

SOWAS-Praktikum

Herstellung und Betrieb einer Brennstoffzelle

Übersicht

- Was ist eine Brennstoffzelle?
- Das Drei-Kammer-System
- Vorarbeit: Membranen, Elektroden
- Bau der Brennstoffzelle
- Auswertung der Messreihen
- Fazit
- Na SOWAS ...
- Dank

Was ist eine Brennstoffzelle?

Prinzip: Energiewandler

Bisher bekannt: Knallgasreaktion



→ Unkontrolliertes Freiwerden von thermischer Energie

Brennstoffzelle:

Umwandlung von chemischer Bindungsenergie eines Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie

→ Kontrolliertes Ablaufen der Reaktion, Umwandlung in elektrischen Strom

Was ist eine Brennstoffzelle?

Funktionsweise:

- **Elektroden:** getrennt durch ein System von Membranen oder Elektrolyt (Ionenleiter)

- **Anode:** Brennstoff wird oxidiert

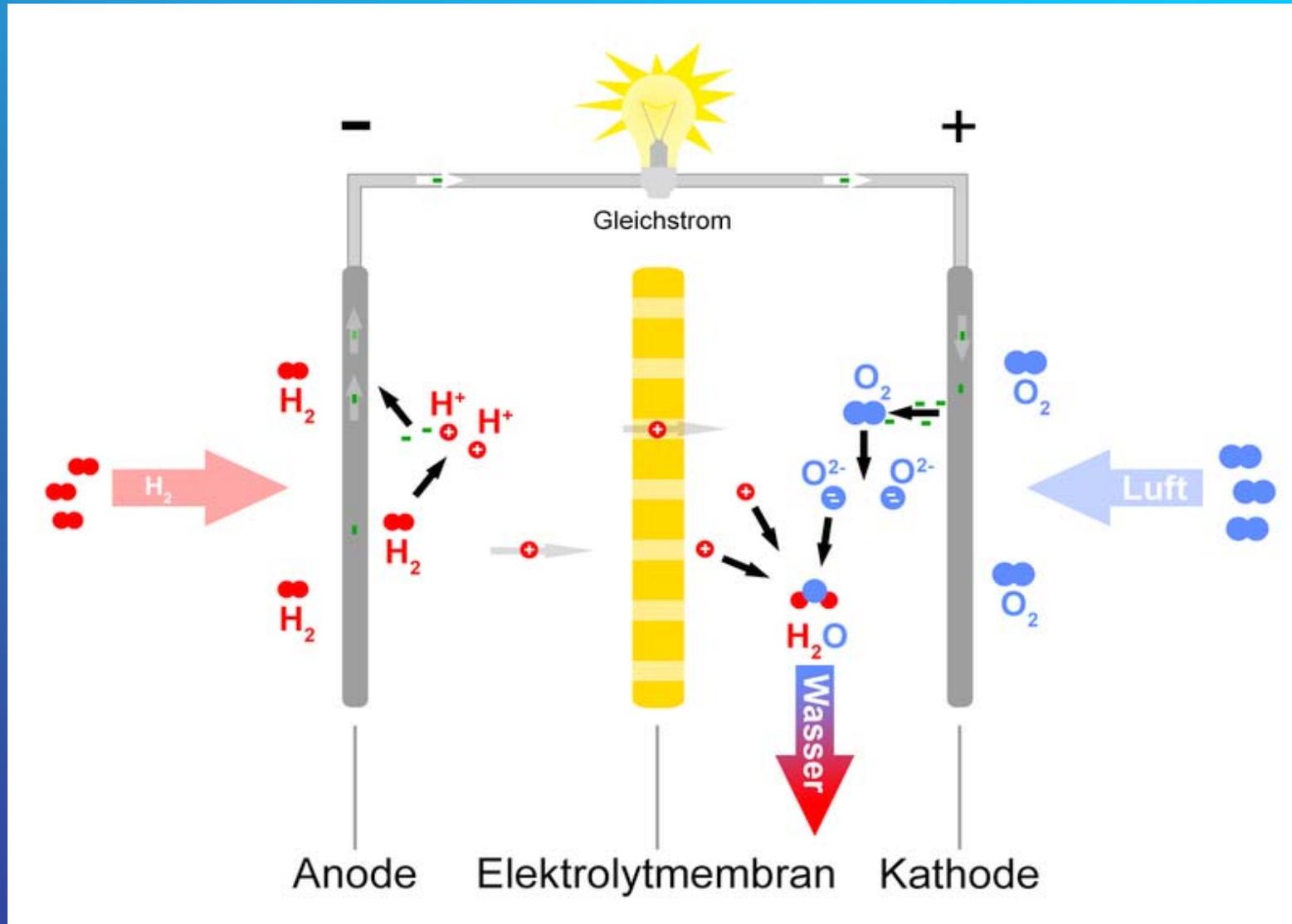
Durch Ionen-Austausch-Membran → Kammer mit Oxidationsmittel

Elektronen fließen über elektrischen Verbraucher zur Kathode

- **Kathode:** Oxidationsmittel wird reduziert zu Anionen

Reagiert mit den durch den Elektrolyt zur Kathode gewanderten Kationen zu Wasser

Was ist eine Brennstoffzelle?



Das Drei-Kammer-System

Drei Kammern:

Anodenkammer: Schwefelsäure-Wasser-Gemisch, Anode mit Wasserstoff (Brennstoff) umspült

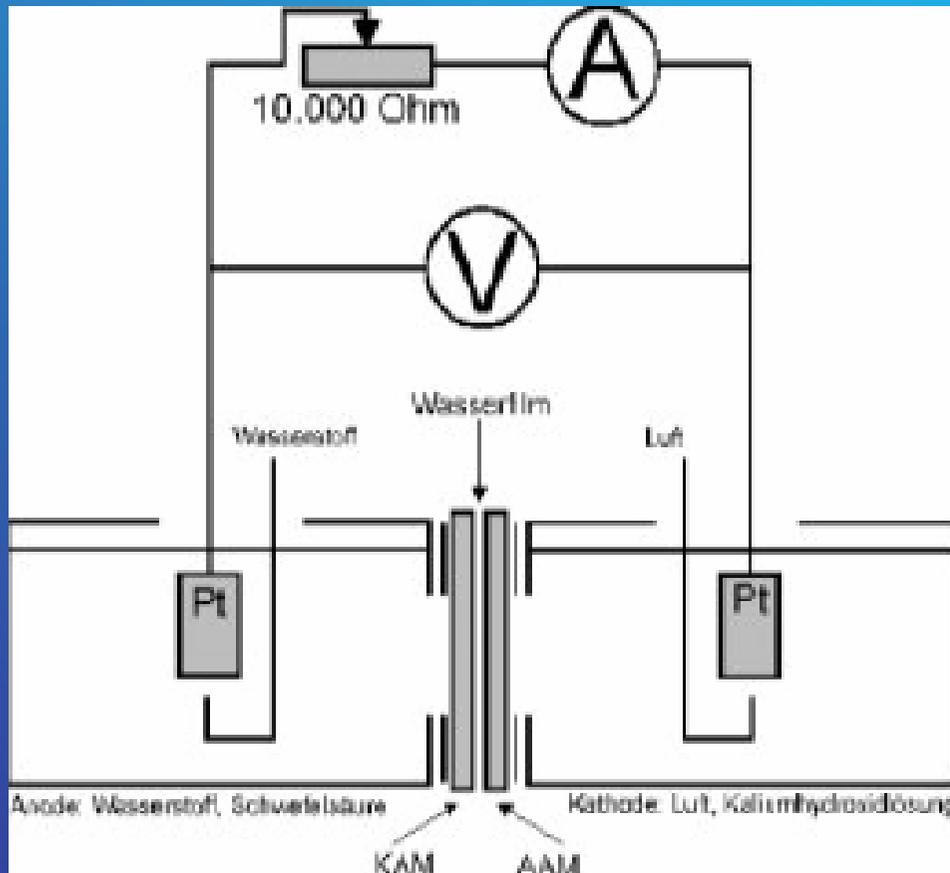
Kationenpermeable Membran

Wasserkammer

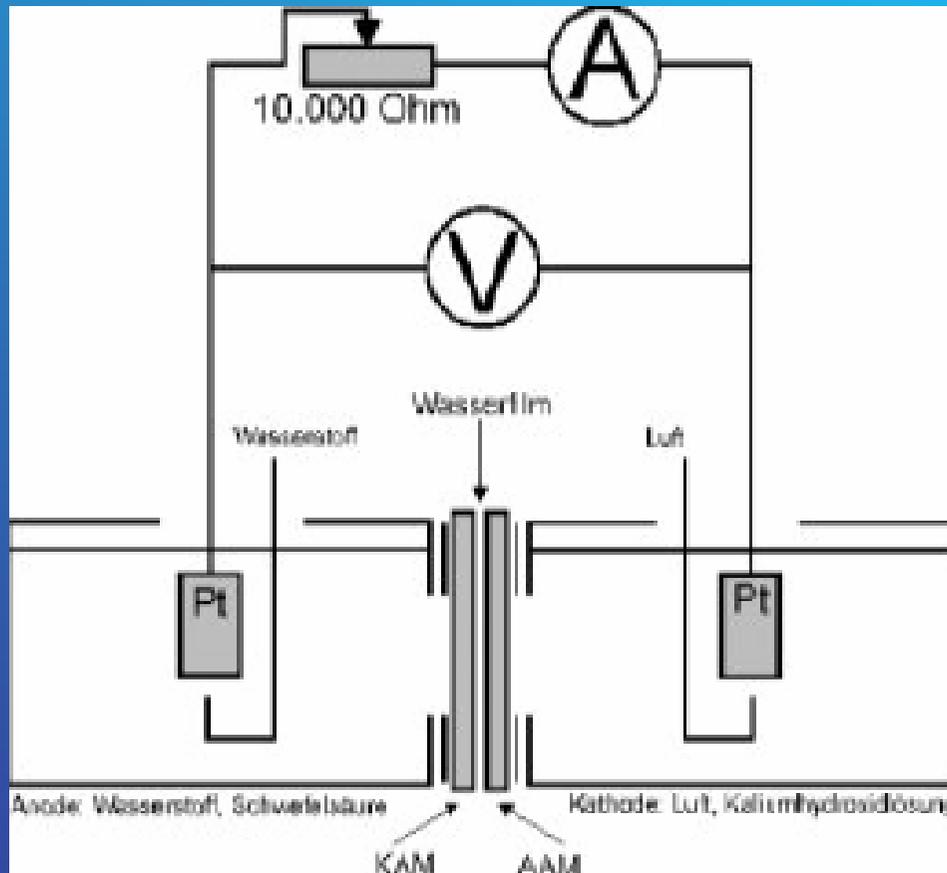
Anionenpermeable Membran

Kathodenkammer:

Kaliumhydroxidlösung, Kathode mit Sauerstoff (Oxidationsmittel) umspült



Das Drei-Kammer-System



Anode:

Oxidation



Kathode:

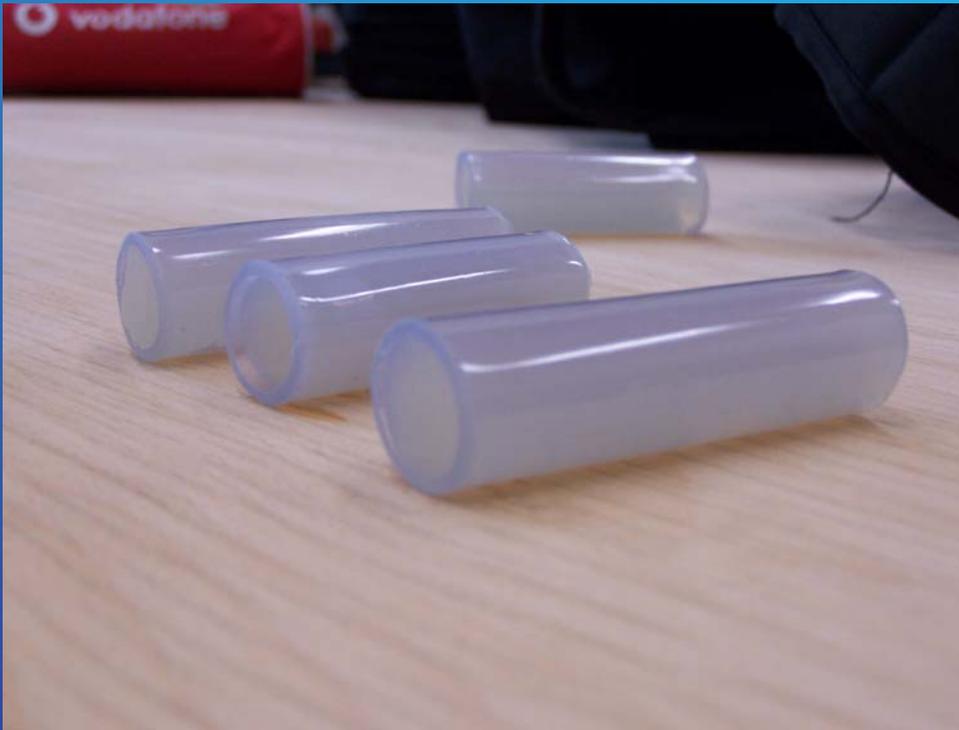
Reduktion



Wasserkammer:



Herstellung der Membranen



Agar-Membrane im PVC-Laborschlauch



Polypyrrolmembran, mit Silikon und Kupferring
an einem Plastikdeckel befestigt

Kationenaktive Membran

- Gewonnen aus Zellwänden von Rotalgen
- geschmacksneutral und unverdaulich
- Wesentlicher Bestandteil: Agarose
- Polysacharid
- Untergruppe Kohlenhydrate
- Vielfachzucker mit vielen Einfachzuckereinheiten
- starker Gelbildner
- für Gelierfähigkeit des Agars verantwortlich



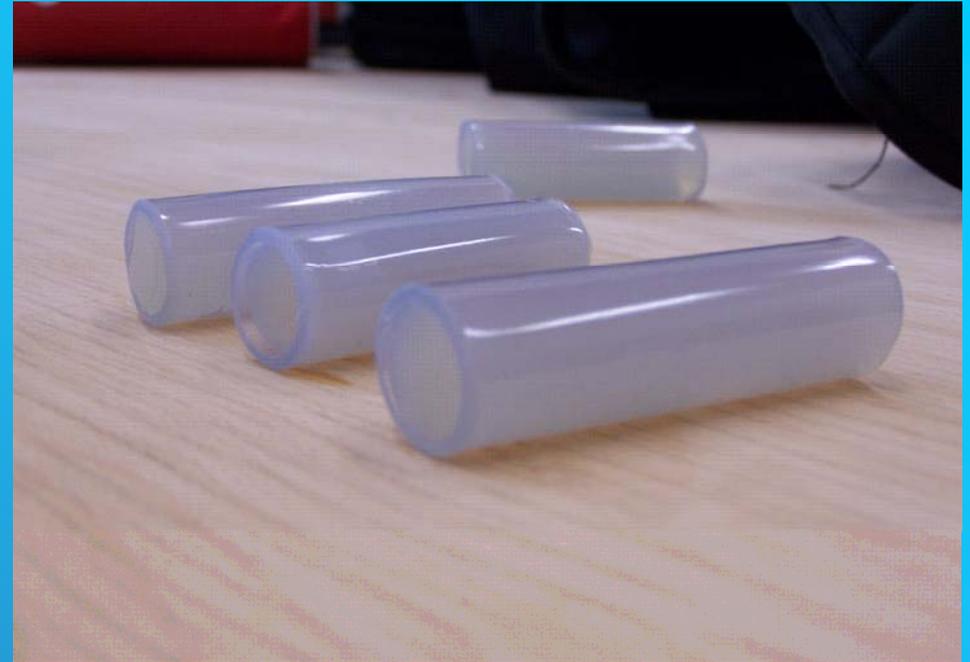
Herstellung der Agar - Membran

- Präparieren der Schläuche
- Ca. 8g Agar in ca. 300ml destilliertem Wasser lösen
- Schläuche in die Lösung tauchen und alles erhitzen
- Agar stinkt
- Abkühlen lassen





Abgekühltes und erstarrtes Agar mit den gefüllten Schläuchen



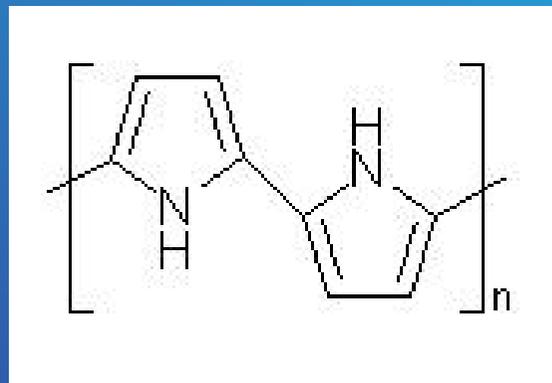
- Muss flüssig (in dest. Wasser) gelagert werden
- Flutscht in den Schläuchen



Anionenpermeable Membran

Polypyrrol

- Kunststoff mit Leitereigenschaften
- Herstellung durch Polymerisation aus Pyrrol
- Polymerisation: chemische Reaktion bei der aus Monomeren Polymere entstehen
- Kann durch geeignete Dotierung leitfähig gemacht werden



Reaktionsmittel

Pyrrrol

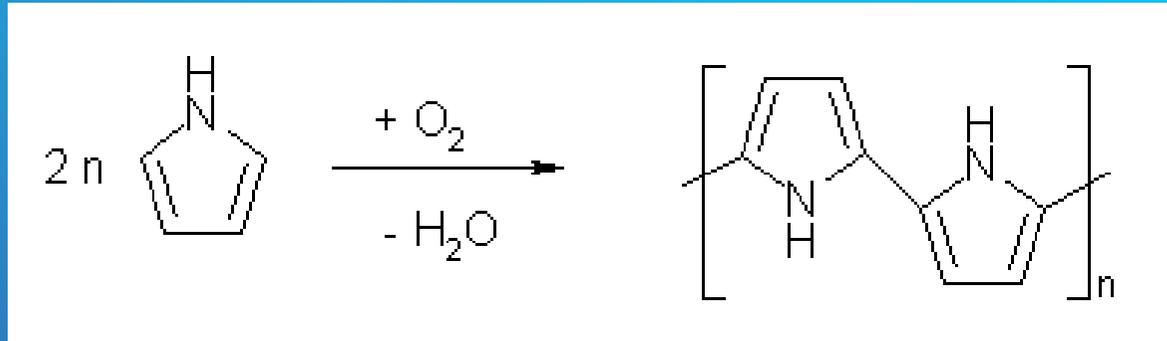
- farblose Flüssigkeit, chloroformähnlicher Geruch
- wird an Luft braun und verharzt

Lithiumperchlorat

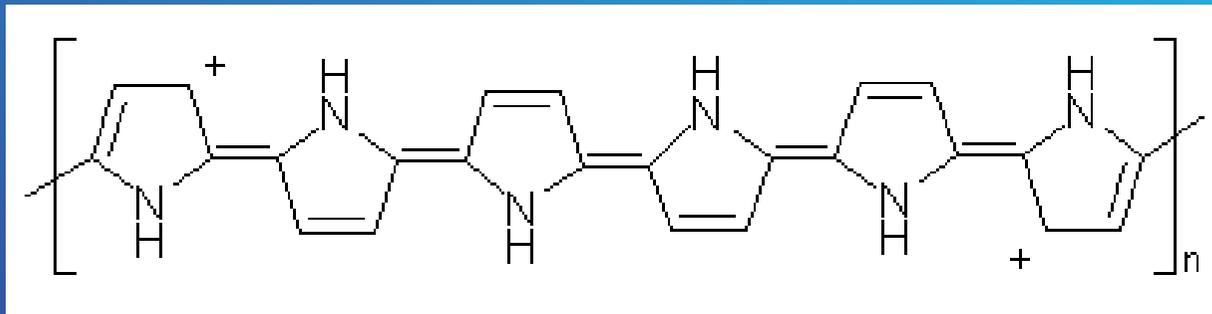
- farbloser, leicht löslicher Feststoff
- dient als Leitsalz
- bei erhöhter Temperatur starkes Oxidationsmittel

Methanol

Polymerisation



Pyrrol reagiert zu Polypyrrol



Dotiertes Polypyrrol

Herstellung der Polypyrrolmembran

- Elektrolytlösung: 3ml Pyrrol
5g Lithiumperchlorat
200ml Methanol
- Zylinderstahlelektroden an Gleichstromquelle
- Spannung: 4,5V
- Zeit: 35min
- An der Anode bildet sich das Polypyrrol

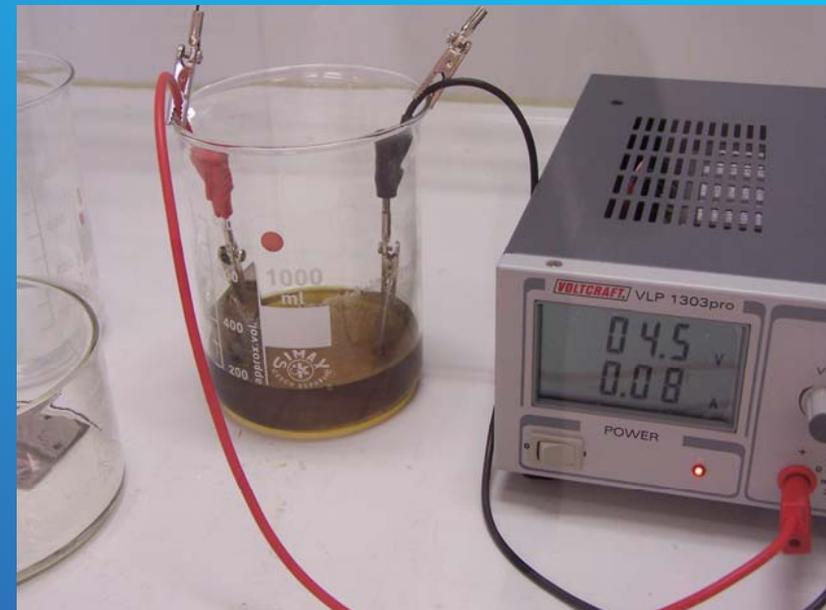
1. Versuch:

- Netzgerät lieferte nicht genug Strom
- Membran zu dünn



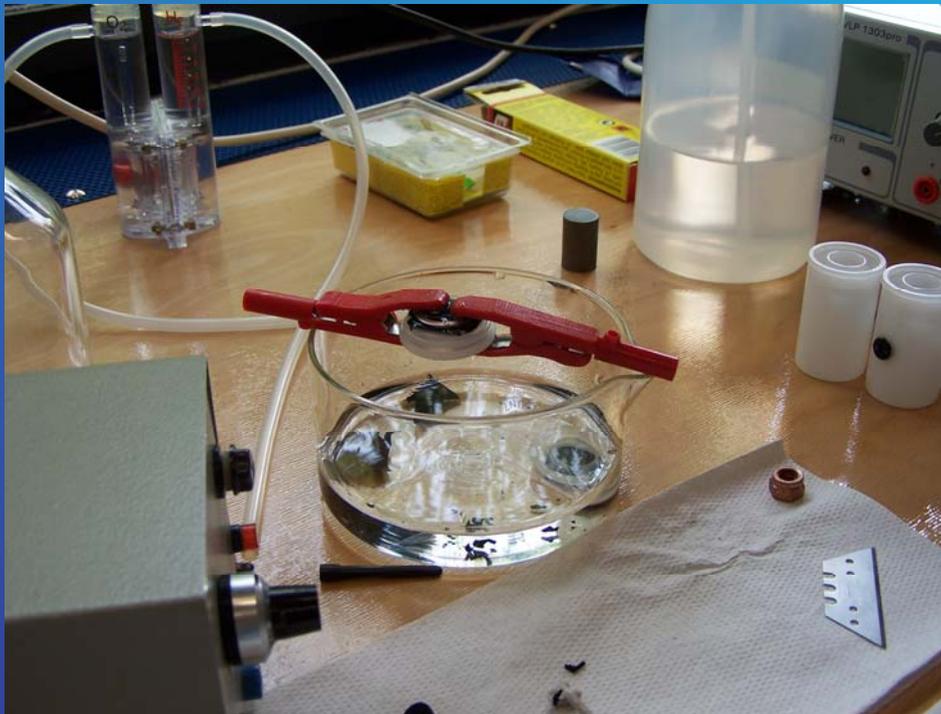
2. Versuch und 3. Versuch

- Plattenelektroden aus Edelstahl
- Besseres Netzgerät (0 - 30V, 3A)
- Nach der Elektrolyse: abspülen der Membran
- 1x mit 1:1 Methanol – Wassergemisch
- 2x mit Wasser



Verarbeitung

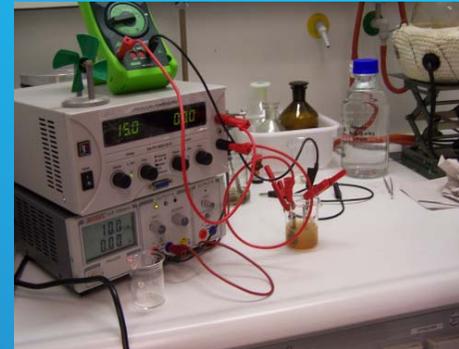
- Zwischen Deckel und Kupferring wird die Membran geklebt
- Verdichtung mit Silikon



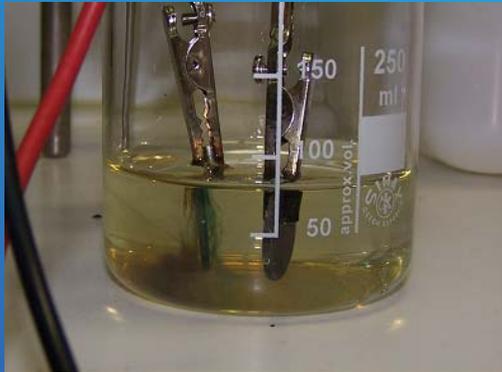
Aktivierung der Elektroden



- Elektroden müssen aktiviert werden
- Kabel an die Elektroden löten
- Elektroden entfetten, verzinnen
- Kaliumhexachloroplatinat (K_2PtCl_6) in Wasser lösen
- Zwei Elektroden in das Gemisch eintauchen und eine Gleichspannungsquelle anschließen ($U = 10\text{ V}$ bei $I = \sim 30\text{ mA}$)



Aktivierung der Elektroden

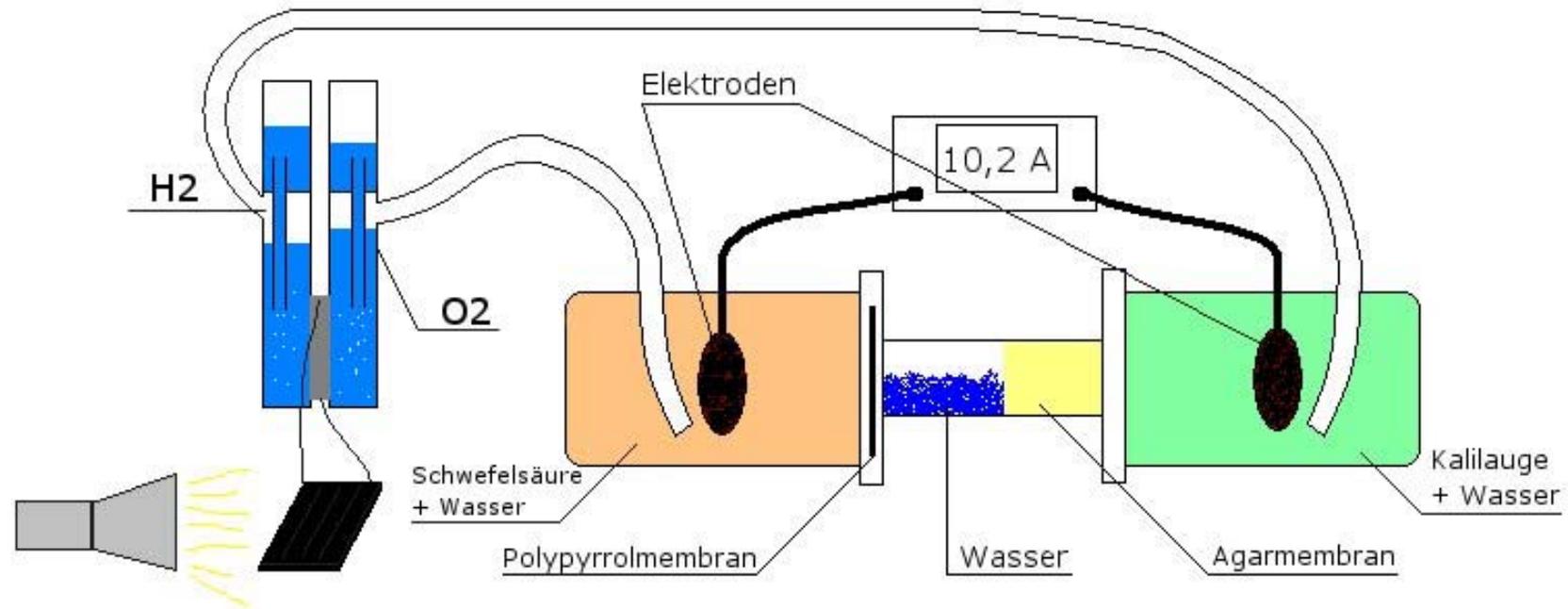


- Das Gemisch färbt sich gelb
- Auf einer Elektrode entsteht ein schwarzer Überzug (Platinschwamm)
- Aktivierungszeit ca. 15 min
- Runde Kupferscheiben und zwei Kupfergitter werden präpariert

Bau der Brennstoffzelle

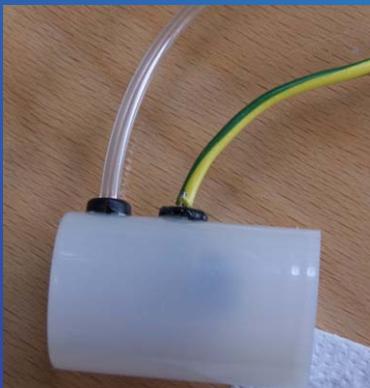
- Zwei Filmdosen als Behälter
- Ein Schlauch mit Agar-Membran
- Ein Dosendeckel mit Polypyrrol-Membran
- Zwei aktivierte Elektroden
- Schläuche für Wasserstoff und Sauerstoff
- Elektrolyse-Aufbau zur Gewinnung der Gase
- Lampe
- Kabel
- Messgeräte
- Befestigung

Bau der Brennstoffzelle



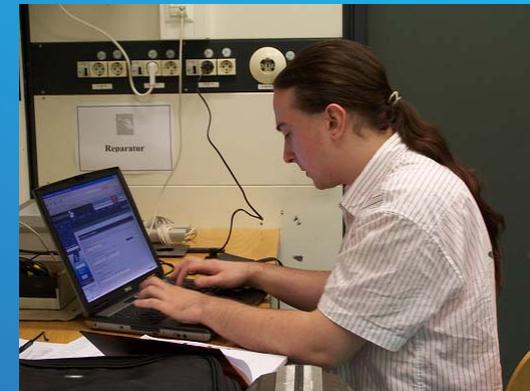
Bau der Brennstoffzelle

- Filmdosen mit Deckel schließen
- Schlauch an die Deckel anbringen
- Zunächst mit Silikon abdichten
- Einsehen, dass es mit Silikon nicht geht
- Kondom und Finger von einem Gummihandschuh zum Abdichten benutzen

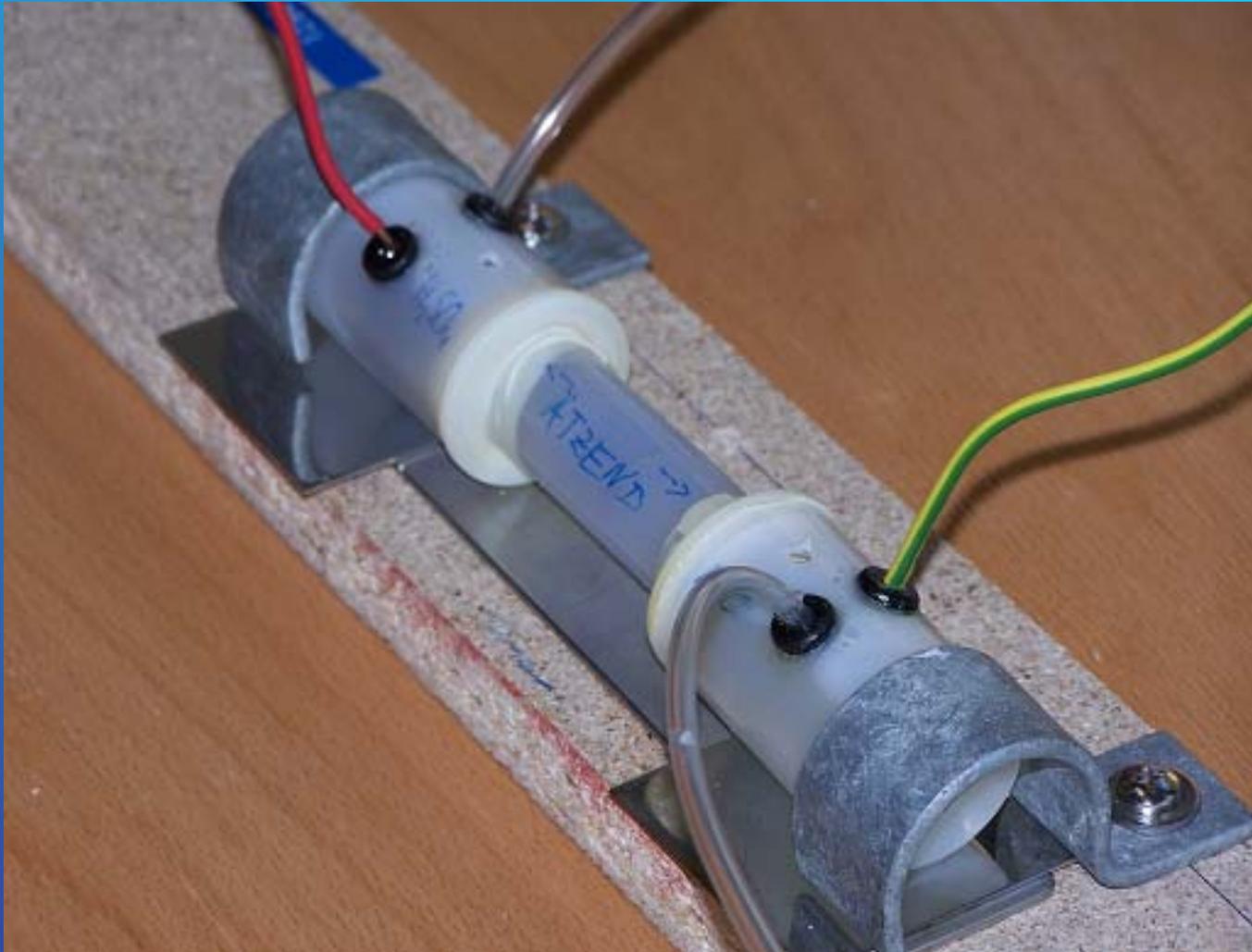


Bau der Brennstoffzelle

- Kleber zum Abdichten der Agar-Membran im Schlauch verwenden
- Die Dosen mit den Elektrolyt-Lösungen befüllen
- Schläuche mit Sauerstoff- und Wasserstoffzufuhr anbringen
- Lampe einschalten (Elektrolyse)
- Kabel an ein Messgerät anschliessen
- Zurücklehnen und die Werte notieren



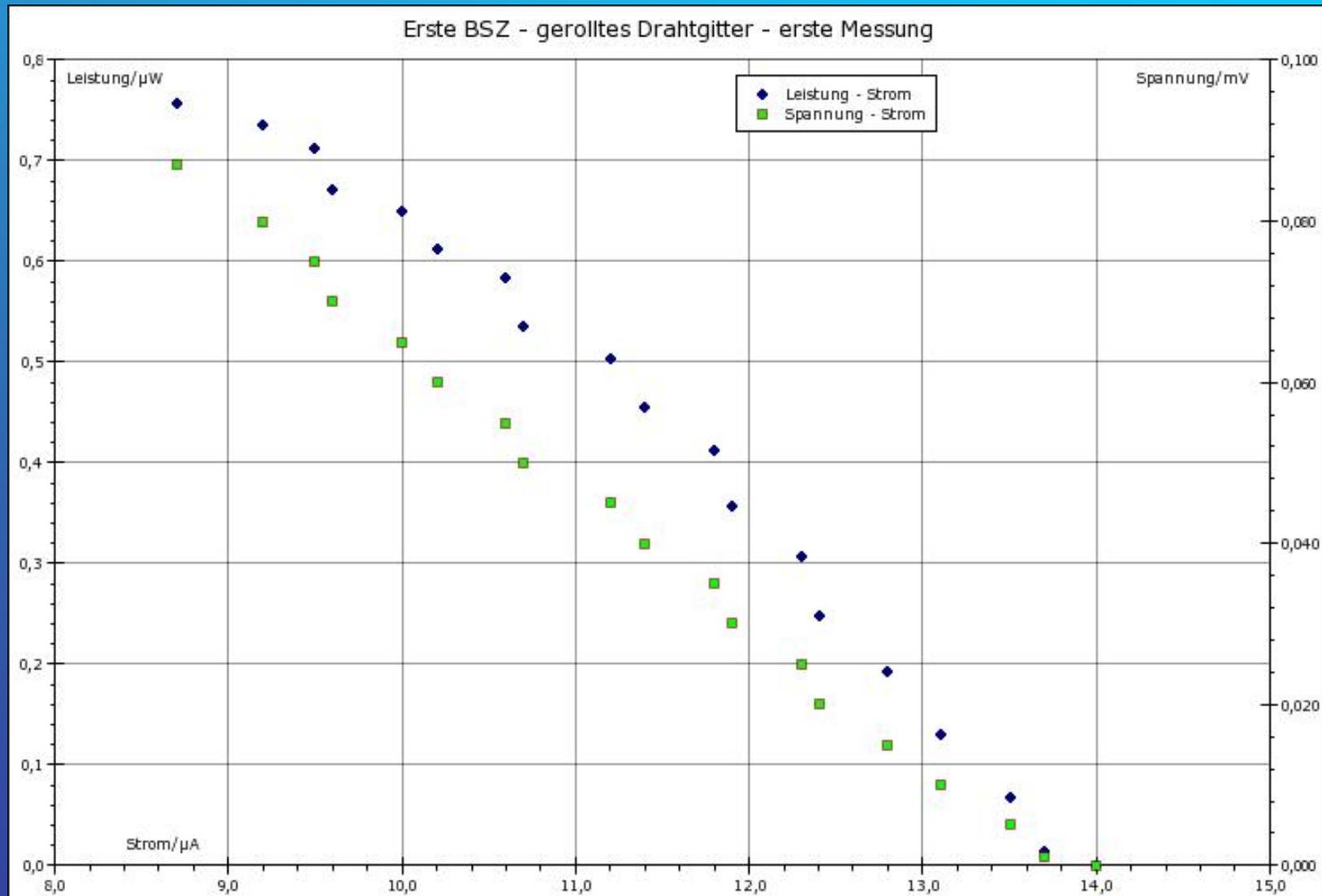
Bau der Brennstoffzelle



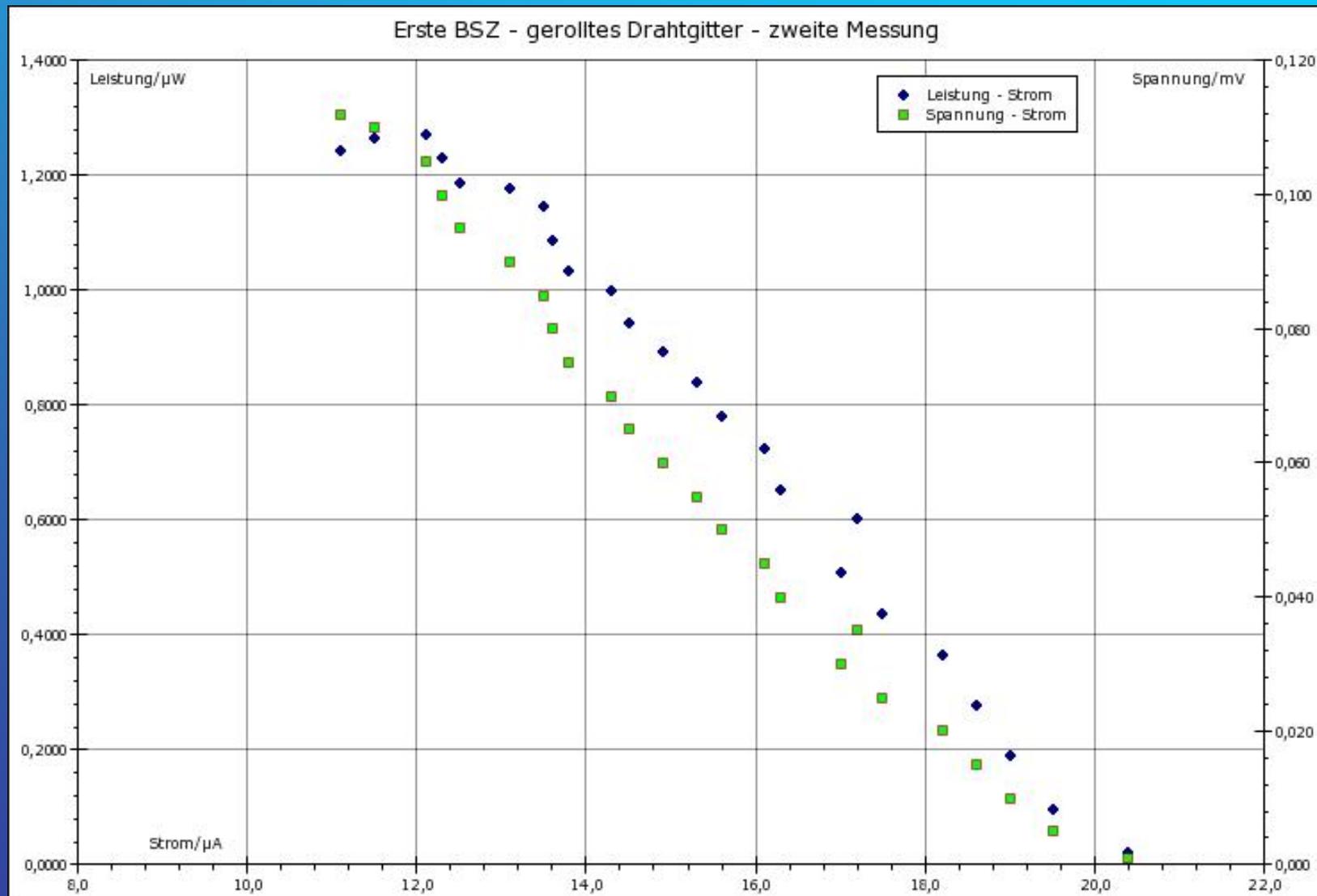
Auswertung – Warum Kennlinien?

- U-I-Charakteristik für Strom-/Spannungsquellen gibt Punkt mit höchster Leistungsabgabe an
- Sinnvolle Darstellung, um für Geräte eine geeignete Quelle zu finden, da beim benötigten Strom bzw. der benötigten Spannung des Geräts die Quelle idealerweise ihre höchste Leistung abgeben sollte

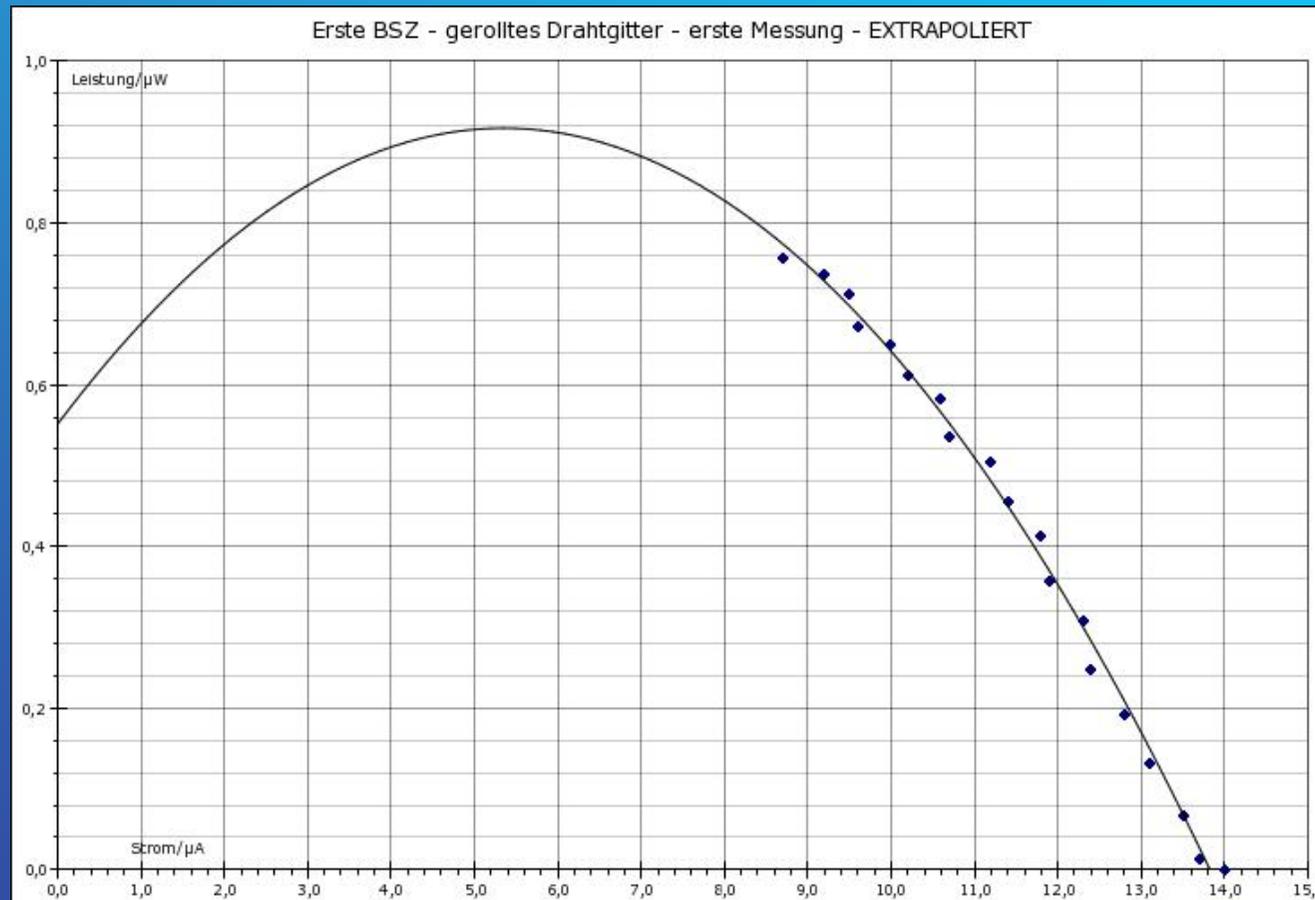
Auswertung – BSZ 1



Auswertung – BSZ 1



Auswertung – BSZ 1 extrapoliert



Maximale Leistung

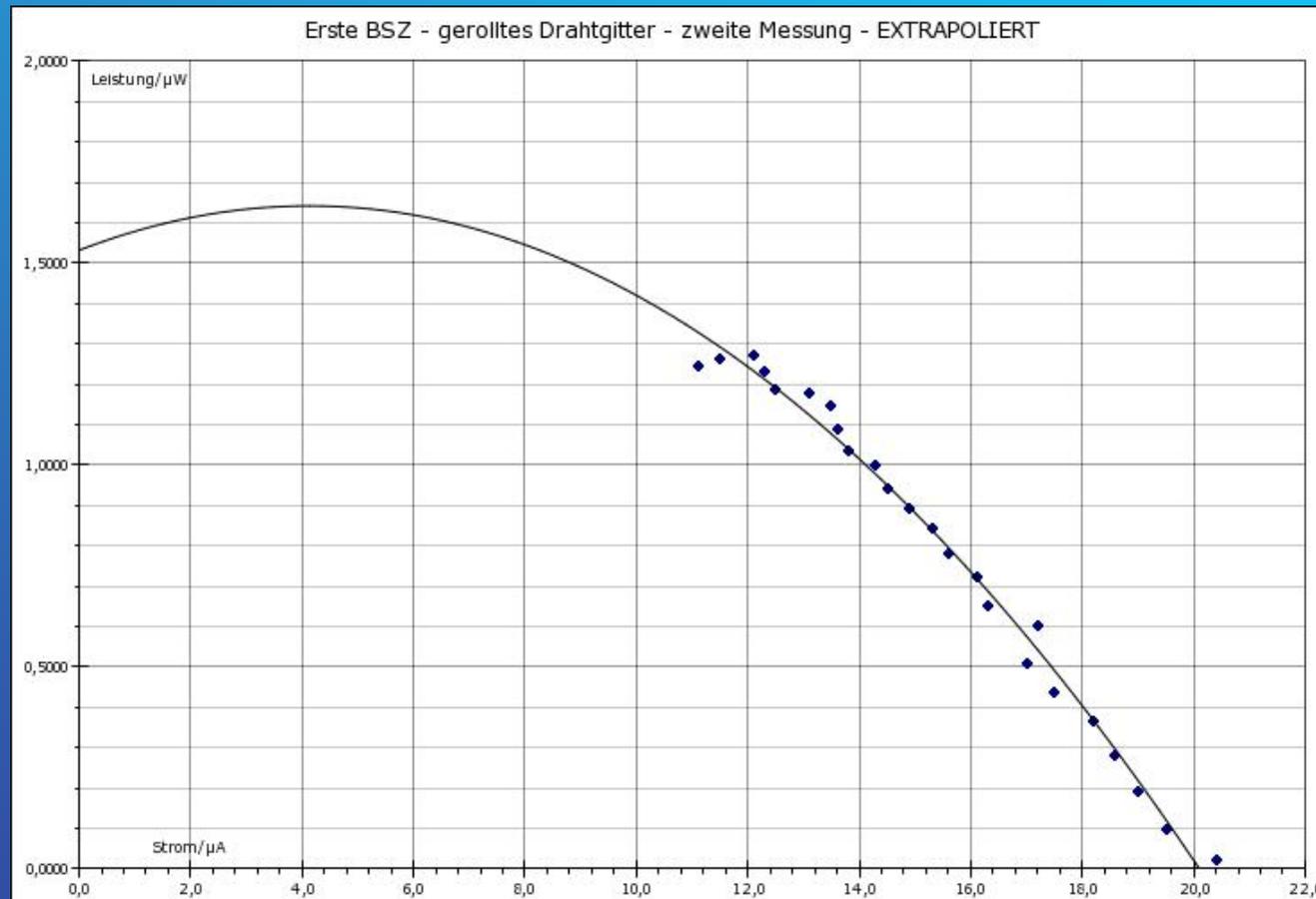
bei ca.

$$P = 0,9 \mu\text{W}$$

$$I = 5,5 \mu\text{A}$$

$$U = 160 \text{ mV}$$

Auswertung – BSZ 1 extrapoliert



Maximale Leistung

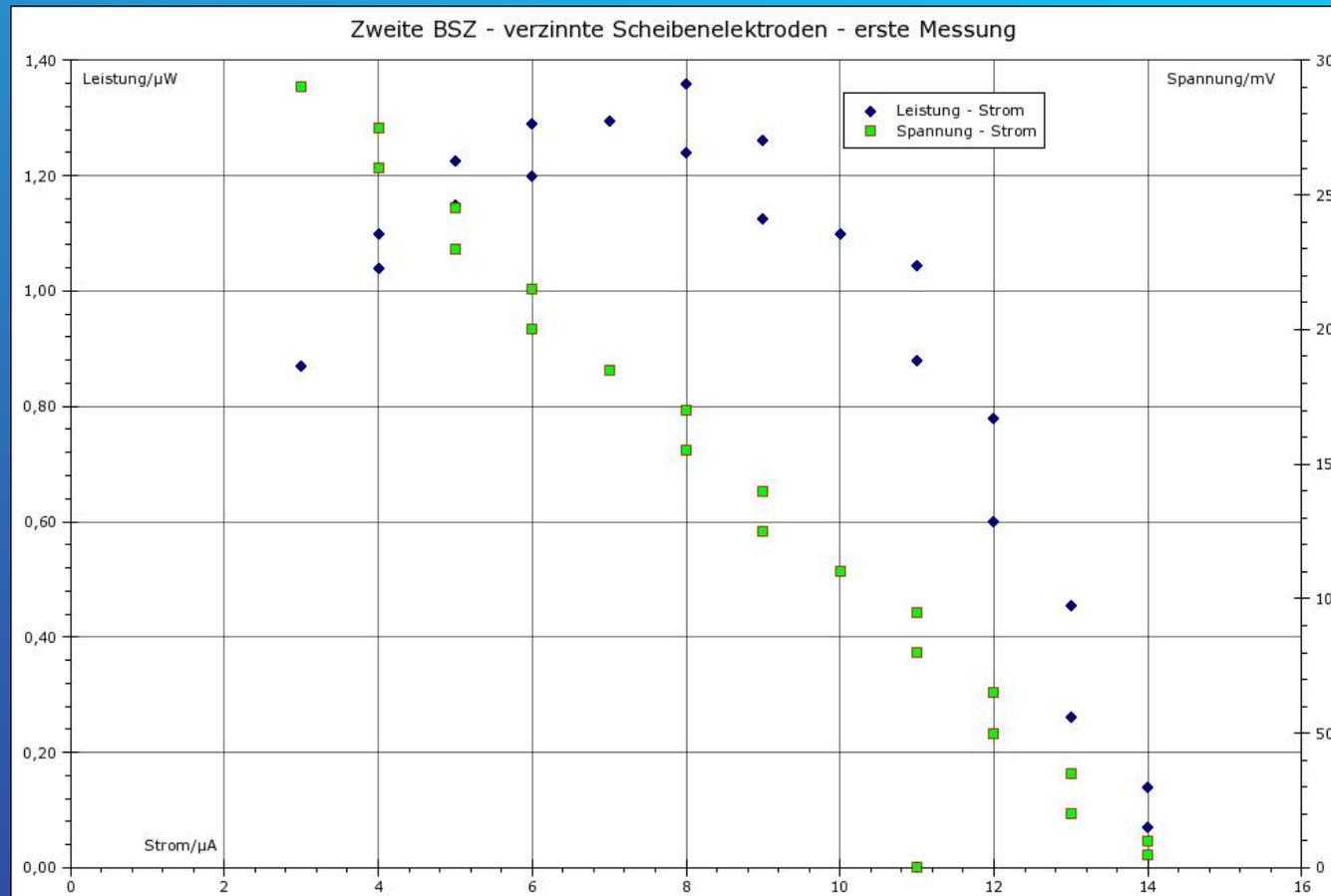
bei ca.

$$P = 1,65 \mu\text{W}$$

$$I = 4,0 \mu\text{A}$$

$$U = 410 \text{ mV}$$

Auswertung – BSZ 2



Maximale Leistung

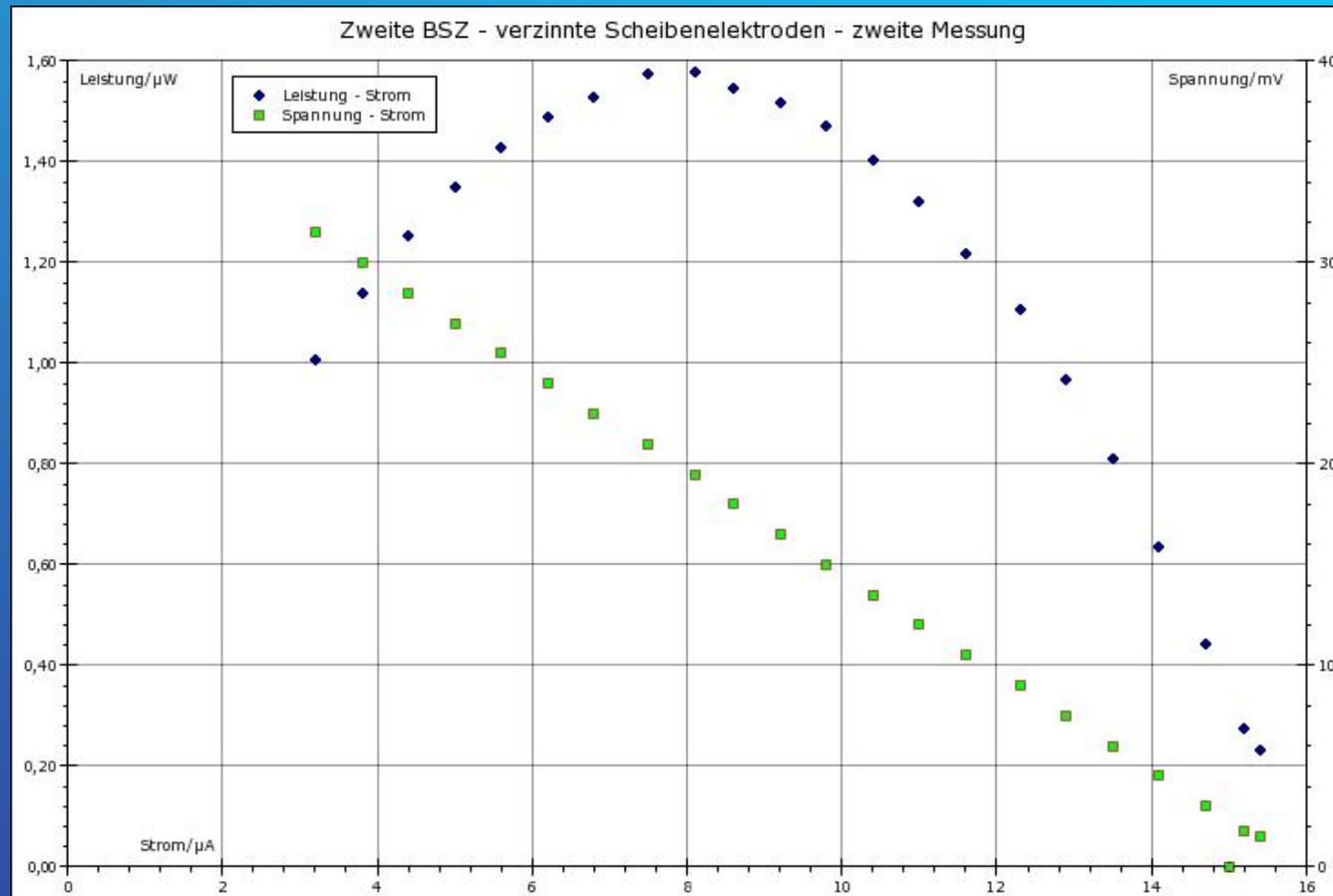
bei ca.

$$P = 1,3 \mu\text{W}$$

$$I = 7,0 \mu\text{A}$$

$$U = 186 \text{ mV}$$

Auswertung – BSZ 2



Maximale Leistung

bei ca.

$$P = 1,6 \mu\text{W}$$

$$I = 8 \mu\text{A}$$

$$U = 200 \text{ mV}$$

Auswertung – Vergleich der BSZ

- BSZ1 mit gerolltem Kupfergitter:
 - brachte höchste, aber auch geringste Leistung
 - schwer einzuschätzen, da sehr unstetige Leistungsabgabe
 - Auswertung ungenau, da die U-I- bzw. P-I-Kennlinie extrapoliert werden musste
- BSZ2 mit verzinnter Kupferscheibe:
 - brachte in beiden Messungen ähnliche Leistung
 - wesentliche stetigere Leistungsabgabe
 - Deutlich sichtbares Maximum in der Leistungsabgabe

Auswertung – Probleme \leftrightarrow Fehler

- BSZ1 – gerolltes Kupfergitter:
 - Hauptproblem war die Unstetigkeit in der Leistungsabgabe. Vermutlich entstanden durch schlechte Verteilung des Gases (konnte nur schwer durch das Gitter sickern)
 - Dadurch ist diese BSZ sehr schwierig zu handhaben
 - Verändern der Gittergröße, des Elektrolyts, der Gasbläschen könnte diese BSZ effektiver machen
- BSZ2 – verzinnte Kupferscheibe:
 - Auch hier unstetige Leistungsabgabe, aber nur leichte und nur in dem Moment, in dem eine Gasblase aufsteigt
 - Zwischen diesen Einbrüchen gute gleichmäßige Leistung

Auswertung - Ergebnis

- Wegen oben genannter Probleme mit den Gasbläschen ist in unserem Versuch BSZ2 mit den verzinnten Kupferscheiben als „besser“ anzusehen, d.h. sie erzielt eine höhere und zugleich stetigere Leistungsabgabe
- Der Wirkungsgrad ist leider nicht berechenbar, da mangels Messung des Gasflusses keine Informationen über die zugeführte Energie (Bindungsenergie) verfügbar ist (-> evtl. weitere SOWAS-Versuch)
- Mögliche Verwendung unserer BSZen:
Z.B. Low-Current-LEDs (~2mA bei 1,5V im Infraroten), allerdings ist auch hier eine Verschaltung von einigen Zellen nötig

Auswertung - Ergebnis

- Wegen der geringen Leistung sollten unsere Zellen eher als Versuch angesehen werden, eine BSZ erst einmal überhaupt zu bauen
- Wir sind uns sicher, dass nach Beheben der größten Probleme unserer Zellen (Bläscheneinschluss, ungleichmäßiger Platinüberzug, brüchige Membrane) eine deutliche höhere Leistung erzielt werden kann.
- Wegen der Zielsetzung „Bau einer BSZ“ und der daraus resultierenden geringen Anzahl von Messreihen ist die Angabe von Fehlern nur sehr schwer. Außerdem haben die oben besprochenen Probleme die Werte stark schwanken lassen.

Material- und sonstige Kosten

- Die Materialkosten halten sich prinzipiell in Grenzen
 - Teuerste Anschaffung wären Platinelektroden, wir haben es durch platinüberzogene Kupferelektroden ersetzt -> weniger Leistung?
 - Hohe Kosten entstehen nicht durch das verbrauchte Material, sondern durch die Mindestabnahmemengen der Chemikalien!
 - Weitere Kosten/Schwierigkeiten ergeben sich durch die Gefährlichkeit der Stoffe (Notwendigkeit eines Arbeitsplatzes mit Abzug etc.)

Fazit

- Schöner, interdisziplinärer Versuch
- Ergebnis: Bau einer eigenen BSZ möglich
- Erzielte Leistungen sind leider nicht ausreichen, um irgendetwas sinnvolles damit betreiben zu können
- Kosten und Probleme sind durch Mindestabnahmemengen und Gefahrstoffe zu groß, der Faktor Kosten/Aufwand zu Nutzen ist einfach zu gering
- Weitere deutliche Verbesserung ist sehr gut möglich, aber zeitaufwändig
- Man versteht die Leistung, die Forscher auf diesem Gebiet erbracht haben, wenn man berücksichtigt, welche Arbeit in dieses Experiment gesteckt wurde und welche elektrischen Leistung BSZen erbringen, die z.Zt. auf dem Markt sind

Vergleich – industrielle BSZ

Bezeichnung	Elektrolyt	Mobiles Ion	Anodengas	Kathoden gas	Theor. Leistung	Betriebs-temperatur	elektrischer Wirkungsgrad
AFC (Alkaline Fuel Cell)	Kalilauge	OH ⁻	Wasserstoff	Sauerstoff	10 – 100 kW	unter 80 °C	60 – 70 %
PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)	Polymer-Membran	H ₃ O ⁺	Wasserstoff	Luftsauerstoff	0,1 – 500 kW	60 – 80 °C,	50 – 70 %
DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	Polymer-Membran	H ⁺	Methanol (flüssig)	Luftsauerstoff	mW bis 100 kW	90 – 120 °C	20 – 30 %
PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	Phosphorsäure	H ₃ O ⁺	Wasserstoff	Luftsauerstoff	bis 10 MW	200 °C	55 %
MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	Alkali-Carbonat-Schmelzen	CO ₃ ²⁻	Wasserstoff, Methan, Kohlegas	Luftsauerstoff	100 MW	650 °C	55 %
SOFC (Solid Oxid Fuel Cell)	Oxidkeramischer Elektrolyt	O ²⁻	Wasserstoff, Methan, Kohlegas	Luftsauerstoff	bis 100 MW	800 – 1000 °C	60–65 %

Noch zu untersuchen

- Temperaturabhängigkeit
- Konzentration der Elektrolyte
- Andere Membrantypen
- Andere Kammermodelle (z.B. eine oder zwei Kammern)
- Andere Brennstoffe (Stichwort Methanol)
- CO₂-Problem? (Zelle empfindlich dafür? Wurde von uns nicht untersucht)
- Andere Elektroden (Platin?)
- Lebensdauer der Einzelteile
- Wirkungsgrad der Zelle

-> Weitere SOWAS-Versuche?

Na SOWAS...

- Sicherheitsbestimmungen
- Chemikalien besorgen
- Chemikalien lagern (Wasserstoff, Methanol, ...)
- Spezielle Betreuung (ChemielaborantIn), da fächerübergreifendes Thema
- Geeignete Räumlichkeiten (Abzug, Chemielabor)
- Chemikalien entsorgen

Dank an ...

- Dr. Meyer für spontane Besprechungen
- Fr. Paschke fürs Chemikalienbesorgen
- Hr. Fischer für die Betreuung und jeden kleinen Tipp
- die Werkstatt NB 04 fürs Elektrodenschneiden
- Fr. Buse für die spontane chemische Fachbetreuung
- das Alfred-Krupp-Schülerlabor und Fr. Tomaschewsky für das Bereitstellen der Räumlichkeiten

Diskussion der Ergebnisse/des Versuchs

- Der Grund für eine bessere Kennlinie der verzinnten Elektrode, die sichtbar besser platinieren konnte, könnten Unregelmäßigkeiten in der Zinnoberfläche sein, die dann zu Inhomogenitäten im E-Feld der Platinierungsapparatur führten.

Dieses Phänomen wäre zu untersuchen.

- Als Wirkungsgrad hätte der der gesamten Apparatur, bestehend aus Elektrolyseur und Brennstoffzelle, errechnet werden können, da die hineingesteckte Leistung aus dem Strom/der Spannung der Solarzelle hätte berechnet werden können. Das Problem hierbei ist die Genauigkeit: Wieviel des Brennstoffes entweicht z.B. ungenutzt?

- Wir sind uns einig, dass die Leistung der BSZ eine Funktion der Elektroden-/Membranflächen ist. Hier sind auch die wichtigsten Einschränkungen bei einer Vergrößerung der BSZ gegeben, da das bestehende Feld zwischen Anode und Kathode mit dem Abstand schwächer wird. Am besten wäre eine BSZ, die dünne foliengleiche Kammern mit sehr großflächigen Elektroden, die dann z.B. gewickelt werden können, besitzt.

Modelle, die diese Abhängigkeiten berücksichtigen bzw. untersuchen, könnten ein Thema eines weiteren Versuchs sein.

Diskussion der Ergebnisse/des Versuchs

- Einen festen Bestandteil der Planungsphase und auch des gesamten Praktikums sollte die zeitliche Planung des Versuchs sein.

Es sollte eine schriftliche Übersicht erstellt werden, wer welche Aufgaben erledigt. Die zuständigen Personen sollten sich dann koordinieren, damit einerseits alle möglichst gleichzeitig an ihren Aufgaben arbeiten, sich andererseits aber auch die Teilnehmer nicht bei verschiedenen Aufgaben mit ähnlichem Werkzeugbedarf in die Quere kommen.

Diese zeitliche Planung ist essentiell wichtig für die erfolgreiche und termingerechte Durchführung eines SOWAS-Versuchs.

- Außerdem sollten bereits in der Planungsphase alle Informationen über eventuelle Gefahren von verwendeten Stoffen oder Apparaturen eingeholt werden. Wird dies nicht getan, kann sich der Versuchsablauf stark erschweren und verzögern. In diesem Versuch z.B. bestand die Notwendigkeit eines Abzugs über dem Arbeitsplatz, da stark reaktive oder giftige Stoffe verwendet wurden.