

Protokoll 11

*Versuch zur Bestimmung der Stromausbeute und Stoffausbeute in
Abhängigkeit von der Elektrolytkonzentration bei einer Laufzeit von 60 min*

Paula Kaltwasser, Albert-V. Meyer, Joshua Schraud

Mittwoch, den 30.04.2025

12. Klasse – Spezialschulteil am ASG Erfurt

Hypothese

Es ist zu vermuten, dass eine höhere Konzentration von Natriumcaprylat in gewissem Maße zu einer höheren Stoffmenge an Produkt führt, da durch die größere Zahl der gelösten Ionen ein effizienterer Stromfluss gewährleistet werden kann. Zudem könnte bei geringeren Konzentrationen eine Knappheit von Caprylat-Ionen an der Anode die Reaktionsgeschwindigkeit verlangsamen, was zu einer geringeren Stoffmenge an Produkt bei geringen Konzentrationen führen könnte. Da das Volumen jedoch konstant gehalten wird und somit bei höheren Konzentrationen auch eine größere Stoffmenge an Natriumcaprylat elektrolysiert wird, ist bei höheren Konzentrationen die maximal erreichbare Stoffmenge an Produkt größer. Da die Ausbeute das Verhältnis aus erreichter und maximal erreichbarer Stoffmenge an Produkt darstellt, wird die Ausbeute vermutlich mit zunehmender Konzentration sinken.

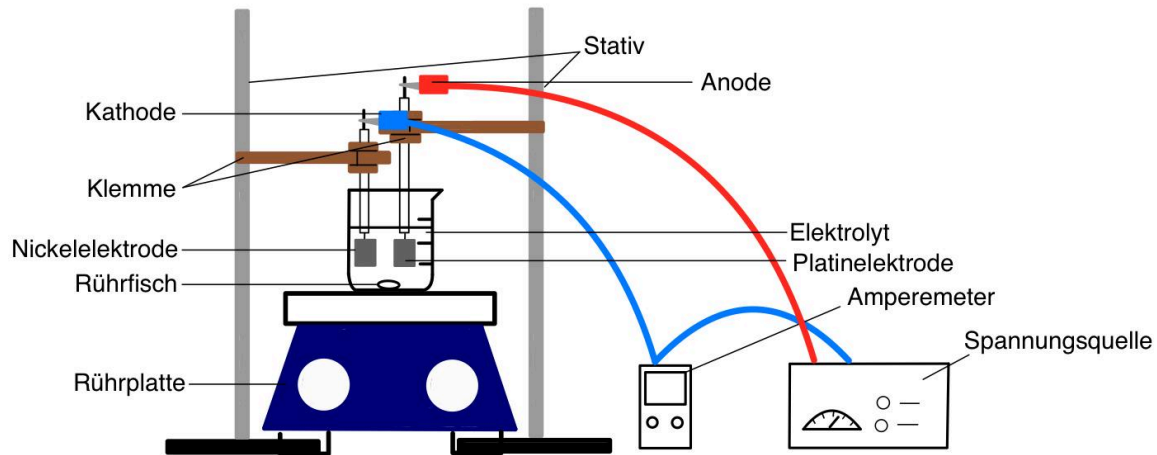
Da die Stromausbeute nur von der absoluten Stoffmenge des Produkts, nicht von der theoretisch erreichbaren Stoffmenge abhängt, ist zu vermuten, dass die Stromausbeute bei höheren Konzentrationen von Natriumcaprylat steigt.

Geräte und Chemikalien

Geräte: Becherglas, Feinwaage, Rührplatte mit Magnetrührer, 2 Stative, 2 Klemmen, 2 Muffen, Spannungsquelle, Amperemeter, 2 Krokodilklemmen, 3 Stromkabel, Platinelektrode, Nickelelektrode

Chemikalien: 21,64 g Caprylsäure, 6 g Natriumhydroxid, 150 ml destilliertes Wasser

Versuchsaufbau



Durchführung

- Zunächst werden 3,61 g Caprylsäure und 1 g Natriumhydroxid mit der Feinwaage abgewogen und in das Becherglas gegeben, sodass sich eine Konzentration von 0,5 mol/l ergibt.
- Anschließend werden 50 ml destilliertes Wasser hinzugegeben und das Gemisch wird mit Hilfe eines Magnetrührers gerührt, bis eine homogene Lösung entstanden ist.
- Die Elektroden werden mittels Stativen, Klemmen und Muffen befestigt, sodass sich diese vollständig innerhalb der Lösung befinden.
- An die Elektroden wird nun eine Spannung angelegt, sodass die Stromstärke 0,968 Ampere beträgt, und die Elektrolyse wird für 60 Minuten durchgeführt. Mit einer Elektrodenoberfläche von $9,68 \text{ cm}^2$ ergibt sich so eine Stromdichte von 100 mA/cm^2 .
- Abschließend wird die entstandene organische Phase (aus Tetradecan) mittels eines Scheidetrichters abgetrennt und gewogen.
- Die ersten fünf Schritte werden anschließend für Konzentrationen von 1 mol/l (7,21 g Caprylsäure, 2 g NaOH, 50 ml destilliertes Wasser) und 1,5 mol/l (10,82 g Caprylsäure, 3 g NaOH, 50 ml destilliertes Wasser) wiederholt.

Messdaten:

- a) Konzentration: 0,5 mol/l – Masse der organischen Phase: 1,56 g
- b) Konzentration: 1,0 mol/l – Masse der organischen Phase: 2,00 g
- c) Konzentration: 1,5 mol/l – Masse der organischen Phase: 1,9 g

Auswertung

Die Ausbeute lässt sich durch das Verhältnis der Stoffmenge bzw. Masse des entstandenen Produkts zur theoretisch möglichen Stoffmenge bzw. Masse des Produkts berechnen:

$$\omega = \frac{n(\text{Produkt, real})}{n(\text{Produkt, theoretisch})} \cdot 100\%$$

Die theoretisch möglichen Massen betragen:

- a) $m(\text{Tetradecan}) = n(\text{Tetradecan}) \cdot M(\text{Tetradecan}) = 0,0125 \text{ mol} \cdot 198,39 \text{ g/mol} \approx 2,48 \text{ g}$
- b) $m(\text{Tetradecan}) = n(\text{Tetradecan}) \cdot M(\text{Tetradecan}) = 0,025 \text{ mol} \cdot 198,39 \text{ g/mol} \approx 4,96 \text{ g}$
- c) $m(\text{Tetradecan}) = n(\text{Tetradecan}) \cdot M(\text{Tetradecan}) = 0,0375 \text{ mol} \cdot 198,39 \text{ g/mol} \approx 7,46 \text{ g}$

Die Formel zur Berechnung der Stromdichte lässt sich folgendermaßen herleiten:

$$\eta = \frac{Q_{\text{nutz}}}{Q_{\text{zu}}} \cdot 100\%$$

$$Q = I \cdot t = F \cdot n \cdot z$$

$$Q_{\text{nutz}} = \frac{\eta \cdot Q_{\text{zu}}}{100\%} = \frac{\eta \cdot I_{\text{zu}} \cdot t}{100\%} = F \cdot n \cdot z$$

$$\eta = \frac{F \cdot n \cdot z}{I_{zu} \cdot t} \cdot 100\%$$

Somit ergeben sich für die verschiedenen Konzentrationen folgende Stoff- und Stromausbeute:

a) Konzentration: 0,5 mol/l

$$\omega = 62,90 \%$$

$$\eta = 43,64 \%$$

b) Konzentration: 1,0 mol/l

$$\omega = 40,32 \%$$

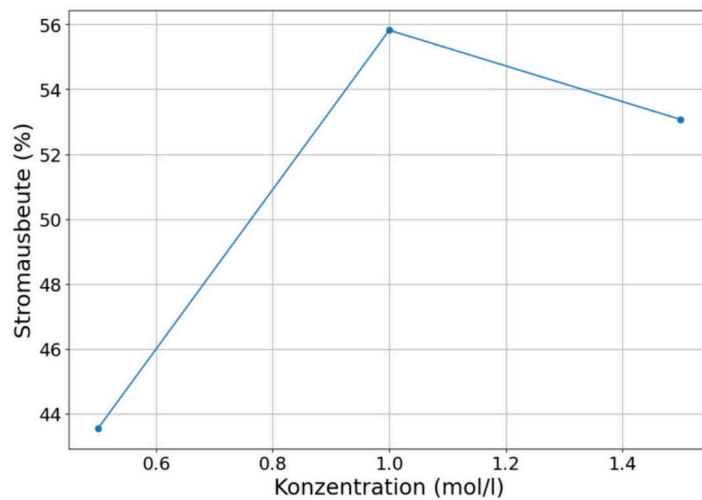
$$\eta = 55,82 \%$$

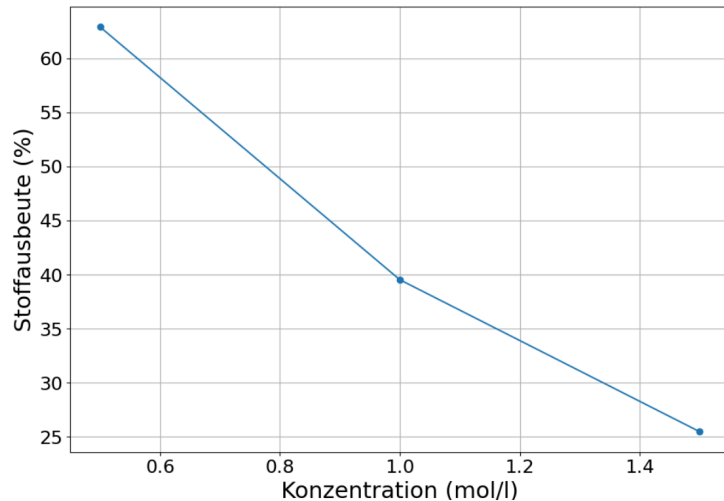
c) Konzentration: 1,5 mol/l

$$\omega = 25,47 \%$$

$$\eta = 53,03 \%$$

Das lässt sich in folgenden Diagrammen veranschaulichen:





Messfehler

Zufällige Fehler:

- Verunreinigung an den Geräten (z. B. Elektroden, Bechergläser)
- ungenaues Ablesen der Spannung an der Spannungsquelle

Systematische Fehler:

- Fertigungstoleranz der Feinwaage

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Wie in der Vorüberlegung angemerkt, ließ sich bei steigender Konzentration ein deutlicher Rückgang der Stoffausbeute feststellen. Während eine Konzentration der Caprylsäure von 0,5 mol/l eine Ausbeute von 62,90 % erreichte, waren es bei einer Konzentration von 1,5 mol/l nur 25,47 %. Das ist allerdings - wie schon in der Hypothese angemerkt - wenig aussagekräftig, da für alle Konzentrationen das gleiche Volumen gewählt wurde, wodurch die theoretisch mögliche Stoffmenge an Produkt bei höheren Konzentrationen größer ist. Dadurch fällt schon bei gleicher Stoffmenge an Produkt die Stoffausbeute kleiner aus.

Deutlich aussagekräftiger ist Stromausbeute, da diese lediglich von der Masse des tatsächlich entstandenen Produkts und nicht von der theoretisch möglichen Menge an Produkt abhängt. Es ist festzustellen, dass es - entgegen der anfänglichen Hypothese - ein Maximum der Stromausbeute gibt. Zu kleine und zu geringe Konzentrationen können sich somit negativ auf die Stromausbeute auswirken. Eine Erklärung für das Sinken der

Stromausbeute bei zu hoher Konzentration könnte die Viskosität der Lösung sein. Bei hohen Konzentrationen ($c = 1,5 \text{ mol/l}$) steigt die Viskosität deutlich an (während es zwischen $c = 0,5 \text{ mol/l}$ und $c = 1 \text{ mol/l}$ kaum Unterschiede bei der Viskosität gibt), sodass die Bewegung der Ionen durch die Lösung gestört werden könnte. Damit die Stromstärke dennoch konstant bleibt, müsste sich die Spannung erhöhen, wodurch Nebenreaktionen wie die Wasserelektrolyse vermehrt ablaufen können. Zudem sorgt eine höhere Viskosität für eine schlechtere Durchmischung der Lösung, was ebenfalls das Ablaufen der Elektrolyse verlangsamen könnte.

Es lässt sich also feststellen, dass für eine möglichst effiziente Strom- bzw. Stoffausbeute eine Konzentration von $1,5 \text{ mol/l}$ deutlich zu hoch ist. Das genaue Optimum, an dem die Stromausbeute maximal ist, ist in weiterführenden Experimenten mit deutlich mehr Messwerten zu ermitteln.