V Monozelle, ChemKon 4, 197-198 (2004)

[8] H. H. Stein, H. J. C. Tendeloo, On the kinetics of the oxidation of phloroglucinol, Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas 74 (7), 905-918 (1955)

[9] K. Sommer, S. Andreß, A. Kakoschke, R. Wiczorek, S. Hanisch, J. Hanss, Vanillezucker oder Vanillinzucker?, ChemKon 16 (1), 19-30 (2009)

[10] W. Hasenpusch, Triumph der chemischen Synthese, Chemie in Labor und Biotechnik, 57 (12), 458-465 (2006)