



DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.

---

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

**KÖLN**

---



**Auswirkungen von  
Erschütterungen auf die  
Leistung einer Brennstoffzelle**

Kjell Wistoff

**Schule:**

Gesamtschule Hennef

Jugend forscht 2013

---

---



# Brennstoffzellen

„Auswirkungen von  
Erschütterungen auf die Leistung  
einer Brennstoffzelle“

Jugend Forscht 2013

von Kjell Wistoff

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b> .....	<b>1</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>1</b>
<b>BRENNSTOFFZELLEN</b> .....	<b>1</b>
<b>FORSCHUNGSZIEL</b> .....	<b>1</b>
<b>FORSCHUNGSGEGENSTÄNDE</b> .....	<b>2</b>
<b>Brennstoffzellen</b> .....	<b>2</b>
Kosmos Brennstoffzelle Experimentierkasten.....	2
F105 Quattro Fuel Cell .....	2
F103 D Fuel Cell .....	2
<b>Rüttler</b> .....	<b>2</b>
Elektronik des Rüttlers.....	3
<b>Cassy</b> .....	<b>4</b>
<b>REFERENZMESSUNGEN</b> .....	<b>5</b>
Kosmos Brennstoffzelle .....	5
F105 Quattro Fuel Cell .....	5
F103 D Fuel Cell .....	6
<b>FEHLERQUELLEN</b> .....	<b>6</b>
<b>MODIFIZIERUNG DER MESSMETHODE</b> .....	<b>7</b>
<b>MESSUNGEN MIT VERSCHIEDENEN FREQUENZEN</b> .....	<b>9</b>
<b>Frequenz 1 (5Hz)</b> .....	<b>9</b>
<b>Frequenz 2 (15Hz)</b> .....	<b>10</b>
<b>Frequenz 3 (35Hz)</b> .....	<b>11</b>
<b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE</b> .....	<b>12</b>
<b>Fehlerbetrachtung</b> .....	<b>13</b>
<b>FAZIT</b> .....	<b>15</b>
<b>AUSBLICK</b> .....	<b>15</b>
<b>LITERATUR</b> .....	<b>16</b>

## VORWORT

Ich habe mich für das Thema entschieden, weil es mich einerseits sehr interessiert und weil ich denke, dass Brennstoffzellen im Rahmen der erneuerbaren Energien für unsere zukünftige Versorgung wichtig sind. Man wird voraussichtlich gute Alternativen zu den „nicht erneuerbaren Energien“ brauchen, weil diese bald aufgebraucht sein werden.

## Danksagung

Ich möchte mich bei meinen Lehrern und Mentoren Nina und Ingo Wentz bedanken. Als Experte für Brennstoffzellentechnik stand mir Hendrik Langnickel mit Rat und Tat zur Seite. Ich möchte mich außerdem bei Richard Bräucker vom School\_Lab des DLR Köln und Joachim Jungsbluth vom Zentrum für Brennstoffzellentechnik in Duisburg bedanken. Herzlichen Dank auch an alle Physikusse und meine Familie.

## BRENNSTOFFZELLEN

Bei den meisten Umwandlungen von chemischer zu elektrischer Energie geht viel Energie verloren, da sie zunächst in Wärme umgewandelt wird. Dies ist bei einer Brennstoffzelle nicht der Fall. Hier wird die elektrische Energie direkt aus der Reaktion von Sauerstoff und Wasserstoff gewonnen.

Es besteht die Möglichkeit, dass die Brennstoffzelle in der Zukunft eine bedeutende Art der Energiezurückgewinnung von Wasserstoff zu elektrischer Energie wird. Die Brennstoffzelle gehört nicht zu den erneuerbaren Energien, da man Strom benötigt um den Wasserstoff für die Brennstoffzelle herzustellen. Deswegen spielt sie eher bei der Speicherung von elektrischer Energie in Form von Wasserstoff eine Rolle.

## FORSCHUNGSZIEL

Auf die Idee, Brennstoffzellen einem Alltagstest zu unterziehen, kam ich durch einen Besuch beim ZBT (Zentrum für Brennstoffzellentechnik) in Duisburg. Alltagstest bedeutet, dass ich überprüfen möchte, ob Brennstoffzellen bei Belastungen weiterhin konstante Energie liefern. Belastungen sind zum Beispiel Erschütterungen wie sie beim Fahren über verschiedene Bodenbeläge entstehen. Wenn sich die Leistung der Brennstoffzelle durch bestimmte Arten von Erschütterungen ändert, müsste man dies in einem Fahrzeug mit einplanen. Das Thema „Auswirkungen von Erschütterungen auf die Leistung einer Brennstoffzelle“ wurde laut Herrn Jungsbluth vom Zentrum für Brennstoffzellentechnik, Duisburg am 2. März 2011 bisher kaum erforscht.

Ich möchte eine Brennstoffzelle mit Hilfe eines „Rüttlers“ Erschütterungen aussetzen, der die Bewegungen eines Fahrzeugs auf verschiedenen Straßenbelägen simuliert. Anschließend soll gemessen werden, ob sich die Leistung der Brennstoffzelle durch verschiedene Schwingungen verändert. Dazu müssen zuerst Referenzwerte gefunden werden, die den Verbrauch von Sauer- und Wasserstoff einer Brennstoffzelle unter normalen Bedingungen (Referenzmessungen) zeigen. Bei diesen wird der Punkt mit der höchsten Leistung erfasst.

## **FORSCHUNGSGEGENSTÄNDE**

### **Brennstoffzellen**

Beim Arbeiten mit Wasserstoff müssen selbstverständlich Gefahren berücksichtigt und Schutzmaßnahmen beachtet werden (siehe Datenblatt für verdichteten Wasserstoff, wobei hier alle Daten, die auf Druck zurückzuführen sind, nicht wichtig sind).

Ich habe Experimente mit drei verschiedenen Brennstoffzellen durchgeführt.

#### **KOSMOS BRENNSTOFFZELLE EXPERIMENTIERKASTEN**

Leistung bei Betriebsart  $H_2/O_2$ : keine Herstellerangabe  
Leistung bei Betriebsart  $H_2/Luft$ : keine Herstellerangabe  
H x B x T: 65 x 65 x 17 mm  
Gewicht: 121g  
Firma: KOSMOS



#### **F105 QUATTRO FUEL CELL**

Leistung bei Betriebsart  $H_2/O_2$ : 2 W  
Leistung bei Betriebsart  $H_2/Luft$ : 600 mW  
H x B x T: 62 x 60 x 62 mm  
Gewicht: 78 g  
Firma: H-tec



#### **F103 D FUEL CELL**

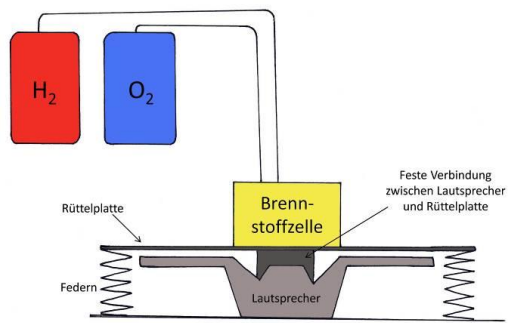
Leistung bei Betriebsart  $H_2/O_2$ : 500 mW  
Leistung bei Betriebsart  $H_2/Luft$ : 150 mW  
H x B x T: 50 x 40 x 50 mm  
Gewicht: 52 g  
Firma: H-tec



### **Rüttler**

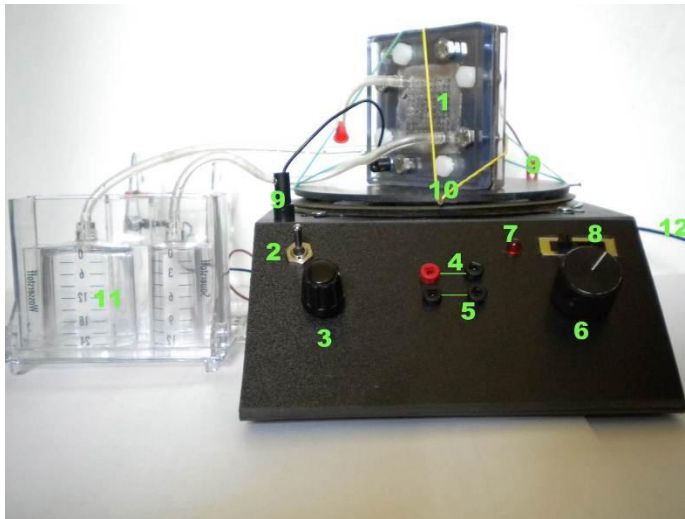
Der Rüttler besteht im Wesentlichen aus einem Lautsprecher, der Schwingungen erzeugt. Diese werden mit einer festen Verbindung von der Lautsprechermembran zur Rüttelplatte übertragen. Eine feste Verbindung ist sehr wichtig, damit die Schwingungen wirklich 1:1 an der Platte ankommen. Die Brennstoffzelle befindet sich auf der Rüttelplatte. Zur Stabilisation dienen Federn als Verbindung zum Tisch. Die Brennstoffzelle wird mit Wasserstoff und Sauerstoff versorgt, der außerhalb des Rüttlers in Behältern unter Beachtung aller Sicherheitshinweise gelagert wird.

## Brennstoffzellen



**Abbildung 1: Skizze des Aufbaus für den Rüttler**

Beim ersten Aufbau des Rüttlers fiel allerdings auf, dass man die Federn zur Lagerung nicht benötigt. Außerdem habe ich den Aufbau noch ummantelt, um für mehr Übersichtlichkeit zu sorgen.

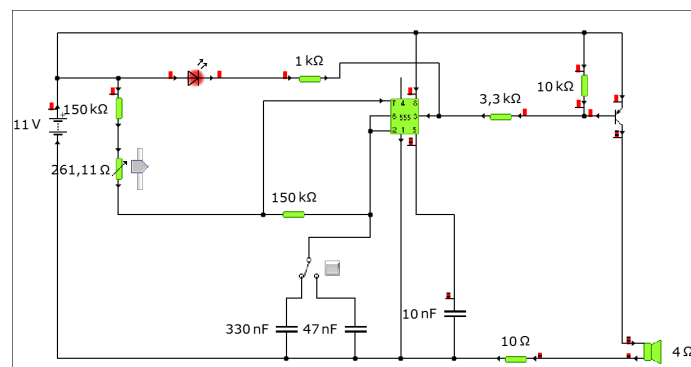


**Abbildung 2: Rüttler**

- 1 Brennstoffzelle
- 2 Ein-Aus-Schalter
- 3 Potenziometer zum Verstellen der Frequenz
- 4 Messbuchsen (Spannung)
- 5 Messbuchsen (Strom)
- 6 Poti zum Verstellen des Widerstandes
- 7 LED (blinkt in der Frequenz)
- 8 Schalter zum Verstellen der versch. Frequenzbereiche
- 9 Anschlüsse der Brennstoffzelle
- 10 Befestigung aus Gummis
- 11 Wasser- und Sauerstofftank
- 12 Stromanschluss

## ELEKTRONIK DES RÜTLERS

Ich benutze einen astabilen-Multivibrator, der mit einem Lautsprecher verbunden ist. So lässt sich durch Verstellen des Potentiometers ein unterschiedlich schnelles Rütteln erzeugen. Ich habe 3 verschiedene Kondensatoren (330nF, 100nF, 47nF) verwendet, wodurch ich drei verschiedene Frequenzbereiche erzeugen kann. Ich habe mit 5Hz, 15Hz und 35Hz gemessen.



**Abbildung 3: Schaltkreis des Rüttlers**

## Brennstoffzellen

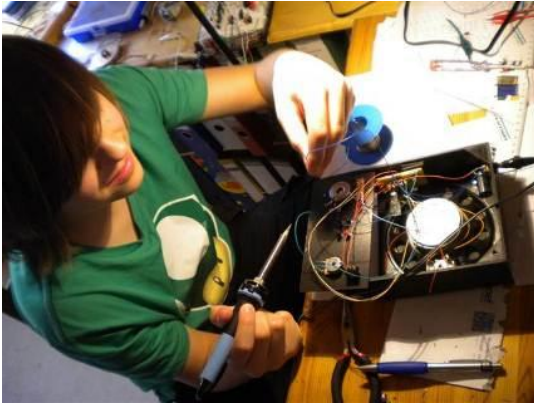


Abbildung 4: Zusammenlöten des Rüttlers



Abbildung 5:  
Bau des Gehäuses für den Rüttler

## Cassy

CASSY® ist eine eingetragene Marke der Firma Leybold Didactic GmbH. Es besteht aus einer Station, dem Cassy-Lab, an das verschiedene Module gekoppelt werden. Mit der dazugehörigen Software, kann man die Messung auf dem Computer einlesen und speichern.

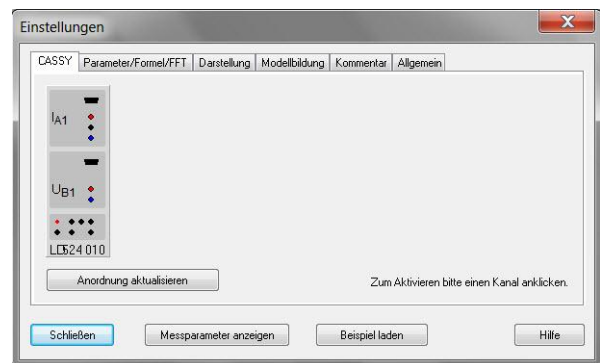


Abbildung 6: Einstellung des Cassy Moduls



Abbildung 7: Messparameter der Cassy Messungen

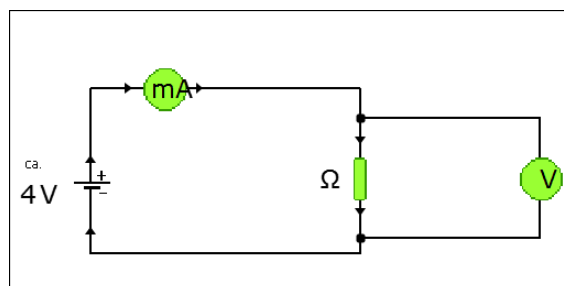


Abbildung 8: Darstellung zum Messen von Spannung und Strom in der Schaltung des Rüttlers

Die Daten habe ich aus Cassy zur besseren Verarbeitung und Verdeutlichung in Excel, bzw. / Origin kopiert und dann Diagramme erstellt.



## REFERENZMESSUNGEN

Ich habe mit Hilfe von Messwiderständen, die ich an die Brennstoffzelle als Verbraucher angeschlossen habe, den Strom und die Spannung gemessen. Aus diesen 2 Werten habe ich die Leistung in Watt errechnet ( $P=U \cdot I$ ). Die Ergebnisse habe ich dann in eine Tabelle eingetragen und danach in ein Diagramm umgewandelt.

Normalbedingungen:

- 20°C (Raumtemperatur)
- genug Sauer- und Wasserstoff
- Brennstoffzelle vor den Messungen warmlaufen lassen

## KOSMOS BRENNSTOFFZELLE

Widerstand / mΩ	Spannung / mV	Strom / mA	Leistung / mW
1400	1300	167	217
2800	1430	132	188
3500	1480	116	172
4200	1540	99	153
5100	1580	89	141
6200	1620	80	130
7100	1640	74	122
8000	1670	67	112
9000	1700	62	105
10000	1710	58	99
11500	1730	53	92
12300	1740	51	88
13100	1750	48	83
14000	1760	45	79
15000	1770	43	76

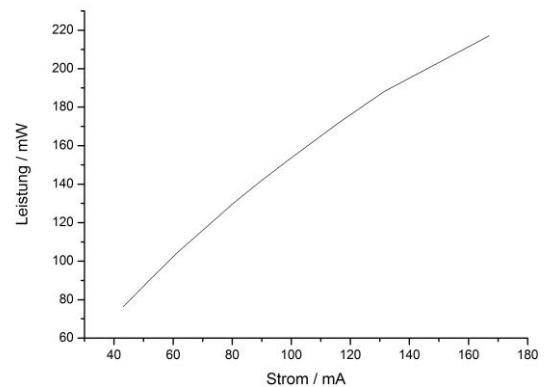


Abbildung 9: Strom-Leistungskurve

## F105 QUATTRO FUEL CELL

Widerstand / mΩ	Spannung / mV	Strom / mA	Leistung / mW
0	280	1760	490
130	450	1640	738
220	610	1540	939
330	680	1500	1020
550	960	1300	1248
3200	2010	600	1206
3530	2050	560	1148
4700	2220	460	1021
5030	2260	430	972
10000	2600	260	676
14700	2730	180	491
15300	2760	170	469

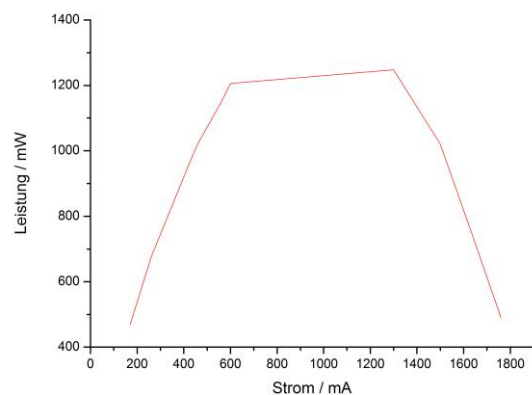


Abbildung 10: Strom-Leistungskurve



## F103 D FUEL CELL

Widerstand / mΩ	Spannung / mV	Strom / mA	Leistung / mW
1310	550	420	231
1305	550	422	232
1288	545	423	231
1279	545	426	232
1270	545	429	234
1260	545	433	236
1250	545	436	238
1222	540	442	239
1182	530	449	238
1151	530	461	244
1095	520	475	247
1008	510	506	258
817	475	582	276
458	370	808	299
336	310	924	286

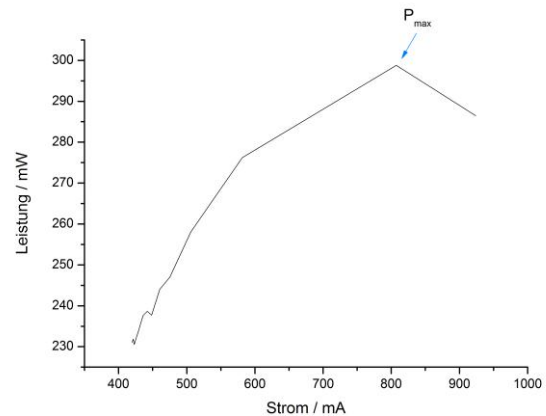


Abbildung 11: : Strom-Leistungskurve

Punkt der höchsten Leistung (MPP = Maximum Power Point):

Leistung: 0,299 W

Strom: 0,807 A

Spannung: 0,37 V

Widerstand: 0,458

## FEHLERQUELLEN

Eine mögliche Fehlerquelle ist, dass die Kurve durch Mangel an Sauer- und Wasserstoff abfällt. Aus diesem Grund habe ich die Gasausgänge der Brennstoffzelle so manipuliert, dass immer ein wenig Sauerstoff und Wasserstoff hindurchfließt. Dafür habe ich an die Ausgänge einfach ein Stück Frischhaltefolie und darüber eine Schicht Tesafilm befestigt und in diese mit einer Nadel ein Loch gestochen. Durch diese Manipulation konnte ich die Brennstoffzelle zwar länger aber für meine Idee immer noch nicht lang genug konstant betreiben. Jedoch ist diese Methode auf Grund des großen Gasverlustes nicht alltagstauglich und daher für meine weiteren Versuche ebenfalls nicht geeignet.

Kurz bevor ich die Messung starte spüle ich die Brennstoffzelle einmalig mit neuem Wasser- und Sauerstoff.

Ein anderes Problem ist der Abtransport des Endprodukts (Wasser). Bei jeder Durchführung verstopfen die Öffnungen der Brennstoffzelle mit Wasser. Ein Gasaustausch ist dann nicht mehr möglich. Ich musste die Brennstoffzelle dann erst trocknen, bevor ich eine neue Messung machen konnte. Dieses Problem haben die Hersteller von Brennstoffzellen auch erkannt. Dort versucht man mit einem besseren Design der Gänge in den Bipolarplatten das Problem zu lösen (siehe Gespräch mit Herrn Jungsbluth).

## MODIFIZIERUNG DER MESSTMETHODE

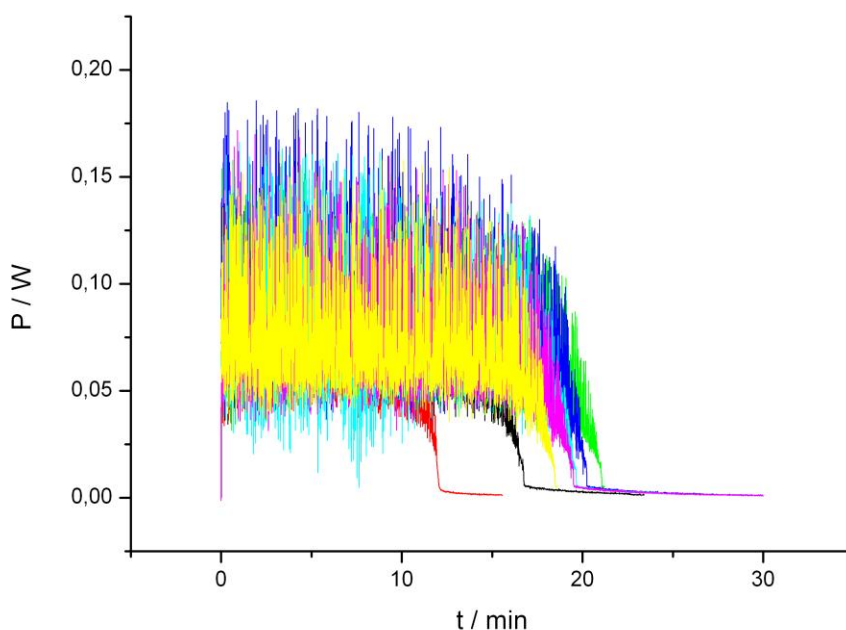
Die folgenden Messungen habe ich nur noch mit der F103 D Fuel Cell gemacht, da diese am zuverlässigsten funktioniert.

Zuerst versuchte ich den Punkt zu finden, an dem die Brennstoffzelle die höchste Leistung hat. An diesem Punkt wollte ich die Brennstoffzelle dann später auf dem Rüttler testen. Da dieser Bereich sehr klein war, fügte ich einen 0,27 Ohm Widerstand in die Schaltung des Potenziometers ein. Um noch genauere Messungen zu erzielen, tauschte ich das relativ große Potentiometer gegen ein kleineres 2 Ohm Poti, aber die Kurve blieb bei mehreren Messungen gleich.

Das entscheidende ist der MPP (Maximum Power Point), an dem die Leistung am höchsten ist. Er ist beispielhaft in Abbildung 9 mit einem blauen Pfeil markiert. Es wäre am effektivsten, wenn man die Brennstoffzelle mit dem dort vorhandenen Widerstand betreibt.

Leider ist es mir nicht gelungen, die Brennstoffzelle über längere Zeit auf dem MPP zu betreiben.

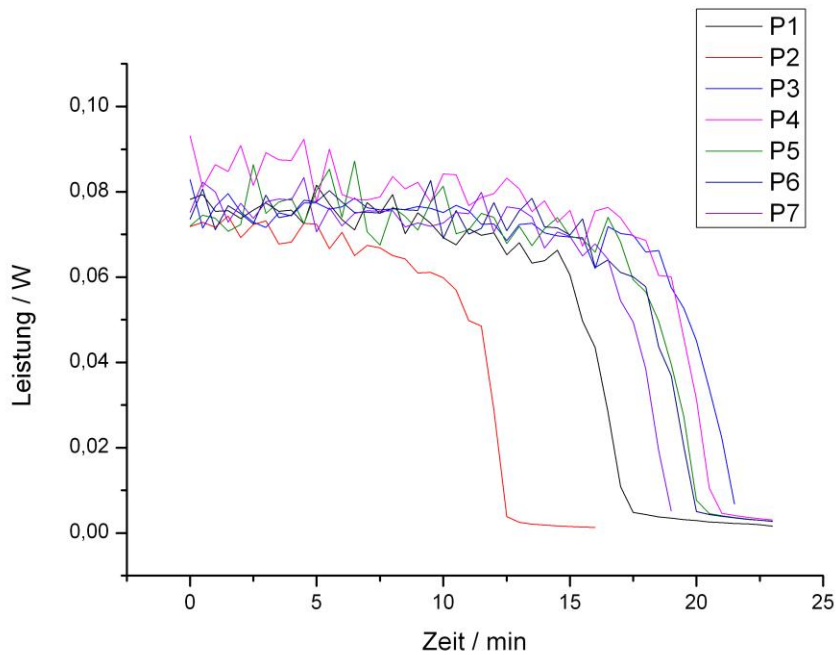
Aus diesem Grund kann ich meine eigentliche Idee bei der ich die Auswirkung des Rüttelns auf eine veränderte Leistung beim Betrieb der Brennstoffzelle am MPP sehen wollte, nicht umsetzen. Auffällig ist, dass die Leistung immer zu einer bestimmten Zeit nachlässt. Das konnte ich in mehreren Messungen feststellen. Deshalb mache ich mir den unabdingbaren Leistungsabfall als neue Referenz für weitere Messungen zu Nutze. In den folgenden Experimenten verwende ich nicht mehr einen Referenzpunkt (MPP), sondern eine Referenzkurve und den Zeitpunkt des Leistungsabfalls. Um diese zu erstellen, habe ich sechs Dauermessungen über 30 Minuten gemacht.



**Abbildung 12: Sechs Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm bei Normalbedingungen**

Hier sieht man diese 6 Messungen übereinander dargestellt. Der deutliche Gelbanteil ist, weil diese als letztes eingezeichnet wurde, nicht weil sie am meisten schwankte. Wegen der besseren Übersicht habe ich für jede Messung aus allen Messungen einer halben Minute nur noch einen Messwert dargestellt.

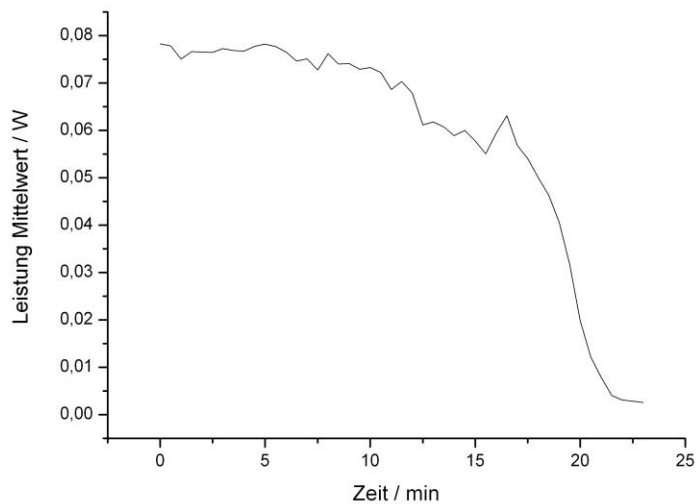
## Brennstoffzellen



**Abbildung 13: Sechs Messungen mit Mittelwertbildung über einer halben Minute**

Wie man erkennt nimmt die Leistung bei allen - außer der roten Kurve - zwischen ca. 16 und 22 Minuten Messzeit ab. Bei der roten Kurve handelt es sich vermutlich um einen Messfehler. Hier habe ich wahrscheinlich nicht sorgfältig genug gelüftet. Deshalb nehme ich diese aus den weiteren Betrachtungen heraus.

Aus den 5 Einzelmessungen habe ich nun eine einzige Referenzkurve gemittelt, auf die ich mich bei den Versuchen mit eingeschaltetem Rüttler beziehen werde.



**Abbildung 14 Gemittelte Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm bei Normalbedingungen**

## MESSUNGEN MIT VERSCHIEDENEN FREQUENZEN

### Frequenz 1 (5Hz)

Hier sieht man 3 Messungen, welche beide beim Rütteln mit 5 Hz aufgenommen wurden. Diese Messungen liegen im Normalbereich der Referenzmessung.

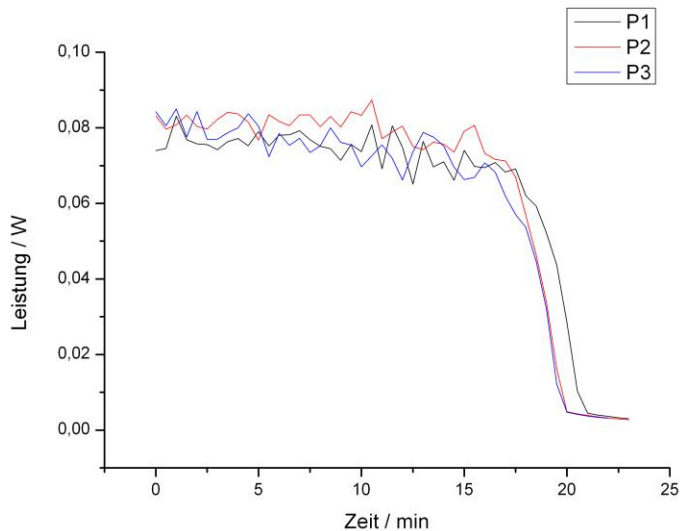


Abbildung 15: Drei Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm beim Rütteln mit 5Hz

Der Leistungsabfall findet zwischen der 19. und 21. Minute statt und liegt damit klar erkennbar im Normalbereich. Erstaunlich ist, dass bei zwei dieser Messungen das Ereignis genau nach 19 Minuten und 40 Sekunden eintritt. Zunächst einmal sieht es so aus, als ob das Rütteln in diesem Frequenzbereich keinen Einfluss auf Leistung, bzw. auf den Zeitpunkt des Leistungsabfalls hätte. Um es besser mit den folgenden Messungen vergleichen zu können, mache ich aus den drei Messungen eine gemittelte Messung.

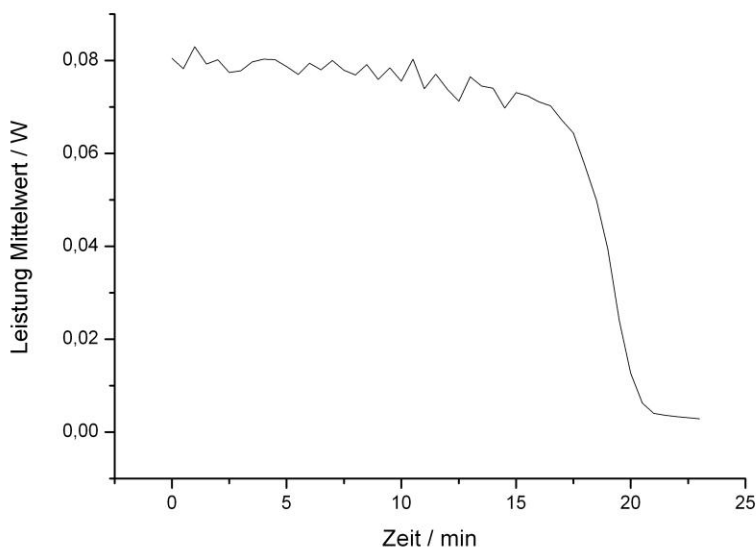
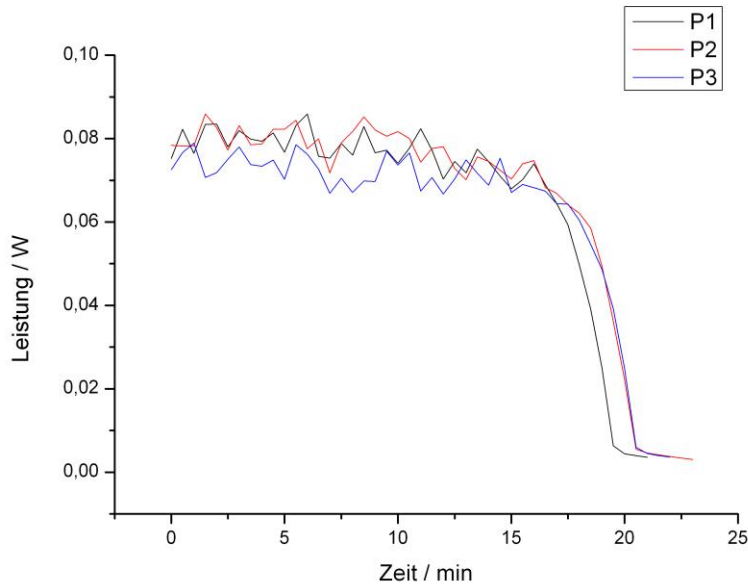


Abbildung 16: Gemittelte Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm beim Rütteln mit 5Hz

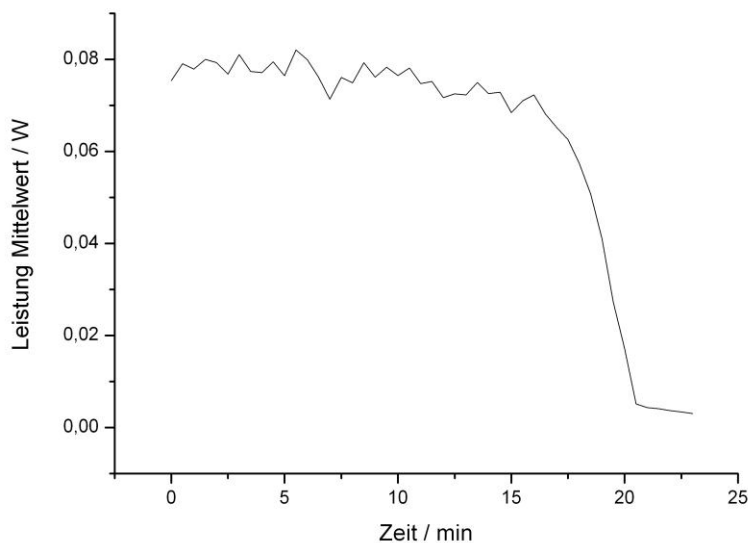
**Frequenz 2 (15Hz)**

Hier sieht man drei Messungen welche beide beim Rütteln mit der Frequenz 15 Hz aufgenommen wurden.



**Abbildung 17: Drei Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm beim Rütteln mit 15Hz**

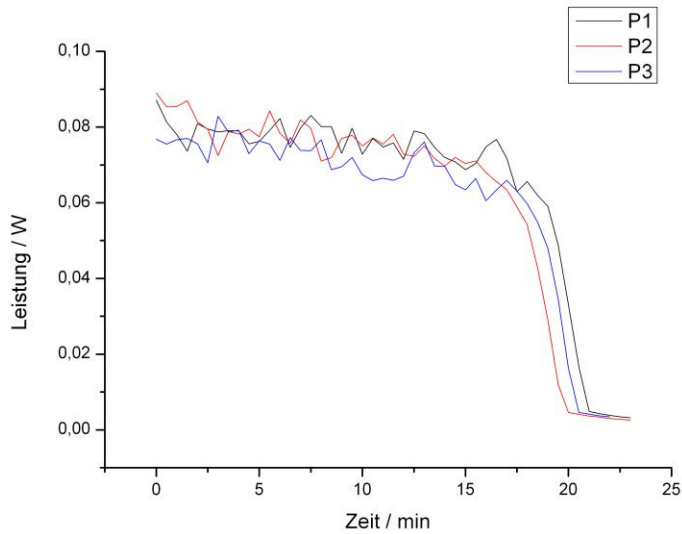
Auch diese Messungen zeigen denselben Verlauf wie die Referenzmessung. Wieder sind Leistung und Zeitpunkt des Leistungsabfalls gleich.



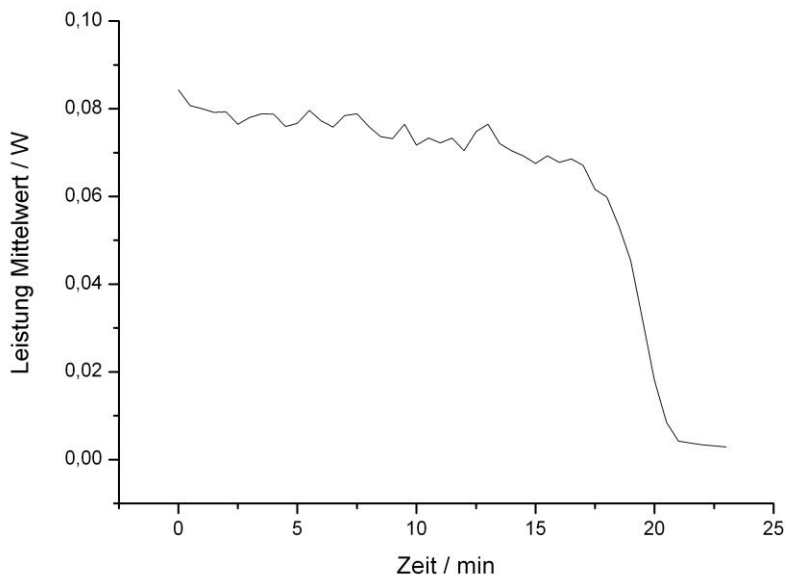
**Abbildung 18: Gemittelte Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm beim Rütteln mit 15Hz**

**Frequenz 3 (35Hz)**

Auch diese Messungen mit 35Hz liegen im Normalbereich. Der Leistungsabfall liegt zwischen 19 und 21 Minuten und damit zwar innerhalb der Referenzmessung aber deutlich am oberen Rand. Das heißt, dass die Brennstoffzelle bei einem Rütteln mit 35Hz etwas länger die Leistung halten kann.



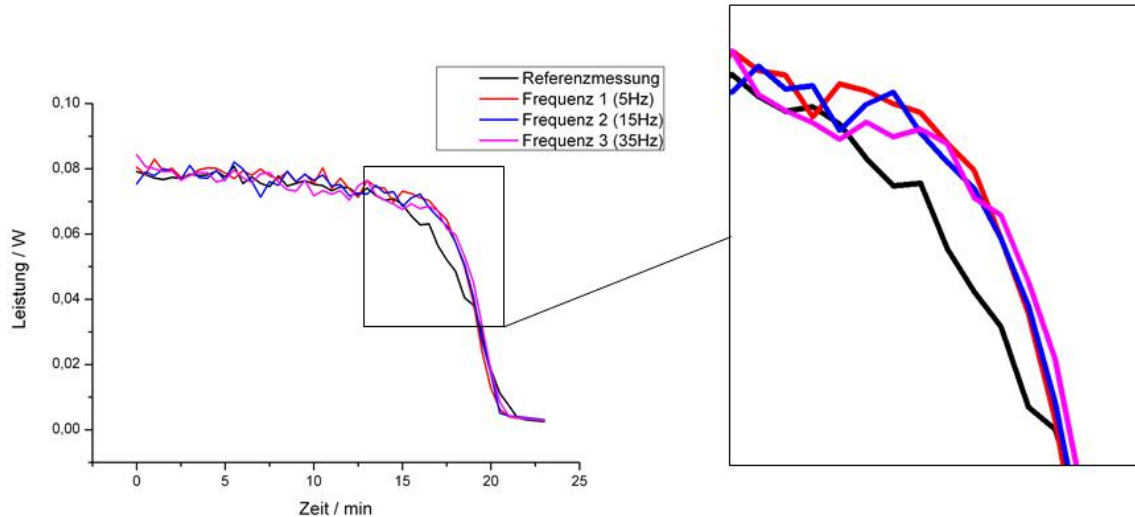
**Abbildung 19: Drei Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm beim Rütteln mit 35Hz**



**Abbildung 20: Gemittelte Messungen im Leistungs-Zeit Diagramm beim Rütteln mit 35 Hz**

## DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die einzelnen Diagramme sehen alle ähnlich aus. Deshalb habe ich sie hier einmal übereinander gelegt.



**Abbildung 21: Referenzmessung und die gemittelten Messungen mit den verschiedenen Frequenzen**

Bei allen Messungen blieb die Leistung der Brennstoffzelle zunächst ungefähr bei 0,08 Watt mehr oder weniger konstant. Die Leistung lässt aber beständig ein wenig nach. Das ist unabhängig davon, ob die Brennstoffzelle durch Rütteln gestört wird oder nicht.

Die Leistung lässt immer zwischen der 16. und 22. Minute nach. Auch das ist unabhängig vom Rütteln. Ein wenig heraus sticht die Referenzmessung. Hier lässt die Leistung der Brennstoffzelle insgesamt früher nach, als bei den Messungen mit eingeschaltetem Rüttler. Außerdem lässt sie nicht so plötzlich nach.

In allen Messungen geht die Leistung nach dem Abfall auf null. Das bedeutet, dass die Brennstoffzelle nach dem Leistungsabfall nicht nur behindert ist, sondern völlig unbrauchbar. In meinen Versuchen musste ich jedes Mal erneut mit den wertvollen Gasen fluten und dadurch einen großen Gasverlust hinnehmen, damit ich die Brennstoffzelle überhaupt wieder benutzen konnte. Das ist meiner Meinung nach nicht alltagstauglich.

Zu Anfang meiner Forschung dachte ich, dass die Brennstoffzelle durch das Rütteln bestimmt in ihrer Leistung gestört wird und eine geringere, aber konstante Leistung hat. Im Diagramm 21 erkennt man aber eigentlich genau das Gegenteil. Die Brennstoffzelle funktioniert etwas länger mit Rütteln, als ohne (Referenzkurve).

Wie schon erwähnt ist das größte Problem der Abtransport des Wassers. Wahrscheinlich wird der Abtransport durch das Rütteln verbessert. Deshalb setzt der Leistungsabfall später ein. Aber wenn das Wasser sich dann angesammelt hat, lässt die Leistung umso plötzlicher nach. Das liegt wahrscheinlich daran, dass sich das Wasser in Tropfen sammelt und Engstellen verstopft. Unter Rütteln können Tropfen gelöst werden, wenn im Ausführungsgang noch Platz ist. Ist kein Platz mehr vorhanden ist es egal, ob man rüttelt oder nicht.



## Brennstoffzellen

Diese Vermutung liegt nahe wenn man sich die Form der Referenzkurve in der Ausschnittsvergrößerung anschaut: In der Referenzmessung nimmt die Leistung zu einem früheren Zeitpunkt schon ab, aber eben nicht so stark. Das spricht dafür, dass ein Teil der Brennstoffzelle nicht mehr arbeitet, weil sie durch Tropfen behindert wird.

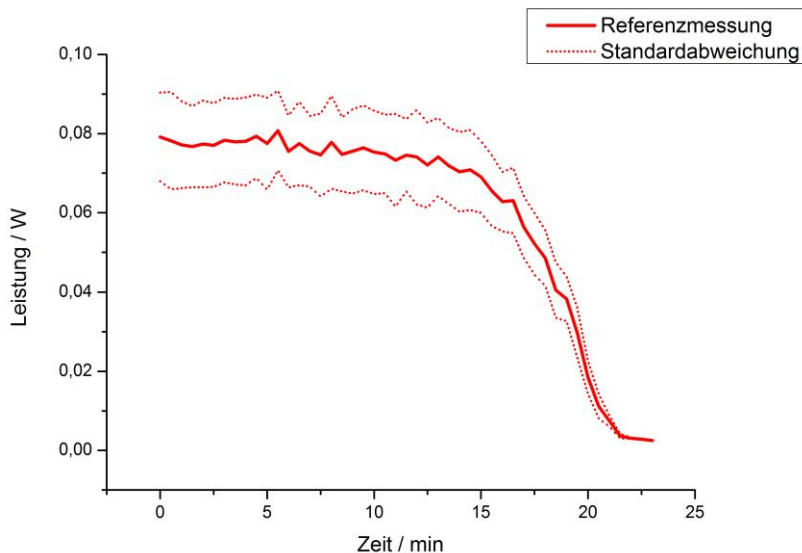
Bei den Messungen unter Rütteln passiert das nicht. Dort erfolgt der Leistungsabfall plötzlich und bis auf null, weil der Hauptausgang schlagartig verstopft ist.

Der positive Rüttel-effekt ist nicht so überzeugend dass ich daraus schließen würde, Brennstoffzellen sollten besser nur unter Rütteln betrieben werden.

### Fehlerbetrachtung

Um die schwankende Leistung bei allen Kurven ein wenig besser interpretieren zu können, habe ich für den Graphen von der Referenzmessung die Standardabweichung berechnet und eingezeichnet.

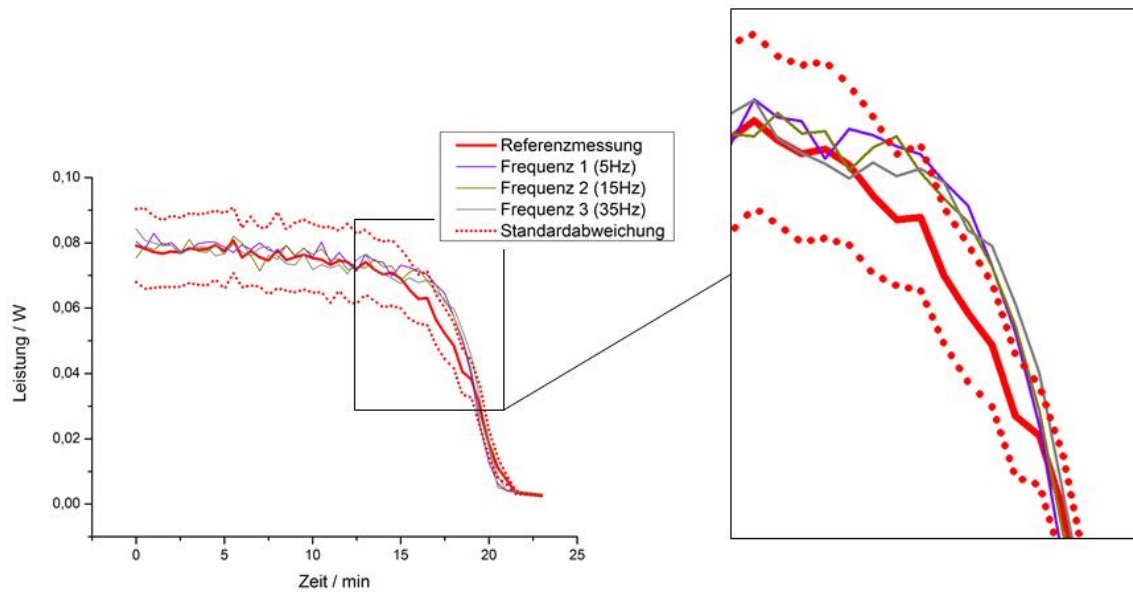
Ich habe für jeden Punkt auf der roten Linie (Mittelwert aus einer halben Minute) die Standardabweichung berechnet. Die gepunktete Linie oberhalb zeigt damit eine mittlere Abweichung nach oben, die untere gepunktete Linie eine mittlere Abweichung nach unten. So erhalte ich einen Bereich, in dem die meisten Messwerte liegen.



**Abbildung 22: Referenzmessung mit Standardabweichung**

Wenn man jetzt die anderen Messlinien (5Hz, 15Hz und 35Hz-Messung) einzeichnet (siehe Abbildung 23), erkennt man, dass die Graphen von allen Messungen inklusive aller Schwankungen fast überall ganz locker innerhalb dieses Bereiches liegen. Heraus fällt der Bereich, den ich in einer Vergrößerung heraus gestellt habe.

## Brennstoffzellen



**Abbildung 23: gemittelte Referenzmessung mit Standardabweichung und die gemittelte Messung mit anderen Frequenzen**

In der Ausschnittsvergrößerung erkennt man, dass die Graphen der Versuche mit eingeschaltetem Rüttler alle oberhalb der Standardabweichung liegen.

Das zeigt noch einmal, dass die Leistung der Brennstoffzelle grundsätzlich immer gleich ist, ob mit oder ohne Rütteln. Nur der Leistungsabfall setzt bei den Rüttelversuchen später und plötzlicher ein.

## FAZIT

Es gibt viele Gründe, weshalb es mir nicht gelang, Brennstoffzellen einem Alltagstest zu unterziehen.

Als erstes fiel auf, dass meine Brennstoffzellen nicht über einen längeren Zeitraum eine konstante Leistung erbringen konnten. Es waren keine reproduzierbaren Normalmessungen möglich, bei der der Punkt mit der höchsten Leistung erfasst wird.

Durch die fehlenden grundlegenden Messungen konnte ich keine Strom–Leistungsdiagramme erstellen. Daher habe ich mich entschlossen Zeit-Leistungs-Diagramme zu erstellen. Hier konnte ich zeigen, dass Brennstoffzellen durch Erschütterungen zwar im Rahmen der Toleranzgrenzen die gleiche Leistungskurve zeigen, aber der Leistungsabfall später beginnt. Das zeigt deutlich, dass Erschütterungen innerhalb der von mir getesteten Frequenzen keine Auswirkung auf die Leistungshöhe von Brennstoffzellen haben. Nur der Leistungsabfall setzt bei den Rüttelversuchen später und plötzlicher ein.

Insgesamt erwies sich die Zufuhr von den Betriebsgasen und vor allem auch der Abtransport des Endprodukts (Wasser) als problematisch. Deshalb habe ich die Brennstoffzellen auf eine unkonventionelle Weise betreiben müssen, wie sie eigentlich nicht vorgesehen und in Fahrzeugen nicht machbar ist.

Ein anderes Problem ist das fehlende Datenmaterial, zum Beispiel die Kenndaten der Brennzelle von Kosmos. Insbesondere die Industrie hat offensichtlich kein Interesse daran, dieses weiterzugeben. Auch an Industriebrennstoffzellen für Versuche bin ich leider nicht dran gekommen.

In den zwei Jahren Forschungsarbeit an Brennstoffzellen hat sich meine Sichtweise grundlegend geändert. Ich habe Probleme erkannt, von denen ich vorher nichts wusste. Ich denke nicht mehr, dass Brennstoffzellen für unsere zukünftige Versorgung die entscheidende Rolle spielen, die ich mir zu Beginn vorgestellt habe. Sie hat genau wie andere Alternativen Alltagsprobleme, die es in den Griff zu bekommen gilt.

Die Arbeit hat mir Einblicke in die Forschungsarbeit gegeben. Ich habe viel gelernt über die Erhebung von Daten, das Erstellen von Diagrammen und das Interpretieren von Ergebnissen.

## AUSBLICK

Die Probleme des Abtransports von Wasser als zentrales Problem der Arbeit interessiert mich weiterhin ganz besonders. In einem neuen Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit der Uni Singapur untersuche ich das Verhalten von Nanoblasen und Nanotropfen. Damit möchte ich Lösungen für das Problem des Abtransports des Endprodukts (Wasser) in Brennstoffzellen finden.

## LITERATUR

LD Didactic GmbH, CASSY® Lab Handbuch (524 201), Stand 21.09.2007

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik – Infolyer – Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle

[http://www.lindegas.at/datenblaetter/wasserstoff\\_verdichtet\\_8360.pdf](http://www.lindegas.at/datenblaetter/wasserstoff_verdichtet_8360.pdf)  
02.09.2011 ; 11:49

<http://www.h-tec.com/de/quattro-fuel-cell-h2-o2-air>  
02.09.2011 ; 11:05

<http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>  
03.02.2011 ; 17:30 Uhr

<http://www.h-tec.com/de/fuel-cell-h2-o2-air-f103>  
10.08.2011 ; 16:48

<http://bastelmolch.ba.funpic.de/NE555.htm>  
13.03.2011 ; 16:19

<http://www.ne555.at/timer-ic-ne555/rechner-ne555.html>  
13.03.2011 ; 16:36

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lautsprecher>  
16.04.2011 ; 18:39

Datenblatt für verdichteten Wasserstoff  
[http://www.lindegas.at/datenblaetter/wasserstoff\\_verdichtet\\_8360.pdf](http://www.lindegas.at/datenblaetter/wasserstoff_verdichtet_8360.pdf)

<http://www.dieelektronikerseite.de/Tools/NE555.htm>  
18.12.12 ; 19:44