

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Sciences**

**Erstellung eines Optimierungsmodells beim Zusammenspiel verschiedener  
Erneuerbarer Energiequellen bei gegebenem Verbrauchsprofil**

Bachelorarbeit

im Studiengang  
Umwelttechnik

vorgelegt von

**Daulet Bakytzhan**



am 11. August 2021

**Gutachterin:** Dr.-Ing. Dagmar Rokita (HAW Hamburg)  
**Gutachter:** Carsten Westarp (HAW Hamburg)



# **Inhaltverzeichnis**

<b>Inhaltverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Übersicht auf die aktuelle Situation im Energiebereich .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Umweltproblemen und internationale Kooperation .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Entwicklung der erneuerbaren Energiequellen.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Stromversorgungssystem und Netzstabilität.....</b>	<b>6</b>
2.3.1 Netzbetreibern Deutschlands .....	6
2.3.2 Ausgleichung des Netzes.....	8
<b>2.4 Aktueller Stand im Wasserstoff Industrie.....</b>	<b>11</b>
2.4.1 Funktionsprinzip und Klassifizierung der Brennstoffzellen.....	12
2.4.2 Wasserstoffproduktion.....	16
2.4.3 Strategie von Europäischer Union.....	17
2.4.4 Strategie von Deutschland .....	18
<b>3 Durchführung der Experimente.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Beschreibung der Geräte .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Vorversuche .....</b>	<b>25</b>
3.2.1 Solarenergie .....	25
3.2.2 Windenergie.....	33
3.2.3 Brennstoffzelle.....	41
<b>3.3 Stresstest .....</b>	<b>53</b>

3.3.1	Begriffe.....	54
3.3.2	Untersuchung Szenario 1.....	57
3.3.3	Untersuchung Szenario 2.....	62
3.3.4	Untersuchung Szenario 3.....	67
3.3.5	Untersuchung Szenario 4.....	71
<b>4</b>	<b>Auswertung für reale Verbraucher .....</b>	<b>75</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>83</b>
	<b>Anhangverzeichnis.....</b>	<b>A-1</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland 1990-2020. Quelle [6].....	5
Abbildung 2. Regelzonen der Übertragungsnetzbetreibern in Deutschland. Quelle [12].....	7
Abbildung 3. Diagramm für die Regelung der Netzfrequenz. Quelle [15] .....	10
Abbildung 4. Prinzipaufbau einer PEM-Brennstoffzelle. Quelle [18] .....	13
Abbildung 5. Spannung und Leistung einer Zelle als Funktion der Stromdichte. .	14
Abbildung 6. Brennstoffzellentypen und ihre Funktionsprinzipie. Quelle [19] .....	15
Abbildung 7. Klimaneutrale Stromversorgung von Rolls Royce. Quelle [18] .....	21
Abbildung 8. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der einzelnen Solarzellen	26
Abbildung 9. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der Reihenschaltung der Solarzellen .....	27
Abbildung 10. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom als Funktion der Bestrahlungsstärke.....	28
Abbildung 11. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen .....	29
Abbildung 12. Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen bei 320 W/m <sup>2</sup> .....	30
Abbildung 13. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Solarzellen bei 320 W/m <sup>2</sup> ...	30
Abbildung 14. Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen bei 200 W/m <sup>2</sup> .....	31
Abbildung 15. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Solarzellen bei 200 W/m <sup>2</sup> ...	31
Abbildung 16. Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen bei 60 W/m <sup>2</sup> .....	32
Abbildung 17. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Solarzellen bei 60 W/m <sup>2</sup> .....	32

Abbildung 18. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom als Funktion des Flügelwinkels.....	34
Abbildung 19. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom als Funktion der Windgeschwindigkeit.....	34
Abbildung 20. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie der Windkraftanlage .....	36
Abbildung 21. Strom-Spannungs-Kennlinie der Windkraftanlage bei 10 m/s.....	37
Abbildung 22. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Windkraftanlage bei 10 m/s	37
Abbildung 23. Strom-Spannungs-Kennlinie der Windkraftanlage bei 6 m/s.....	38
Abbildung 24. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Windkraftanlage bei 6 m/s..	38
Abbildung 25. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie der Verbraucher .....	39
Abbildung 26. Strom-Spannungs-Kennlinie der Verbraucher und Leistung ihrer Komponenten.....	40
Abbildung 27. Leistungswerten der Energiequellen bei mittlerem Wetter .....	40
Abbildung 28. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs .....	42
Abbildung 29. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs .....	43
Abbildung 30. Schaltplan für die Bestimmung der Gasgewinnung beim Zusammenspiel mit den Solarzellen.....	44
Abbildung 31. Strom-Spannungs-Kennlinie des Lastwiderstands bei 200 W/m <sup>2</sup> ..	45
Abbildung 32. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs bei 200 W/m <sup>2</sup> .....	45
Abbildung 33. Schaltplan für die Bestimmung der Gasgewinnung beim Zusammenspiel mit der Windkraftanlage.....	46
Abbildung 34. Strom-Spannungs-Kennlinie des Lastwiderstands bei 6 m/s .....	47

Abbildung 35. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs bei 6 m/s .....	47
Abbildung 36. Schaltplan für die Bestimmung der Gasgewinnung beim Zusammenspiel mit den beiden Energiequellen .....	49
Abbildung 37. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs bei 200 W/m <sup>2</sup> und bei 6 m/s.....	49
Abbildung 38. Schaltplan für die Bestimmung des Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzellen.....	50
Abbildung 39. Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzellen.....	51
Abbildung 40. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Brennstoffzellen.....	52
Abbildung 41. Schaltplan des Energiesystems.....	57
Abbildung 42. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 1 .....	58
Abbildung 43. Wetter im Szenario 1 .....	59
Abbildung 44. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 1 .....	60
Abbildung 45. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 1.....	60
Abbildung 46. Energiebilanz im Szenario 1.....	61
Abbildung 47. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 1 .....	62
Abbildung 48. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 2 .....	63
Abbildung 49. Wetter im Szenario 2 .....	63
Abbildung 50. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 2 .....	64
Abbildung 51. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 2.....	65
Abbildung 52. Energiebilanz im Szenario 2.....	66
Abbildung 53. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 2 .....	66
Abbildung 54. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 3 .....	67
Abbildung 55. Wetter im Szenario 3 .....	68

Abbildung 56. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 3 .....	69
Abbildung 57. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 3 .....	69
Abbildung 58. Energiebilanz im Szenario 3 .....	70
Abbildung 59. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 3 .....	70
Abbildung 60. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 4 .....	71
Abbildung 61. Wetter im Szenario 4 .....	72
Abbildung 62. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 4 .....	72
Abbildung 63. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 4 .....	73
Abbildung 64. Energiebilanz im Szenario 4 .....	74
Abbildung 65. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 4 .....	74
Abbildung 66. Struktur des Energieverbrauchs im Szenario 4 .....	78
Abbildung 67. Struktur der Energieerzeugung im Szenario 4 .....	78
Abbildung 68. Füllstand des Speichers von Wasserstoff .....	81

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1. Beschreibung und Bezeichnung der verwendeten Geräte. ....	23
Tabelle 2. Wetter für die Solarzellen.....	28
Tabelle 3. Wetter für die Windkraftanlage.....	35
Tabelle 4. Gasproduktion und Wirkungsgrad des Elektrolyseurs bei gegebenem Strom .....	43
Tabelle 5. Gasproduktion des Elektrolyseurs bei 200 W/m <sup>2</sup> .....	46
Tabelle 6. Gasproduktion des Elektrolyseurs bei 6 m/s .....	48
Tabelle 7. Gasproduktion des Elektrolyseurs bei 200 W/m <sup>2</sup> und bei 6 m/s .....	50
Tabelle 8. Gasverbrauch und Wirkungsgrad der Brennstoffzellen bei gegebenem Strom .....	52
Tabelle 9. Wetter für die Energiequellen.....	54
Tabelle 10. Energiebedarf der Verbraucher .....	54
Tabelle 11. Maximale Leistung der Anlagen im Szenario 4 in kW .....	79

# 1 Einleitung

Die Entwicklung der Industrie in den letzten Jahrhunderten hat weiter immer auf Basis von natürlichen Ressourcen wie Kohl, Öl und Gas gewährleistet. Diese Ressourcen sind heute als konventionelle Energiequellen betrachtet und versorgen den größten Anteil des Energiebedarfs moderner Welt. Sie verursachen aber schon heute die bedrohliche Umweltproblemen wie z.B. Klimawandel.

Erneuerbare Energiequellen wie Windenergie und Solarenergie sind auf dem Weg, ein Basis von dem neuen und nachhaltigen Energieversorgungssystem zu werden. Sie haben bedeutsame Vorteile gegen alte Technologien, wie die Unabhängigkeit von dem Treibstoff und die Emissionsneutralität während der Betriebsdauer. Das wesentliche Problem ist aber die Abhängigkeit von den Umweltfaktoren, die die Störungen im Stromnetz verursachen können.

Um das Stromnetz stabil zu halten, ist ein Energiespeicher notwendig. Ziel des Speichers würde dann, das Angebot und die Nachfrage der Energie kontinuierlich im Gleichgewicht zu halten. Die europäischen Länder sehen in der Wasserstoffindustrie eine echte Chance solches Energiespeicher zu entwickeln. Wasserstoff ist ein perspektiver Brennstoff für das zukünftige Energiebereich, dessen Bedeutung auch in europäische Wasserstoffstrategie bezeichnet ist [1].

Das Ziel dieser Arbeit ist eine Lösung zu finden, bzw. ein Modell von dem 100% erneuerbaren Energieversorgungssystem aufzubauen, in dem kontinuierliche Energieversorgung einer Verbraucher realisiert werden kann. Dafür werden vier unterschiedlichen Szenarien untersucht, in denen die Solarzellen, die Windkraftanlage und die Brennstoffzellen die Rolle der Energiequellen spielen.

## **2 Übersicht auf die aktuelle Situation im Energiebereich**

Heutzutage beherrscht die Menschheit im unterschiedlichen Maße viele Energiequellen. Die industrielle Revolution erforderte für ihre Verwirklichung viel Energie, die durch die Verbrennung der Kohle als Primärenergieträger gewonnen war. Im 20. Jahrhundert wurde die wesentliche Verwendung von Öl und Gas begonnen, was die großen Möglichkeiten für die weitere Entwicklung gegeben hat. Später hat die Menschheit auch die Kernenergie in Betrieb genommen. Heute sind diese Energiequellen als konventionelle genannt.

Die Energie wird in allen Bereichen des modernen Lebens, wie Industrie, Verkehr, Haushalt und usw., verwendet. Die Produktion von gigantischer Menge der Energie hat einen bedeutsamen Beitrag gemacht, damit die moderne Welt möglich wird und damit die Menschen einen hohen Wohlstand haben.

Aber nur in den letzten Jahrzehnten wurden die Probleme deutlich festgestellt, die wegen der Energieproduktion entstehen. Heutzutage sind nicht nur wirtschaftliche Aspekte des Energiebereichs, sondern auch ökologische Herausforderungen im Fokus.

Der Ausstoß von CO<sub>2</sub> ist der wichtigste Faktor, der die Erderwärmung verursacht. Um die ökologische Belastung der Umwelt zu senken, müssen die Sektoren wie Stromerzeugung, Industrie und Verkehr umgebaut werden. Deutschland ist auf dem Weg, ein nachhaltiger und sicherer Energiebereich zu entwickeln. Dafür werden den Einsatz von erneuerbaren Energien gesteigert. Die Steigerung der Energieeffizienz spielt auch eine wichtige Rolle. Der Aufbau neue Infrastruktur mit dem Schwerpunkt Klimaschutz ist der Kern der deutschen Energiewende [2].

## 2.1 Umweltproblemen und internationale Kooperation

Konventionelle Energiequellen machen viele CO<sub>2</sub> und andere Schadstoff Emissionen, die zu bedrohlichen Umweltproblemen führen. Diese sind nicht nur Luft-, Wasser- und Landverschmutzung, sondern auch die globale Erwärmung. Schon heutzutage treffen manche Länder die Klimaproblemen, deren Bedeutung immer sichtlicher wird.

Deutsches Klima-Konsortium (DKK) registriert zusammen mit dem Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM) die jährlich weltweit neu aufgestellte Temperaturrekorde. Die Temperaturspitzen sind eine Anzeichen des durch den Menschen verursachten Klimawandels. Im September 2019 hat der Weltklimarat einen Sonderbericht über das Ausmaß der Bedrohungen des Ozeans und der Kryosphäre<sup>1</sup> verabschiedet. Heutzutage leben etwa 680 Millionen Menschen in den Küstengebiete oder auf den Inseln. Das Niveau der Meeresspiegel spielt dann eine entscheidende Rolle, wie das Leben und die Aktivitäten der Menschen organisiert ist. Als Folge stellt die Erhöhung der Meeresspiegel wegen des Klimawandels eine konkrete Bedrohung für alle Menschen, die in solchen Gebieten wohnen. Für die deutschen Nord- und Ostseeküsten sowie für die Städte in deren Einzugsgebiet wie Bremen und Hamburg besteht ein erhöhtes Risiko, da Sturmfluten in Zukunft öfter und höher auflaufen können [3].

Um das Klimawandel möglichst zu minimieren, wurden internationale Konferenzen organisiert, deren Ziele waren, eine Lösung zu entwickeln, wie Klimaschutz realisiert werden kann. Ein Beispiel dafür ist der UN-Klimakonferenz in Paris im Dezember 2015. Der Vereinbarung in Paris besteht darin, dass „die internationale

---

<sup>1</sup>Mit diesem vom griechischen Wort Kryos für kalt oder Eis stammenden Begriff werden in der Wissenschaft die gefrorenen Komponenten des Systems Erde bezeichnet. Das schließt Schneedecken, Gletscher, Eisschilde, Eisschelfe, Eisberge, Meereis, See-Eis, Flusseis, Permafrost und saisonal gefrorenen Boden mit ein [3].

Gemeinschaft dazu verpflichtet, die globale Erwärmung auf unter zwei Grad bzw. möglichst auf unter 1,5 Grad im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Um dieses ehrgeizige Vorhaben zu erreichen, müssen die Treibhausgasemissionen allerdings spürbar reduziert werden. Dies erfordert große Anpassungen – der Energieversorgungssysteme, aber auch des Energieverbrauchs“ [4].

## **2.2 Entwicklung der erneuerbaren Energiequellen**

In 2018 haben die erneuerbare Energiequellen 26% der globalen Elektrizitätserzeugung versorgt. Unter der Erneuerbarer Energiequellen versteht man vor allem Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft. Die Energie der Biomassen und die Geothermie gehören auch dazu [5].

Die Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) ist ein Unternehmen, der die Chancen und Vorteile einer Energieversorgung auf Basis Erneuerbarer Energien vorstellt. Die Erklärung der Energiewende ist eine wichtige Aufgabe der Firma. Laut der AEE sind erneuerbare Energien sauber, „sie vermeiden Treibhausgase und Schadstoffe und vermindern dadurch den Treibhausgaseffekt und Gesundheitsbelastungen. Auch ökonomisch gibt es viele Gründe für die Erneuerbaren: So sind Sonne, Wind und Biomasse, Erdwärme und Wasser heimische Energieträger, durch deren Nutzung teure fossile Brennstoffimporte eingespart werden können“ [6].

Im Jahr 2020 wurden in Deutschland rund 251 Milliarden Kilowattstunden Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt, Abbildung 1. Das entspricht einem Anteil von 45,4 Prozent am gesamten Stromverbrauch. Mehr als die Hälfte davon entfiel auf die Windenergie. Um die Klimaschutzziele zu erreichen, müssen vor allem die Windenergie und Photovoltaik weiter ausgebaut werden. Wasserkraft, Bioenergie und Geothermie liefern wichtige Beiträge, um die wetterabhängigen Energiequellen

zu ergänzen und Versorgungssicherheit zu gewährleisten, haben aber für den mengenmäßigen weiteren Ausbau ein eher begrenztes Potenzial. Die geothermische Energie beträgt in 2020 nur 0,2 Milliarden Kilowattstunden, deshalb ist in der Abbildung 1 nicht ersichtlich [6].

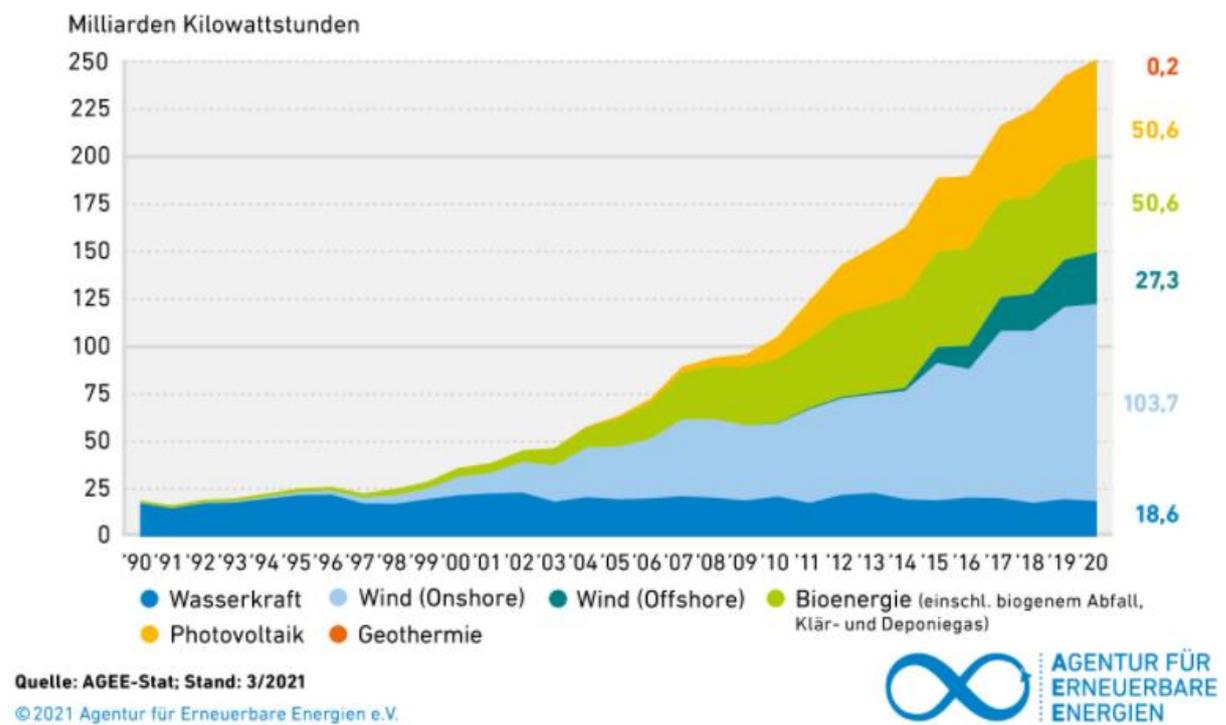


Abbildung 1. Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland 1990-2020. Quelle [6]

Die Bundesregierung zusammen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) sind dazu zuständig, die Energiewende zu betreuen. Sie haben ein Konzept erstellt, in dem „die Energiewende zentral für eine sichere, umweltverträgliche und wirtschaftlich erfolgreiche Zukunft ist. Dazu wird Deutschlands Energieversorgung grundlegend umgestellt: Weg von nuklearen und fossilen Brennstoffen, hin zu erneuerbaren Energien und mehr Energieeffizienz“ [7].

Die Erneuerbare Energiequellen haben eine gesetzliche Förderung. In Deutschland hat sich das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) seit dem Jahr 2000 als effektives und effizientes Instrument für die Förderung von Strom aus regenerativen Quellen bewährt. Die erneuerbaren Energien tragen zunehmend zur Stromversorgung in Deutschland bei. Damit gehen eine deutliche Minderung der Kohlendioxidemission

im Stromsektor sowie positive volkswirtschaftliche Effekte einher [8]. Ziel des EEG ist es die Energieversorgung umzubauen und den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung bis 2050 auf mindestens 80 Prozent zu steigern [9].

## **2.3 Stromversorgungssystem und Netzstabilität**

Je mehr entwickeln sich erneuerbare Energien, desto aktueller wird die Frage, wie man das Stromnetz ausgleichen kann. Das Angebot und die Nachfrage der elektrischen Energie müssen in jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht sein. D.h. sollen die wetterabhängigen Energiequellen angepasst werden. Der Transport von elektrischer Energie und die Ausgleichung des Netzes sind die Verantwortung des Verteilnetzbetreibers (VNB) und Übertragungsnetzbetreibers (ÜNB) [10].

### **2.3.1 Netzbetreibern Deutschlands**

Im Strom-Segment sind Verteilnetzbetreiber das Bindeglied zwischen den Übertragungsnetzbetreibern und beinahe allen Energieverbrauchern. Ihre vordergründige Aufgabe ist die Verteilung der Energie von den Kraftwerken hin zu den Endverbrauchern, also allen Wohnhäusern, öffentlichen Gebäuden und Gewerbe- oder Industrieunternehmen. Im Vergleich zu Übertragungsnetzen sind Verteilnetze durch kleinere Energieflüsse gekennzeichnet. Die Spannungsebenen der Verteilnetzbetreiber bewegen sich in Deutschland üblicherweise zwischen 230 Volt und 110.000 Volt. Dabei fließt die Energie aber nicht nur in eine Richtung – aus dem Netz zum Endverbraucher – sondern in zwei Richtungen. Denn Verteilnetze nehmen auch die Energie, die in mittleren und kleineren Kraftwerken wie beispielsweise Windkraftanlagen oder Photovoltaikanlagen erzeugt wurde, auf und verteilen sie. Diese Aufgabe ist insbesondere im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien immer wichtiger geworden [11].

Ein Unterschied zwischen ÜNB und VNB besteht insbesondere in der Art der Spannungsebenen. Die ÜNB betreiben die Übertragungs- bzw. Transportnetze und kümmern sich damit um die überregionale Verteilung von Energie. Im Zuge dessen sind die Netze der ÜNB zu einem nationalen bzw. europäischen Verbundnetz zusammengeschlossen. Die Spannungsebenen der Übertragungsnetze in Deutschland sind 220.000 Volt und 380.000 Volt. In Deutschland beträgt die Stromkreislänge des Übertragungsnetzes ca. 35.000 km [11].

Es gibt vier Firmen, die Übertragungsnetz in Deutschland regeln. Diese sind:

- Tennet TSO GmbH
- 50Hertz Transmission GmbH
- Amprion GmbH
- TransnetBW GmbH

Im Gegensatz zu den vier Übertragungsnetzbetreibern gibt es mittlerweile über 900 Verteilnetzbetreiber in Deutschland [12]. Die Firmen des Übertragungsnetzes sind in der Abbildung 2 nach ihrer Regelzonen dargestellt.



Abbildung 2. Regelzonen der Übertragungsnetzbetreibern in Deutschland. Quelle [12]

In Zeiten der Energiewende schreitet der Ausbau der erneuerbaren Energien immer weiter voran. Dies betrifft in erster Linie die Verteilernetze und somit den Verteilnetzbetreiber. Denn immer mehr regenerative Erzeugungsanlagen wie z.B. Photovoltaikanlagen, Biogasanlagen, Wasserkraft- und Windkraftanlagen sowie Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) speisen den erzeugten Strom in die Verteilernetze ein. Die größte Herausforderung für die Zukunft der Verteilnetzbetreiber ist die Integration der erneuerbaren Energie in das Energiesystem [11].

Auf einer höchsten Ebene ist Deutschland in das europäische Verbundsystem integriert. Das ENTSO-E<sup>2</sup> ist ein Netz, das die nationale Übertragungsnetze der kontinentaleuropäischen Länder beinhaltet. Früher wurde ENTSO-E als UCTE<sup>3</sup>-Verbundnetz genannt [13].

### **2.3.2 Ausgleichung des Netzes**

Übertragungsnetzbetreiber sorgt für die Sicherheit und Stabilität des deutschen Energieversorgungssystems. Dies geschieht durch die Systemdienstleistungen, welche durch die Stromnetzbetreiber (ÜNB's und VNB's gemeinsam) erbracht werden. Zu den Systemdienstleistungen gehören unter anderem:

- Die Haltung der Netzfrequenz. Dafür kommt Regelenergie zum Einsatz.
- Die Spannungshaltung
- Der Versorgungswiederaufbau
- Die Betriebsführung bzw. das Netzengpassmanagement

In einem Stromnetz ist mit der Netzfrequenz die Frequenz der elektrischen Energieerzeugung durch Wechselstrom bzw. Wechselspannung gemeint. Die

---

<sup>2</sup>European Network of Transmission System Operators for Electricity

<sup>3</sup>Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

Netzfrequenz wird in Hertz (Hz) gemessen. In Deutschland und auch in Europa beträgt die Netzfrequenz ca. 50 Hz und ist stabil, mit Ausnahme von kurzfristigen regeltechnischen Abweichungen [14].

Damit die Netzfrequenz stabil gehalten werden kann, ist es Regelenergie notwendig. Die Abbildung 3 zeigt, welche Maßnahmen für die Regelung der Netzfrequenz unternommen werden. Fällt die Frequenz unter die 50 Hz, sind zusätzliche Einspeisungen oder Lastabwurf (die Reduzierung von Verbrauch) von Nöten, was positive Regelenergie genannt wird. Ab einer Frequenz von 47,5 Hz werden alle Kraftwerke vom Stromnetz getrennt (Blackout) und die Stromversorgung im Anschluss wieder neu aufgebaut. Ist die Netzfrequenz zu hoch, muss die Einspeisung gesenkt werden, was auch als negative Regelenergie bezeichnet wird. Bei älteren Kohle- und Kernkraftwerken dauert das länger. Schneller anpassen können sich beispielsweise Erneuerbare-Energien-Anlagen, wie Windkraft- oder Photovoltaikanlagen (PV). Ab einer Netzfrequenz von 50,02 Hz reduziert ein Großteil der PV-Anlagen ihre Wirkleistung linear und erst ab einer Überfrequenz von 51,5 Hz erfolgt eine komplette Trennung der Anlagen vom Netz. In Deutschland sind die Übertragungsnetzbetreiber für die Netzregelung und die damit einhergehende Beschaffung der Regelenergie zuständig [14].

Am 09. August 2019 gab es in London und weiteren Teilen Großbritanniens einen großflächigen Stromausfall, der Flughäfen, Züge, viele Haushalte und ein Krankenhaus stillgelegt hatte. Ursache für das Blackout waren laut des Netzbetreibers „National Grid“ zwei Stromgeneratoren, welche nacheinander ausgefallen waren. Der Ausfall dieser Generatoren hatte eine Senkung der Netzfrequenz zur Folge. Diese fiel unter 48,9 Hz – die Frequenzabweichung war demnach zu groß und es wurde ein sofortiger Lastabwurf aktiviert. Diese Abschaltung führte nach wenigen Minuten wieder zu dem Soll-Netzfrequenzwert von 50 Hz [14].

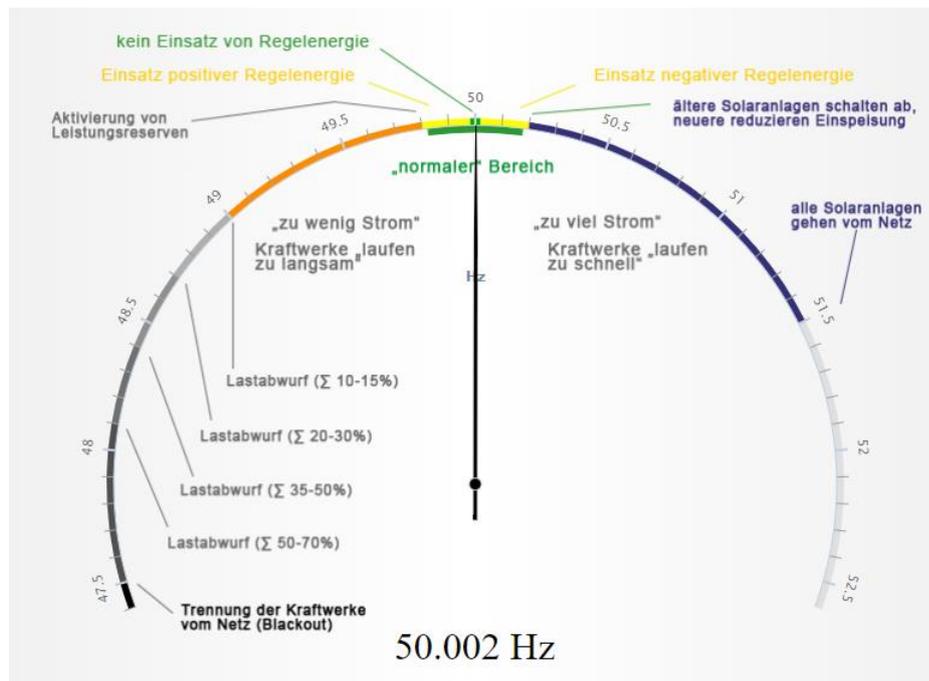


Abbildung 3. Diagramm für die Regelung der Netzfrequenz. Quelle [15]

Die Energieversorgung in Deutschland zählt weltweit zu den besten. In den 8.760 Stunden eines Jahres fällt der Strom durchschnittlich nur 13 Minuten aus. Dieser Wert hat sich in den vergangenen Jahren trotz des steigenden Anteils an Wind- und Sonnenstrom sogar verbessert. Stromausfälle sind selten auf Schwankungen in der Stromproduktion zurückzuführen. Meist sind sie von außen oder durch menschliche Fehler verursacht [16].

Um Engpässe zu vermeiden, hat Deutschland beispielsweise eine feste Reserve an zusätzlichen Kraftwerken eingerichtet. In Phasen der „Dunkelflaute“<sup>4</sup>, wenn weder die Sonne scheint noch der Wind weht, springen flexible konventionelle Kraftwerke ein. Vor allem Gaskraftwerke eignen sich dafür, aber auch Pumpspeicherkraftwerke und Bioenergieanlagen können schnell Strom liefern. Langfristig sollen solche Zeiten auch durch Speicher überbrückt werden [16].

<sup>4</sup>Phasen, in denen Windkraft- und Photovoltaikanlagen keinen Strom liefern können, heißen Dunkelflaute. Der Extremfall sind windstille, bewölkte Neumond-Nächte. In solchen Phasen müssen andere Energieträger oder zuvor gespeicherte Energie einspringen, um den Strombedarf zu decken [16].

## 2.4 Aktueller Stand im Wasserstoff Industrie

Im Jahr 2050 soll Deutschland 80 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Energien bekommen. Die Windkraft- und Photovoltaikanlagen müssen eine entscheidende Rolle spielen. Es kann aber eine Situation vorkommen, wenn plötzlich weder die Sonne scheint noch der Wind weht. Dann soll das Stromsystem sich schnell und flexibel an solche Situationen anpassen. Eine Möglichkeit ist Energiespeicher, der überschüssige Energie aufnimmt und in Zeiten von Flaute, Dunkelheit und bedecktem Himmel wieder ins Netz liefert. Es gibt zahlreiche Speicherlösungen: Kurzzeitspeicher wie Batterien und Kondensatoren können innerhalb eines Tages mehrfach elektrische Energie aufnehmen und abgeben. Sie bieten aber nur eine begrenzte Kapazität. Um Strom über einen längeren Zeitraum zu speichern, werden in Deutschland insbesondere Pumpspeicherwerke genutzt. Etwa neun Gigawatt Pumpspeicherleistung sind derzeit an das deutsche Netz angeschlossen [16].

Ein neues Konzept zur Langzeitspeicherung ist Power-to-Gas. Power-to-Gas spielt eine wichtige Rolle in der Energiewende und bietet eine langfristige Speicherung der überschüssigen elektrischen Energie. Der Strom wird zur Aufspaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff durch Elektrolyse verwendet. Der erzeugte Wasserstoff kann in begrenzten Mengen direkt ins Gasnetz zugeführt werden oder in Methan verwandelt werden. Kraftwerke können dies Gas bei Bedarf wieder in Strom und Wärme verwandeln [16].

Es gibt aber noch ein Konzept, in dem das Wasserstoff für die Energieerzeugung effektiver verwendet werden kann. Es handelt sich um die Brennstoffzellen, die schon heute ein großes Potenzial für den zukünftigen Energiebereich zeigen.

## 2.4.1 Funktionsprinzip und Klassifizierung der Brennstoffzellen

Das Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle ist die direkte Umwandlung der im Brennstoff gespeicherten chemischen Energie in elektrische Energie, indem der Brennstoff an den Elektroden mit oder ohne Zusatz eines Katalysators in Ionen umgewandelt wird, die den dazwischen liegenden Elektrolyten (Ionenleiter) durchdringen, Abbildung 4. Die leichter beweglichen Elektronen werden über die Elektroden ab- bzw. zugeführt und können wegen der bei der Ionisation entstehenden Spannungsdifferenz einen elektrischen Verbraucher antreiben [17].

Die Elektroden müssen porös und elektrisch leitend sein, um einerseits die Zufuhr und Abfuhr der Reaktanden<sup>5</sup> und Reaktionsprodukte von den Gaskanälen zu den Reaktionsflächen zu ermöglichen und andererseits den Transport der erzeugten Elektronen von bzw. zur nächsten Zelle und letztendlich zum Verbraucher zu gewährleisten. Durch Porosität wird gleichzeitig eine erhebliche Vergrößerung der Reaktionsoberfläche erreicht. Der Elektrolyt muss gasdicht sein, kann aber eine Flüssigkeit, eine Schmelze oder Festkörper sein. Der verwendete Elektrolyt bestimmt die notwendige Zelltemperatur, was als Hauptmerkmal bei der Klassifizierung von Brennstoffzellen verwendet wird:

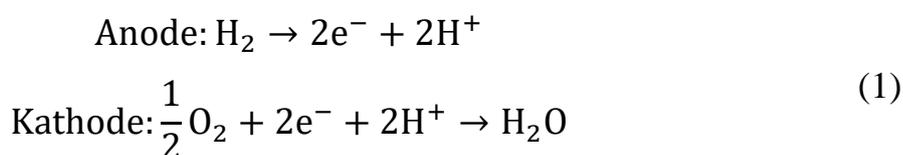
- Niedertemperaturbrennstoffzellen bis ca. 100 °C;
- Mitteltemperaturbrennstoffzellen um ca. 200 °C;
- Hochtemperaturbrennstoffzellen oberhalb ca. 600 °C [17].

Das Beispiel einer Niedertemperaturbrennstoffzelle ist die Proton Exchange Membran (PEM) Brennstoffzelle, deren Funktionsprinzip in der Abbildung 4 dargestellt ist. PEM-Brennstoffzellen werden auch Polymer Elektrolyte Fuel Cell (PEFC) oder auf Deutsch Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle genannt. Das Brennstoff bzw. Wasserstoff wird durch die Anode zu der Reaktionsfläche transportiert. Die Reaktionsfläche ist eine Fläche mit einer großen Anzahl von

---

<sup>5</sup> Brennstoff bzw. Oxidator

verteilten Teilchen des Platin-Katalysators, die sich an dem Grenzbereich zwischen Anode und Elektrolyt befinden. Sobald eine Wasserstoffmoleküle Platin-Katalysator erreicht, zerfällt die Moleküle in zwei Elektronen und in zwei Protonen. Elektrolyt ist Ionen leitend, deshalb bewegen sich Protonen durch Elektrolyt bzw. Membran zur Kathode. Elektronen fließen in einem externen Stromkreis und danach werden auch zur Kathode transportiert. Auf der Kathodeseite gibt es auch die Reaktionsfläche mit Platin-Katalysator, in der Sauerstoff zusammen mit den Protonen und Elektronen reagiert. Als Produkt wird Wasser gebildet. Die Formel (1) zeigt die  $H_2/O_2$ -Reaktion der PEM-Brennstoffzelle:



Die Elektronegativität ist eine treibende Kraft, die die Arbeit der Brennstoffzelle ermöglicht.

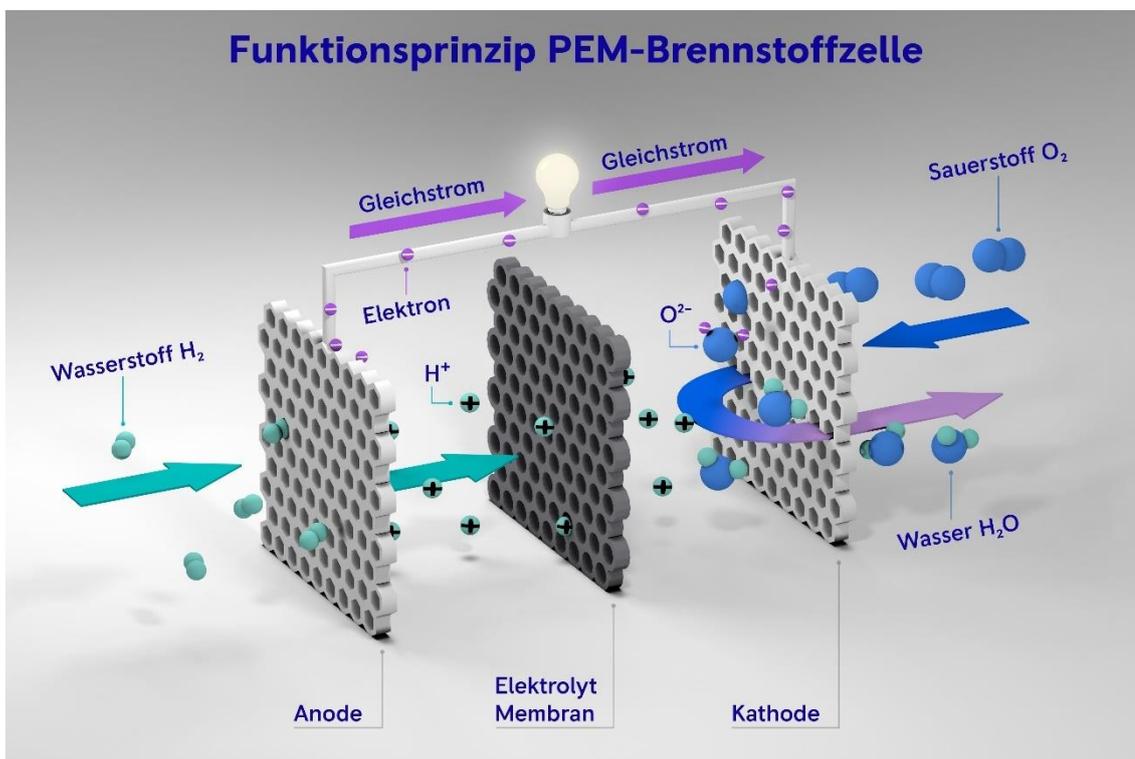


Abbildung 4. Prinzipaufbau einer PEM-Brennstoffzelle. Quelle [18]

Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt die Energieerhaltung und ist nach entsprechender Erweiterung auch für Brennstoffzellen anwendbar. Damit kann man errechnen, dass die ideale Zellspannung liegt bei der  $H_2/O_2$ -Reaktion im Standardzustand bei 1,229 V. In Realität liegt die Leerlaufspannung einer Zelle wegen der Spannungsverluste bei ca. 1 V. Die Abbildung 5 zeigt ein typischer Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle. Einer der wesentlichen Vorteile von Brennstoffzellen im Vergleich mit Verbrennungskraftmaschinen ist neben der Geräusch- und Emissionsarmut der hohe Wirkungsgrad schon bei kleinen und kleinsten Leistungen. Bei der  $H_2/O_2$ -Reaktion kann somit gemäß den Stoffdaten ein thermodynamisch maximaler Wirkungsgrad von 82,9% erreicht werden [17].

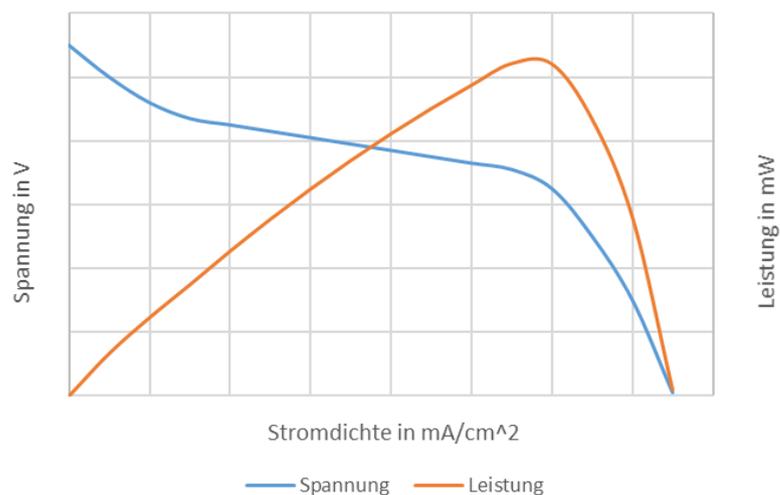


Abbildung 5. Spannung und Leistung einer Zelle als Funktion der Stromdichte.

Brennstoffzellen unterscheiden sich nicht nur nach dem Temperaturbereich, sondern auch vor allem nach der Art des verwendeten Elektrolyten. Zurzeit gibt es fünf

Brennstoffzellentypen, deren Bezeichnungen und Funktionsprinzip in der Abbildung 6 dargestellt sind.

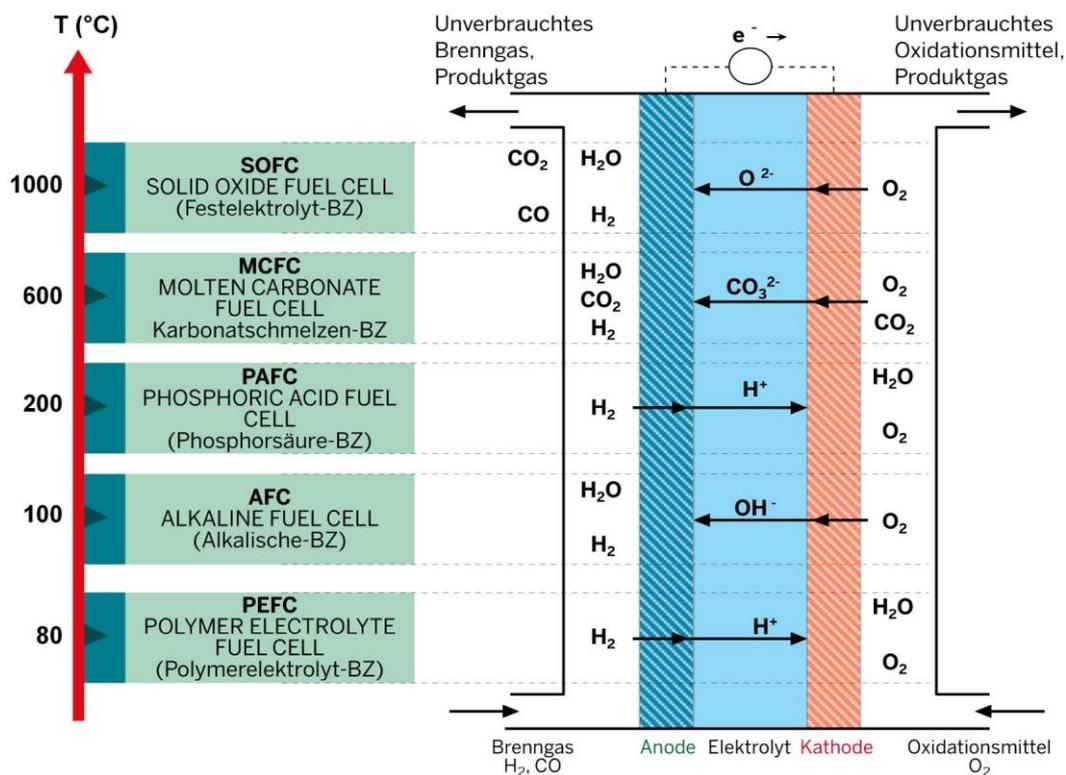


Abbildung 6. Brennstoffzellentypen und ihre Funktionsprinzipie. Quelle [19]

Für Brennstoffzellen sind vielfältige Anwendungsmöglichkeiten denkbar und in Prototypen schon als Lagegerät für Handys mit wenigen Watt (ISE, Freiburg, 1998, Typ PEFC), Fahrradtrieb, Motorradtrieb (Prof. Kordes, 1967) bis zu Kraftwerken im Megawatt-Bereich (1983, Ichihara, bei Tokyo, Typ PAFC) realisiert worden [17]. Eine die letzte Anwendung der Brennstoffzellen ist in der Mobilität. Im Jahre 2014 präsentierte Toyota sein erstes wasserstoffbetriebenes Fahrzeug „Mirai“. In „Tokyo Motor Show 2019“ wurde die zweite Generation von Toyota Mirai für die Öffentlichkeit vorgestellt. Wie ein echtes fuel cell electric vehicle (FCEV) produziert das Auto keine Emissionen außer reines Wasser. Die Firma ist der Meinung, dass Mirai ein guter Einstieg in die saubere Mobilität und „Wasserstoff-Zukunft“ ist [20].

## 2.4.2 Wasserstoffproduktion

Heutzutage wird Wasserstoff hauptsächlich für stoffliche Herstellungsverfahren im Industriesektor verwendet. Die Herstellung des Wasserstoffs basiert dabei auf den fossilen Brennstoffen, und deshalb ist diese Herstellung nicht CO<sub>2</sub>-frei. Der Wasserstoff, der aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird, wird grauer Wasserstoff genannt. Die entstehende CO<sub>2</sub> wird in die Atmosphäre abgegeben und verstärkt so den globalen Treibhauseffekt. Auch die Herstellung von Wasserstoff aus Netzstrom wird gelegentlich als Grauer Wasserstoff bezeichnet. Die Klimawirksamkeit des Wasserstoffs korreliert dabei mit der CO<sub>2</sub>-Last des in der Elektrolyse eingesetzten Strommixes [21].

Nur 7 Prozent des Wasserstoffs wird durch Elektrolyseverfahren hergestellt [16]. Wird der Wasserstoff durch den ausschließlichen Einsatz erneuerbarer Energien hergestellt, spricht man über grünem Wasserstoff. Unabhängig von der gewählten Elektrolysetechnologie erfolgt die Produktion von Wasserstoff CO<sub>2</sub>-frei, da der eingesetzte Strom zu 100 Prozent aus erneuerbaren Quellen stammt [21]. Für die Energiewende ist vor allem grüner Wasserstoff interessant.

Man unterscheidet noch „blauer“ und „türkischer“ Wasserstoff. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gibt folgende Definition:

„Blauer Wasserstoff wird auf Basis fossiler Kohlenwasserstoffe erzeugt. Seine Produktion wird mit einem CO<sub>2</sub>-Abscheidungs- und -Speicherungsverfahren gekoppelt (englisch "Carbon Capture and Storage", CCS). Das bei der Wasserstoffproduktion erzeugte CO<sub>2</sub> gelangt so nicht in die Atmosphäre“ [21].

„Türkiser Wasserstoff wird über die thermische Spaltung von fossilem Methan hergestellt. Statt CO<sub>2</sub> entsteht dabei fester Kohlenstoff. Voraussetzungen für die CO<sub>2</sub>-Neutralität des Verfahrens sind die Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren oder CO<sub>2</sub>-freien Energien sowie die dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs“ [21].

### **2.4.3 Strategie von Europäischer Union**

Europäische Kommission hat in 2019 „Der europäische Grüne Deal“ für die Öffentlichkeit vorgestellt. Der europäische Grüne Deal ist die neue Wachstumsstrategie der europäischen Union, ein Fahrplan, um europäische Wirtschaft nachhaltiger zu machen, indem die klima- und umweltpolitischen Herausforderungen in allen Politikbereichen in Chancen umgewandelt und der Übergang für alle gerecht und inklusiv gestaltet wird [1].

Die für Energie zuständige Kommissarin Kadri Simson sagte, dass aktuell 75% der Treibhausgasemissionen der EU im Energiebereich entstehen. Damit die Ziele für 2030 und 2050 erreicht werden, muss das Energiesystem der EU besser integriert und flexibler werden. Grüner Wasserstoff wird dabei eine Schlüsselrolle spielen [1].

Integration des Energiesystems bedeutet, dass das System als ein Ganzes, unter Vernetzung verschiedener Energieträger, Infrastrukturen und Verbrauchssektoren, geplant und betrieben wird. In einem integrierten Energiesystem kann Wasserstoff die Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr, Stromerzeugung und Gebäuden in ganz Europa unterstützen. Die Wasserstoffstrategie der EU befasst sich damit, wie dieses Potenzial durch Investitionen, Regulierung, Schaffung von Märkten sowie Forschung und Innovation ausgeschöpft werden kann [1].

Wasserstoff kann Sektoren mit Energie versorgen, die nicht für die Elektrifizierung geeignet sind, und die Energie speichern, um variable Energieflüsse aus erneuerbaren Energieträgern auszugleichen. Vorrangiges Ziel ist die Entwicklung von erneuerbarem Wasserstoff, der hauptsächlich mithilfe von Wind- und Sonnenenergie erzeugt wird. Kurz- und mittelfristig sind jedoch andere Formen CO<sub>2</sub>-armen Wasserstoffs erforderlich, um die Emissionen rasch zu senken und die Entwicklung eines tragfähigen Marktes zu unterstützen [1].

Manche Länder der EU haben ihre eigene Wasserstoff-Projekte erstellt. Ein Beispiel dafür ist Dänemark, das eine Energie-Insel im Nordsee baut. Es handelt sich um eine künstliche Insel, die zur Speicherung oder Verteilung von Offshore-Windenergie geeignet ist. Gesamtkosten des Projekts beträgt mehr als 28 Milliarden Euro. In der ersten Projektphase kann der Strom aus den knapp 200 Windturbinen und einer Kapazität von drei Gigawatt direkt für die Versorgung einer Verbraucher geliefert werden. Eine andere Option ist die Herstellung des grünen Wasserstoffs mit Hilfe der Power-to-Gas Technologie. Dänische Energie-Insel ist ein ehrgeiziges Projekt, das die europäischen Ziele bezüglich des Klimaschutzes entspricht [22].

#### **2.4.4 Strategie von Deutschland**

Die Nationale Wasserstoffstrategie Deutschlands wurde von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Jahr 2020 erstellt. In der Zusammenarbeit mit der Bundesregierung hat BMWi eine Strategie für die Öffentlichkeit vorgestellt, die wirtschaftlichen, ökologischen und technischen Aspekten der neuen Industrie beinhaltet [23].

Die Energiewende bedeutet im ersten Schritt der Aufbau neuen Infrastruktur. D.h. soll die Energieversorgung umgebaut werden, damit der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung bis 2050 auf mindestens 80 Prozent steigert. Die neue Stromübertragungslinien müssen auch die Sicherheit und Energieeffizienz des Systems unterstützen. Aktuell beträgt der Anteil der erneuerbaren Energien ca. 45 Prozent des deutschen Stromverbrauchs, damit macht Deutschland schon heute einen bedeutsamen Beitrag im Klimaschutz [23].

Aber damit die Ziele des Übereinkommens von Paris vollständig erreicht werden können, müssen die europäische Länder noch weiter gehen. Wie schon im Kapitel 2.1 geschrieben wurde, ist das Ziel des Übereinkommens von Paris die Begrenzung der Erderwärmung deutlich unter 2 Grad und möglichst unter 1,5 Grad. Ein

wichtiger Schritt für die Klimaneutralität ist die Nationale Wasserstoffstrategie Deutschlands [4].

Im zweiten Schritt der Energiewende bzw. bei der Weiterentwicklung und Vollendung der Energiewende wird der Wasserstoff ein zentraler Bestandteil der Dekarbonisierung. Dafür muss die „gesamte Wertschöpfungskette – Technologien, Erzeugung, Speicherung, Infrastruktur und Verwendung einschließlich Logistik und wichtiger Aspekte der Qualitätsinfrastruktur – in den Blick genommen werden“. Dabei ist aus Sicht der Bundesregierung nur grüner Wasserstoff langfristig nachhaltig [23].

Heutzutage sind viele Möglichkeiten bekannt, der Wasserstoff energetisch oder chemisch zu verwenden. Als Energieträger kann er z.B. in Brennstoffzellen genutzt werden. Als Energiespeicher kann Wasserstoff wetterabhängige erneuerbare Energien speichern und einen Beitrag zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage leisten [23].

Die Nationale Wasserstoffstrategie betrachtet noch die weiteren Möglichkeiten: „Wasserstoff ist ein wesentliches Element der Sektorkopplung. In den Bereichen, in denen Strom aus erneuerbaren Energien nicht direkt eingesetzt werden kann, öffnen grüner Wasserstoff und seine Folgeprodukte neue Dekarbonisierungspfade“. Auch in der Mobilität hat grüner Wasserstoff große Anwendbarkeit [23].

Die Bundesregierung geht jedoch gleichzeitig davon aus, „dass sich in den nächsten zehn Jahren ein globaler und europäischer Wasserstoffmarkt herausbilden wird. Auf diesem Markt wird auch CO<sub>2</sub>-neutraler (z.B. „blauer“ oder „türkiser“) Wasserstoff gehandelt werden“ [23].

Die Pläne bezüglich des Wasserstoffs können nur in einer engen Zusammenarbeit der EU-Länder erfüllt werden. Es ist notwendig in den nächsten Jahren die gemeinsamen Ressourcen so verteilen, damit die weiteren Schritte in der Industrie und in der Forschung gemacht werden können [23].

### 3 Durchführung der Experimente

Der praktische Teil der Arbeit hat als sein Ziel, die Erstellung und die Simulation eines Energiesystems, in dem nur Erneuerbarer Energiequellen verwendet werden. Damit werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringert, was entspricht zu den aktuellen Ziele des Klimaschutzes. Die Brennstoffzellen spielen eine Schlüsselrolle im untersuchten Energiesystem. Wie schon geklärt wurde, zeigen europäische Länder ein großes Interesse für die Verwendung des Wasserstoffs im Energiebereich.

Das Energiesystem, das in dieser Arbeit erstellt und simuliert wird, ist isoliert. D.h. es wird keine Übertragung der elektrischen Energie mit den externen Stromnetzen möglich. Man kann das so interpretieren, dass die Energieversorgung auf einer Insel oder in einem entfernten Gebiet der Welt gebaut ist. Für die Simulation wird nur Gleichstrom verwendet.

Die Solarzellen und eine Windkraftanlage werden die Hauptenergiequellen des Systems. Es werden noch die Umweltparametern festgestellt, die das Funktion der Energiequellen regeln. Also, das System geht davon aus, dass das Wetter immer bekannt und vorhersagbar ist. Die Verbraucher oder die Hauptverbraucher ist eine bestimmte Menge der Glühlampen und Lastwiderstände, die in einem Schaltplan zusammengebracht sind. Die Verbraucher hat immer einen bekannten Energiebedarf. Es gibt noch eine Nebenverbraucher im System, deren Rolle ein Elektrolyseur spielt. Es ist notwendig, dass der Energiebedarf der Verbraucher in jedem Zeitpunkt vollständig bedeckt wird. Die überschüssige Energie wird in das Elektrolyseur zur Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff zugeführt. D.h. spielt das Elektrolyseur eine Rolle von negativer Regelenergie, die das Energieversorgungssystem wieder im Gleichgewicht bringt. Die Gase sammeln sich im Gasspeicher an.

Es kann vorkommen, dass die gesamte Ausgangsleistung der Solarzellen und der Windkraftanlage in einem Zeitpunkt nicht genug ist, um die Hauptverbraucher vollständig zu versorgen. In dem Fall wird eine PEM-Brennstoffzelle im Betrieb genommen, damit die vollständige Energieversorgung erreicht wird. D.h. spielt die Brennstoffzelle eine Rolle von positiver Regelenergie, die das Energieversorgungssystem wieder im Gleichgewicht bringt. Gasspeicher versorgt dann die Brennstoffzelle mit dem Wasserstoff und mit dem Sauerstoff. Die Gase müssen optimal verwendet und optimal produziert werden.

Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass wenn eine Brennstoffzelle im Betrieb ist, muss das Elektrolyseur aus dem System getrennt werden, weil das Elektrolyseur nur die überschüssige Energie verwenden darf. Der Grund dafür wird später im Kapitel 3.3.1 erläutert. Ein ähnliches System wird von der Firma Rolls Royce entwickelt, Abbildung 7.

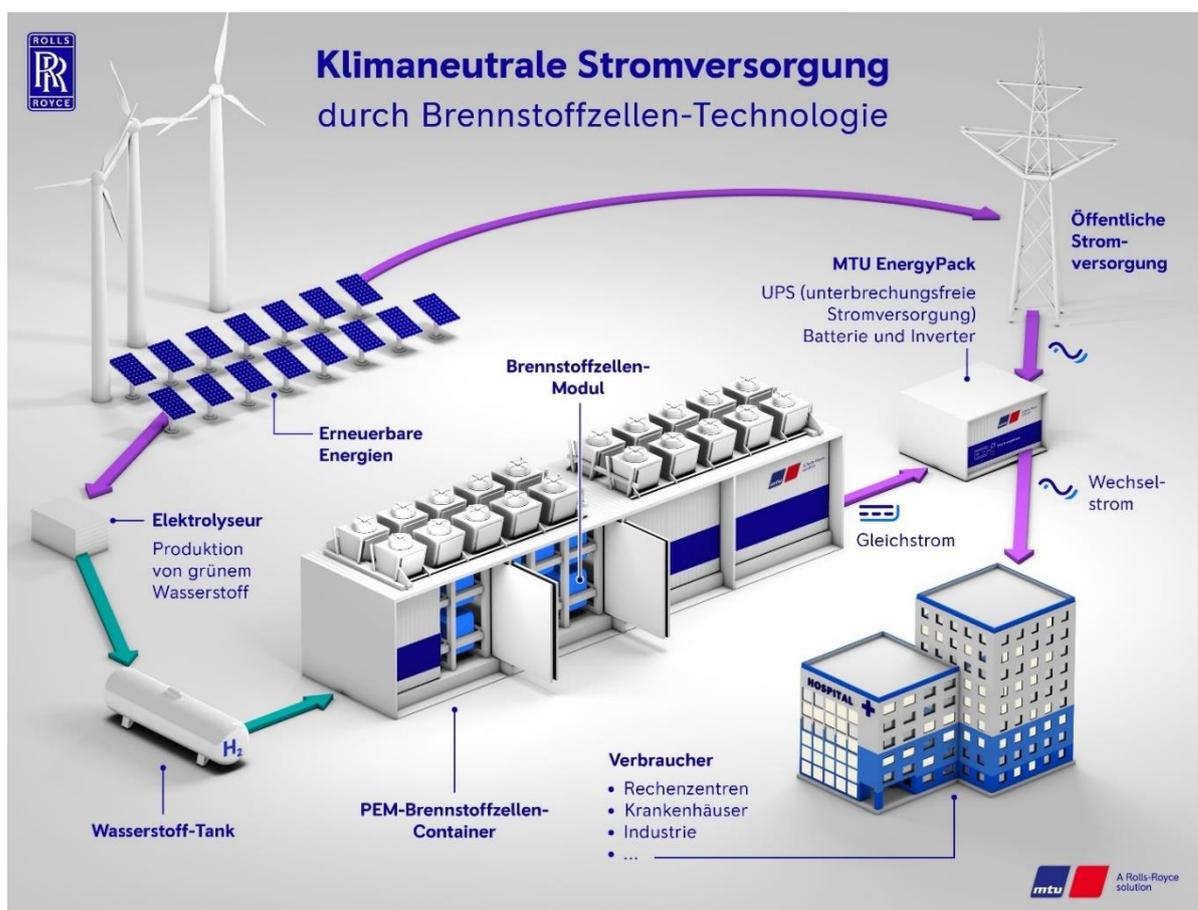


Abbildung 7. Klimaneutrale Stromversorgung von Rolls Royce. Quelle [18]

Es gibt aber einige Unterschiede zwischen dem experimentellen System und dem System von Rolls Royce. Erstens ist das experimentelle System isoliert. Das wurde oben schon oben geschrieben, dass keine Übertragung der elektrischen Energie mit den externen Stromnetzen möglich. D.h. gibt es kein öffentliches Stromnetz. Stattdessen fließt Energie aus erneuerbaren Energiequellen und Brennstoffzelle direkt zur Verbraucher.

Zweitens gibt es kein elektrischer Speicher wie Batterien. Die einzige Möglichkeit, überschüssige Energie zu speichern, ist die Speicherung von Wasserstoff, sodass beim Bedarf die Brennstoffzelle funktionieren kann.

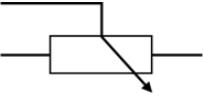
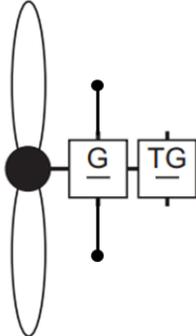
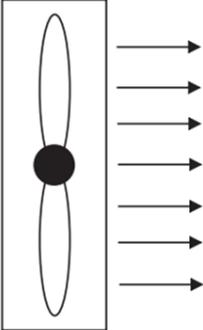
Und drittens arbeitet das System aufgrund seiner Einfachheit nur mit dem Gleichstrom. Alle Energiequellen inklusive Windkraftanlage erzeugen einen Gleichstrom, was bedeutet, dass der Wechselrichter unnötig ist. In Bezug auf die Verwendung von Wasserstoff ist das Schema von Rolls Royce vollständig mit dem experimentellen System identisch.

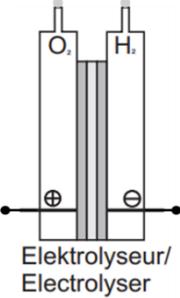
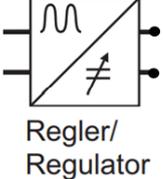
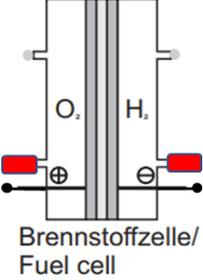
Für Erstellung und Simulation des Energiesystems werden die Geräte verwendet, die im nächsten Kapitel vorgestellt sind.

### **3.1 Beschreibung der Geräte**

Für die Arbeit werden die Geräte aus den Koffer „SOLARTRAINER Junior“ [24], „WINDTRAINER Junior“ [25] und „H2 - TRAINER Junior“ [26] verwendet. Diese Koffer stellen sowohl die Erzeugungsgeräte, als auch die verschiedene Arten der Verbraucher zur Verfügung. Die Bezeichnungen der verwendeten Geräte sind aus den Quellen [24], [25] und [26] übernommen und unten in der Tabelle 1 dargestellt. Echtes Aussehen von Geräte aus den Koffer „SOLARTRAINER Junior“, „WINDTRAINER Junior“ und „H2 - TRAINER Junior“ sind entsprechend im Anhang I, II und III dargestellt.

Tabelle 1. Beschreibung und Bezeichnung der verwendeten Geräte

<p><b>Solarzelle</b> ist ein Gerät für die Umwandlung der Lichtenergie in elektrische Energie. Der obere Klemme ist positiv, der untere Klemme ist negativ. Eine Solarzelle ist 5 cm breit und 10 cm hoch. Es stehen insgesamt 4 Solarzellen zur Verfügung, die parallel oder in Reihe angeschlossen werden können.</p>	
<p><b>Strahler</b> ist ein Gerät, die dazu dient, Solarzellen mit künstlichem Licht zu bestrahlen. Bei der Inbetriebnahme wird Strahler vor den Solarzellen auf dem bestimmten Abstand installiert. Strahler ist mit dem Regler der Strahlungsstärke angeschlossen.</p>	
<p><b>Leiter</b> leitet den elektrischen Strom.</p>	
<p><b>Schlauch</b> transportiert Gas zum und aus dem Speicher.</p>	
<p><b>Einstellbarer Last</b> ist ein Last mit einstellbarem elektrischen Widerstand.</p>	
<p><b>Windkraftanlage</b> ist ein Gerät für die Umwandlung der Windenergie in elektrische Energie. Anzahl der Flügel kann von 2 bis 4 variieren. Der Flügelwinkel ist einstellbar. Generator G erzeugt Gleichstrom. Der Rotor dreht immer so, dass der obere Klemme positiv ist und der untere Klemme negativ ist.</p>	
<p><b>Windmaschine</b> dient dazu, den Wind für die Windkraftanlage zu erzeugen. Bei der Inbetriebnahme wird Windmaschine vor der Windkraftanlage auf dem bestimmten Abstand installiert. Windmaschine hat Windgeschwindigkeitsregler.</p>	

<p><b>Digitales Voltmeter</b> misst die Spannung im mV Bereich. 1 least significant digit (LSD) ist gleich 0,1 mV. Typ: präzis.</p>	
<p><b>Digitales Amperemeter</b> misst den Strom im mA Bereich. Ein LSD ist 0,1 mA. Typ: präzis.</p>	
<p><b>Speicher oder Gasspeicher</b> dient dazu, den Wasserstoff und Sauerstoff voneinander getrennt zu lagern und die Menge des jeweiligen Gases im ml Bereich zu messen. Ein LSD ist 1 ml. Typ: unpräzis. Wenn nötig ist, kann eine Öffnung mit einem roten Deckel wie gezeigt geschlossen werden.</p>	
<p><b>Elektrolyseur</b> ist ein Gerät für die Erzeugung des Wasserstoffs und Sauerstoffs aus dem Wasser. Es ist wichtig beim Betrieb, die Polung der Elektroden zu berücksichtigen. Der Wasserstoff entsteht an der Kathode, der Sauerstoff an der Anode. Elektrolyseur muss vor dem Betrieb mit dem Wasser gefüllt werden.</p>	
<p><b>Regler</b> dient wie eine Energiequelle, die nur für die Versorgung von Elektrolyseur geeignet ist. Regler stellt den Stromwert ein, mit dem der Elektrolyseur betrieben wird.</p>	
<p><b>Brennstoffzelle</b> verbraucht Wasserstoff und Sauerstoff, um den Gleichstrom zu erzeugen. Der linke Klemme ist positiv, der rechte Klemme ist negativ. Die Gase werden zu den Elektroden durch die Öffnungen transportiert. Wenn nötig ist, kann eine Öffnung mit einem roten Deckel wie gezeigt geschlossen werden. Brennstoffzelle muss vor dem Betrieb entlüftet werden.</p>	

## **3.2 Vorversuche**

Der Kapitel „Vorversuche“ untersucht vor allem die Energiequellen an sich. Das Ziel besteht darin, dass die Energiequellen später optimal in einem Netz funktionieren können. Dafür sollen die Parameter wie Spannungs-Strom-Kennlinie und maximaler Leistungspunkt (MPP) gemessen werden. Außerdem wird den Schaltplan der Hauptverbraucher erstellt und Elektrolyseur wird nach seiner Produktivität geprüft. Alle Geräte sollen geprüft werden, damit man feststellt, ob sie richtig funktionieren und ihre Eigenschaften zu theoretischer Charakteristik entsprechen.

Der Kapitel besteht aus drei Teilen: Vorversuch „Solarenergie“, Vorversuch „Windenergie“ und Vorversuch „Brennstoffzelle“. Jede Messung wird mehrmals durchgeführt und statistisch bearbeitet. Die weiter darstellende Werte sind die Mittelwerte der jeweiligen Messung. Messdaten und Unsicherheit der Messung sind im Anhang IV - XV dargestellt.

### **3.2.1 Solarenergie**

Vor dem Beginn der Messung muss der Versuchsaufbau richtig eingestellt werden. Alle 4 Solarzellen sind in einer Solarzelleneinheit zusammengebracht und können entweder getrennt oder zusammen funktionieren. Laut der Tabelle 1 wird die Solarzelleneinheit 10 cm hoch und 20 cm breit. Der Strahler ist vor der Solarzelleneinheit auf dem bestimmten Abstand installiert. Die Strahlung tritt die Solarzellen senkrecht auf. Strahler ist mit dem Regler der Strahlungsstärke angeschlossen. Wie in der Tabelle 1 geschrieben ist, bestrahlt der Strahler die Solarzellen mit künstlichem Licht. Damit wird die Sonne bzw. Wetter für die Solarzelleneinheit simuliert, aber mit der einstellbaren Strahlungsstärke. Die Geräte aus dem Koffer „SOLARTRAINER Junior“ ist im Anhang I dargestellt.

### 3.2.1.1 Versuch 1: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der Solarzellen

In Versuch 1 werden erstens einzelne Solarzellen geprüft. Der Strahler leuchtet so, dass die Strahlungsstärke von  $320 \text{ W/m}^2$  die Solarzelleneinheit auftritt. Die Abbildung 8 zeigt die Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der einzelnen Solarzellen. Alle Spannungswerte sind gleich, die Stromwerte sind bisschen niedriger bei der Solarzelle 1 und 4. Das liegt daran, dass diese Solarzellen näher am Rand der Solarzelleneinheit sind und bekommen deshalb bisschen weniger Strahlung.

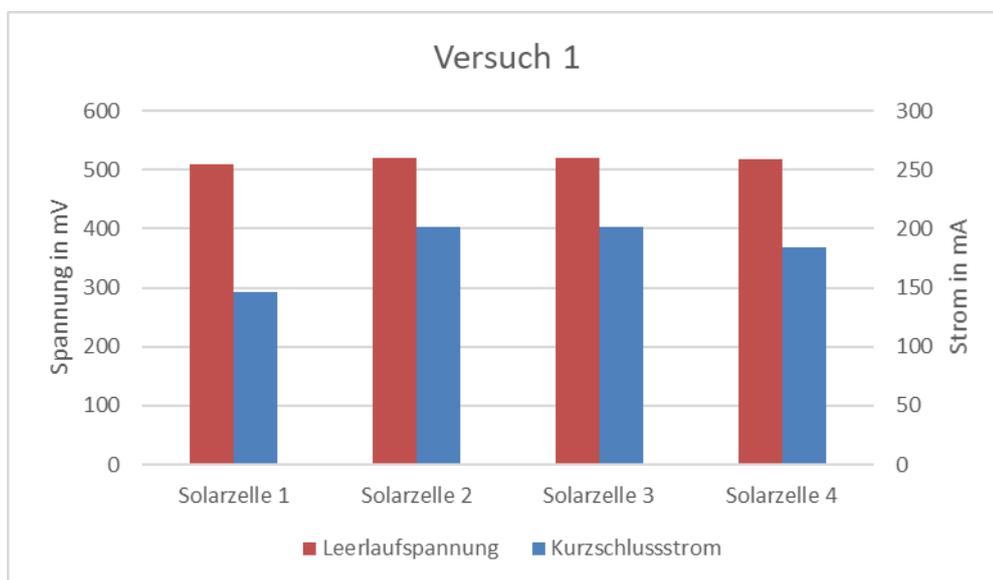


Abbildung 8. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der einzelnen Solarzellen

Zweitens werden alle 4 Solarzellen in Reihe angeschlossen, damit Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom noch mal gemessen werden. Die Abbildung 9 zeigt, dass der Strom auf dem konstanten Niveau bleibt, und die Spannung erhöht sich, je mehr Zellen angeschlossen sind. Das entspricht zu den theoretischen Grundlagen, weil die Reihenschaltung der elektrischen Geräte die Spannung beeinflusst.

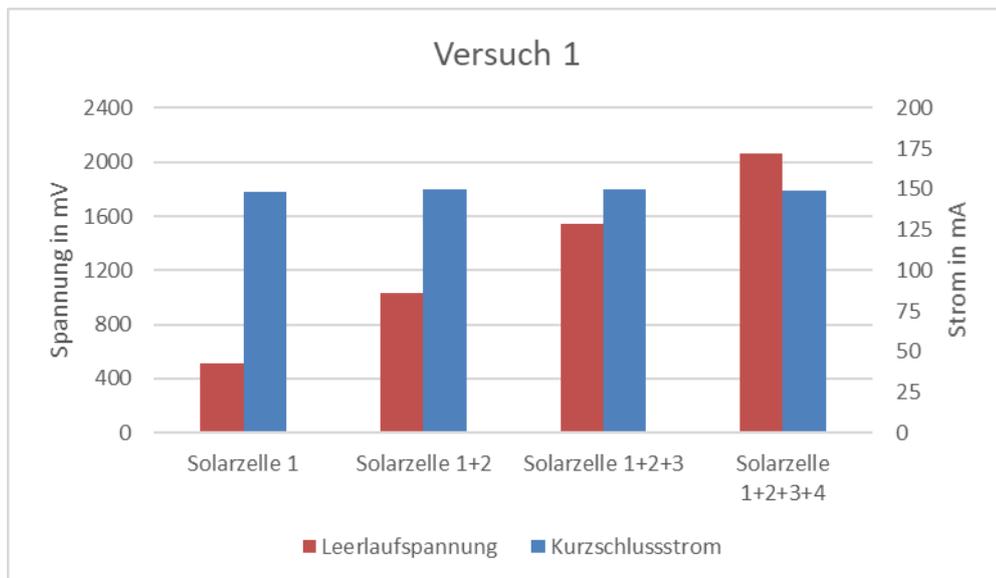


Abbildung 9. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der Reihenschaltung der Solarzellen

### 3.2.1.2 Versuch 2: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der Solarzellen bei unterschiedlicher Einstrahlungsstärke

Für die weitere Versuche ist das vor allem wichtig, die Reihenschaltung der Solarzellen zu untersuchen. Das liegt daran, dass später in einem Netz sinnvoll ist, die Solarzellen nicht einzeln, sondern gemeinsam zu betreiben.

Im Versuch 2 werden Solarzellen in Reihe angeschlossen. Die Einstrahlungsstärke wird mit Hilfe des Strahlers geregelt und ändert sich von  $0 \text{ W/m}^2$  bis maximalen Wert von  $320 \text{ W/m}^2$ . Dabei werden Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom gemessen. Die Auflösung der Messung beträgt  $20 \text{ W/m}^2$ .

Die Abbildung 10 zeigt eine lineare Abhängigkeit zwischen dem Strom und der Bestrahlungsstärke. Die Spannung wächst erstmal ganz stark und dann erreicht ein Plateau. Die Bestrahlungsstärke z.B. von  $100 \text{ W/m}^2$  bedeutet, dass genau so viel Energie die Solarzellen auftritt, bedeutet aber nicht, dass so viel Energie mit dem Strahler produziert wird. Das ist wichtig zu berücksichtigen, weil Strahler und Solarzellen voneinander entfernt sind. Wie aus dem Physikkurs bekannt ist, nimmt die Bestrahlungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung ab.

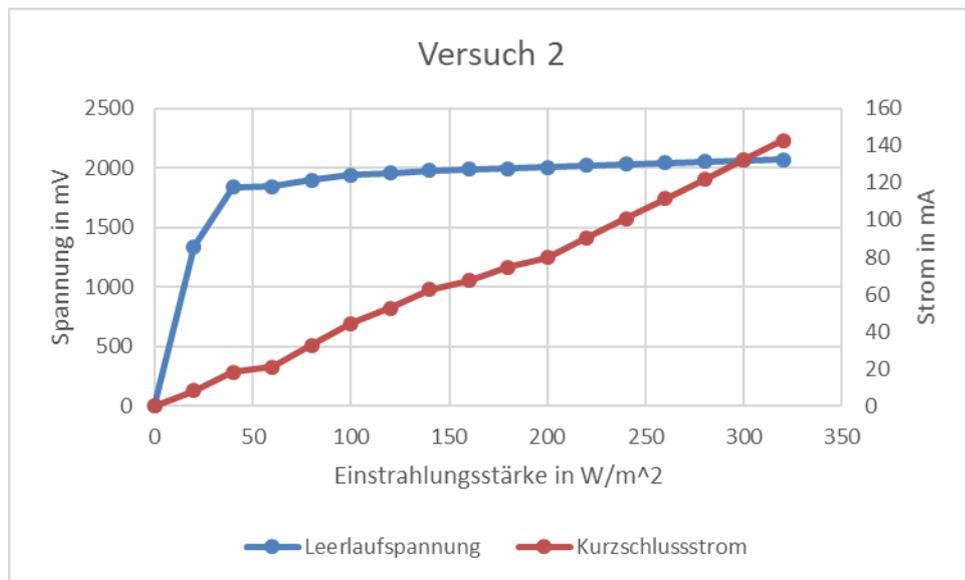


Abbildung 10. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom als Funktion der Bestrahlungsstärke

Der Versuch 2 stellt die Ergebnisse der Messung als die Funktionen der Bestrahlungsstärke. Dabei stehen viele Spannungs- und Stromwerte zur Verfügung. Es ist aber sinnvoll in weiteren Versuche nicht alle Werte zu nutzen, sondern manche Schlüsselwerte zu wählen. Wie im Kapitel 3.2.1 geschrieben wurde, simuliert der Strahler die Sonne bzw. Wetter für die Solarzellen. D.h. es können einige typische Wetterparametern gewählt werden, die für weitere Messungen als Basis bezeichnet werden. Das macht die Messungen einfacher und kompakter.

Um später ein typischer Tagesgang Solar möglichst genau simulieren zu können, werden drei Bestrahlungsstufen angenommen: niedrige, mittlere und hohe Bestrahlungsstärke. Die Tabelle 2 zeigt das Verhältnis zwischen den Bestrahlungsstufen und den Ergebnissen des 2. Versuchs. Weiterhin kann sich die Bestrahlungsstärke nur in die Grenzen der Tabelle 2 ändern.

Tabelle 2. Wetter für die Solarzellen

Bestrahlungsstärke (Stufe)	Niedrig	Mittel	Hoch
Bestrahlungsstärke in W/m <sup>2</sup>	60	200	320
Leerlaufspannung in mV	1844	2002	2069
Kurzschlussstrom in mA	21,0	79,8	142,8

### 3.2.1.3 Versuch 3: Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen

In der Abbildung 11 ist der Schaltplan für den Versuch 3 dargestellt. Hier sind Solarzellen in Reihe angeschlossen. Wie in der Tabelle 1 geschrieben wurde, ist der obere Klemme positiv und der untere Klemme – negativ. D.h. fließt der Strom aus dem oberen Klemme durch dem einstellbaren Last  $R_1$  in den unteren Klemme. Um die Messwerte zu erhalten sind Voltmeter  $V_1$  und Amperemeter  $A_1$  wie gezeigt angeschlossen.

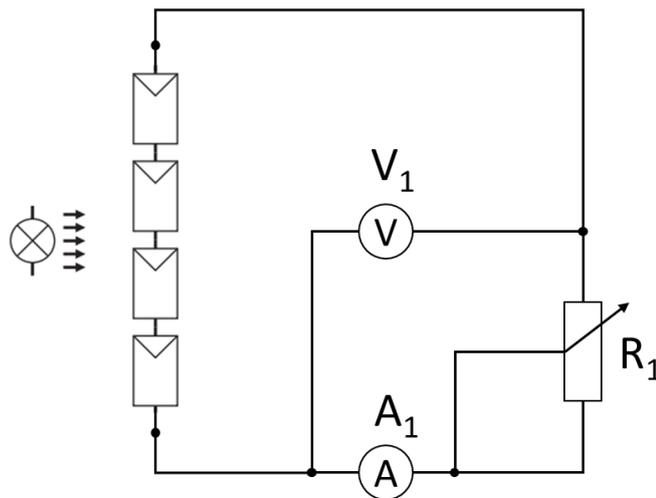


Abbildung 11. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen

Versuch 3 besteht aus drei Teilen, die Werte für hohe, mittlere und niedrige Einstrahlungsstärke entsprechend bereitstellen. Ziel ist die Strom-Spannungs-Kennlinien, MPP und Leistung-Widerstands-Kennlinien für die jede Bestrahlungsstärke festzustellen.

**Teil 1.** Die Messung ist für hohe Einstrahlungsstärke, also  $320 \text{ W/m}^2$ , durchgeführt. Es werden folgende Ergebnisse für Strom-Spannungs-Kennlinie, Abbildung 12, und Leistung-Widerstands-Kennlinie, Abbildung 13, ermittelt.

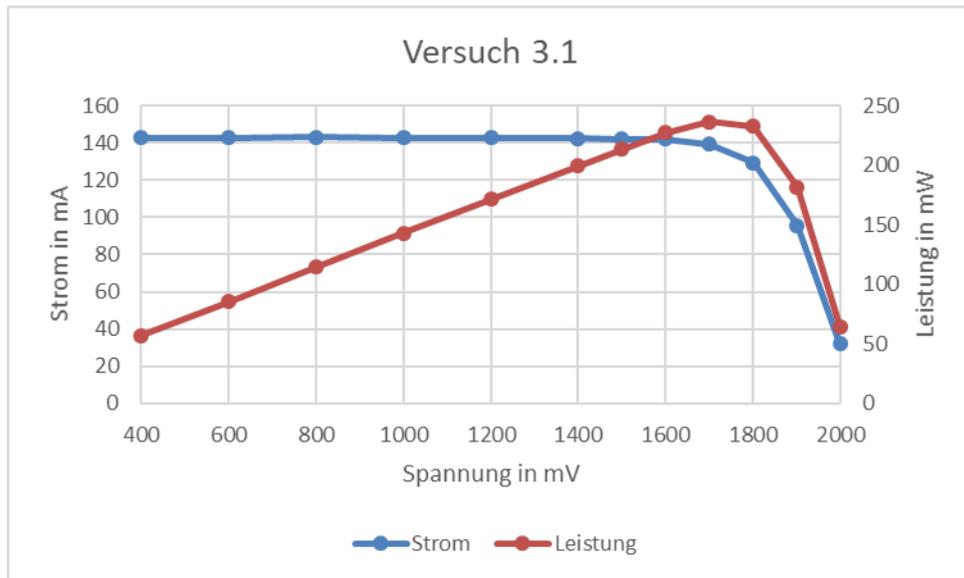


Abbildung 12. Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen bei  $320 \text{ W/m}^2$

Eine lineare Energiequelle funktioniert dann im MPP, wenn der Innenwiderstand gleich der Lastwiderstand ist. Der MPP wird bei  $236 \text{ mW}$  mit der Spannung von  $1,7 \text{ V}$  erreicht. Der optimale Widerstand bzw. Innenwiderstand der Solarzellen ist dabei  $12,2 \Omega$ .

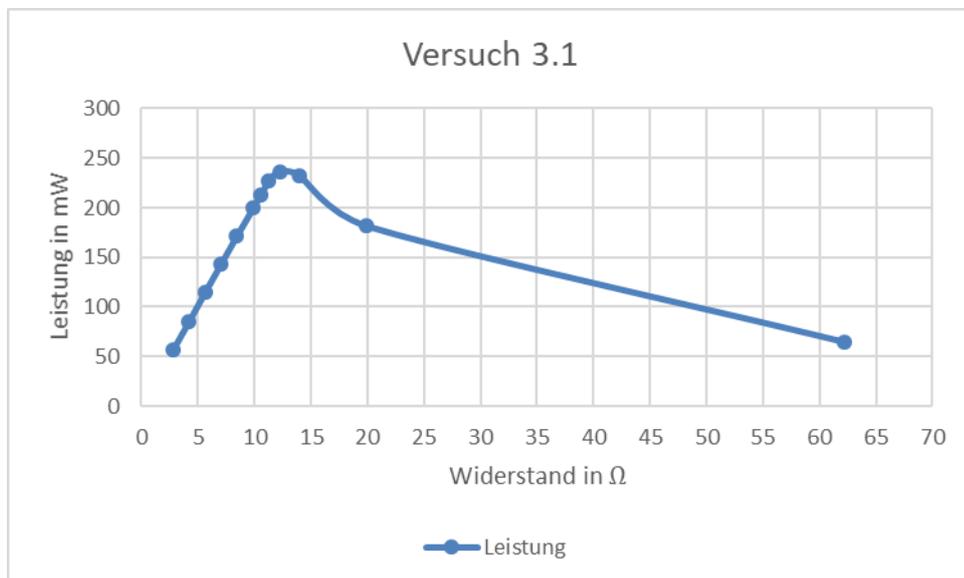


Abbildung 13. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Solarzellen bei  $320 \text{ W/m}^2$

**Teil 2.** Die Messung ist für mittlere Einstrahlungsstärke, also  $200 \text{ W/m}^2$ , durchgeführt. Es werden folgende Ergebnisse für Strom-Spannungs-Kennlinie, Abbildung 14, und Leistung-Widerstands-Kennlinie, Abbildung 15, ermittelt.

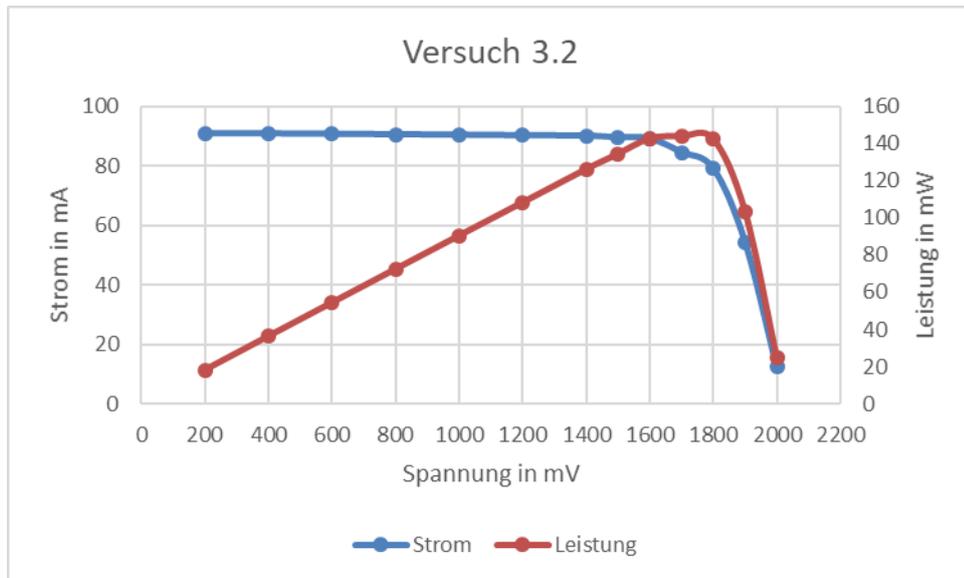


Abbildung 14. Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen bei 200 W/m<sup>2</sup>

Der MPP wird bei 143 mW mit der Spannung von 1,7 V erreicht. Der optimale Widerstand ist dabei 20,1 Ω.

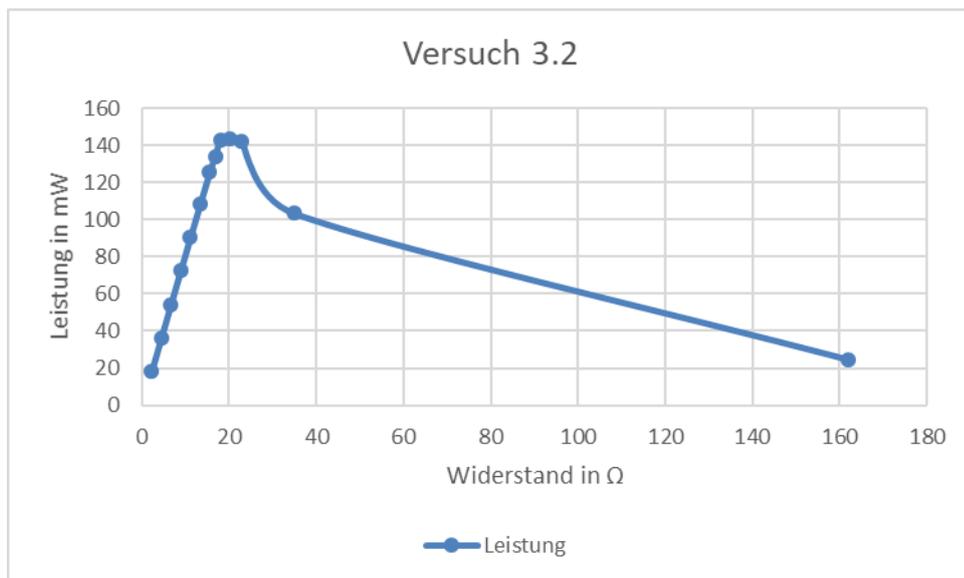


Abbildung 15. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Solarzellen bei 200 W/m<sup>2</sup>

**Teil 3.** Die Messung ist für niedrige Einstrahlungsstärke, also 60 W/m<sup>2</sup>, durchgeführt. Es werden folgende Ergebnisse für Strom-Spannungs-Kennlinie, Abbildung 16, und Leistung-Widerstands-Kennlinie, Abbildung 17, ermittelt.

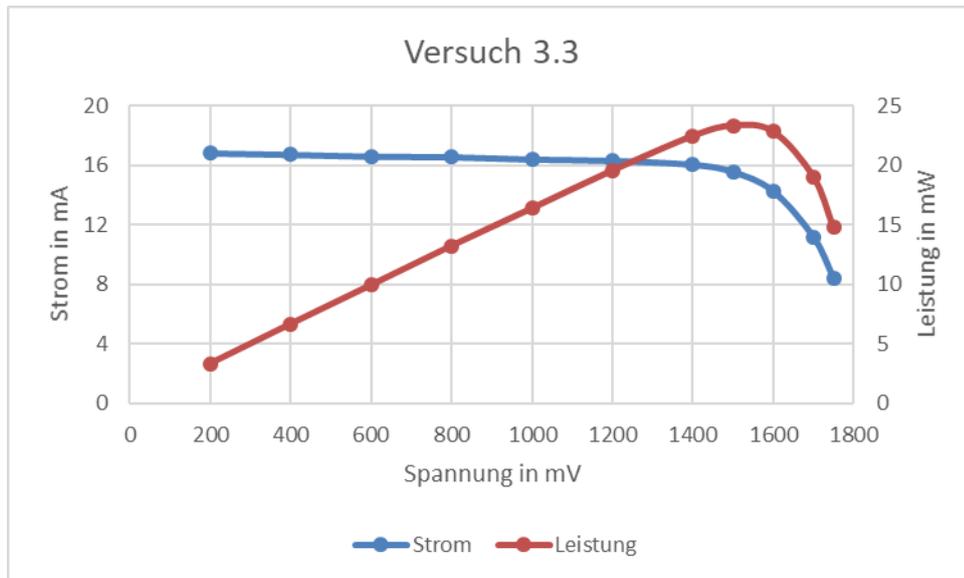


Abbildung 16. Strom-Spannungs-Kennlinie der Solarzellen bei  $60 \text{ W/m}^2$

Der MPP wird bei 23 mW mit der Spannung von 1,5 V erreicht. Der optimale Widerstand ist dabei  $96,3 \Omega$ .

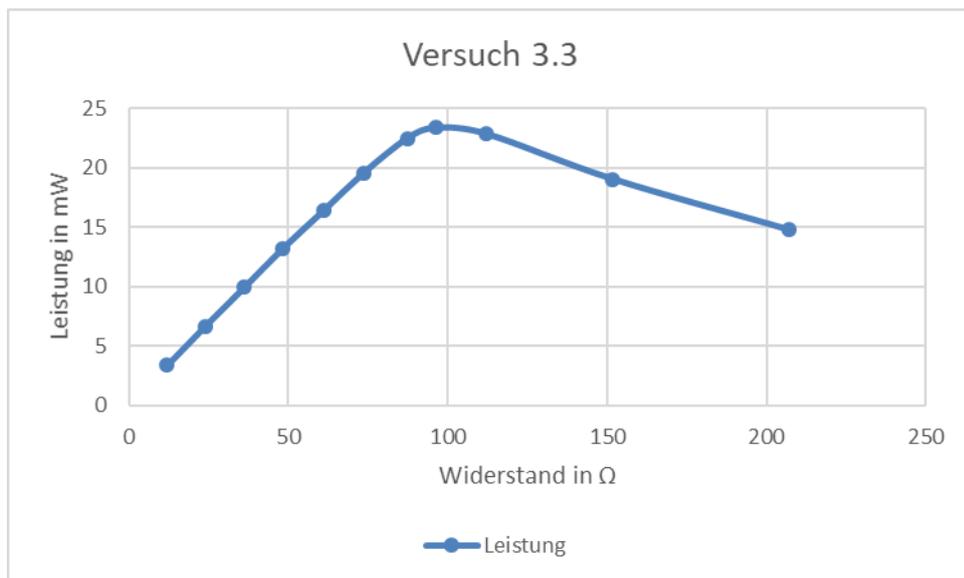


Abbildung 17. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Solarzellen bei  $60 \text{ W/m}^2$

### 3.2.1.4 Fazit

Die notwendigen Werte sind ermittelt. Wetterparametern für die Solarzellen sind festgestellt. Strom-Spannungs-Kennlinien und maximale Leistungspunkte für jede Bestrahlungsstärke sind festgestellt. Alle Werte passen zu den theoretischen

Eigenschaften der Solarzellen. Der Innenwiderstand der Solarzellen ist gemessen. Alle Messdaten bezüglich des Vorversuchs „Solarenergie“ sind im Anhang IV – VI dargestellt.

### **3.2.2 Windenergie**

Vor dem Beginn der Messung muss der Versuchsaufbau richtig eingestellt werden. Laut der Tabelle 1 kann die Anzahl der Flügeln von 2 bis 4 variieren. In diesem Versuch und auch weiter wird die Windkraftanlage mit 3 Flügeln funktioniert. Die 3 Flügeln imitiert am besten den Aufbau einer realen Windkraftanlage. Die Windmaschine ist vor der Windkraftanlage auf dem bestimmten Abstand installiert. Der Wind weht senkrecht auf die Flügelfläche. Windmaschine hat ein Windgeschwindigkeitsregler. Wie in der Tabelle 1 geschrieben ist, erzeugt die Windmaschine einen Wind für die Windkraftanlage. Damit wird den natürlichen Wind simuliert, aber mit der einstellbaren Geschwindigkeit. Die Geräte aus dem Koffer „WINDTRAINER Junior“ ist im Anhang II dargestellt.

#### **3.2.2.1 Versuch 1: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der Windkraftanlage bei unterschiedlichem Flügelwinkel**

In Versuch 1 werden verschiedene Flügelwinkeln der Windkraftanlage geprüft. Die Windmaschine erzeugt den Wind mit der Geschwindigkeit von 10 m/s. Die Abbildung 18 zeigt die Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom für jeden Flügelwinkel. Mit dem steigenden Winkel erhöht sich die Drehzahl des Rotors, was zu einer höheren Spannung und höheren Strom führt.

Der Flügelwinkel von  $75^\circ$  zeigt das beste Potenzial für die Energieerzeugung, deshalb es wird als optimaler Winkel gewählt und bleibt in den weiteren Messungen unveränderlich.

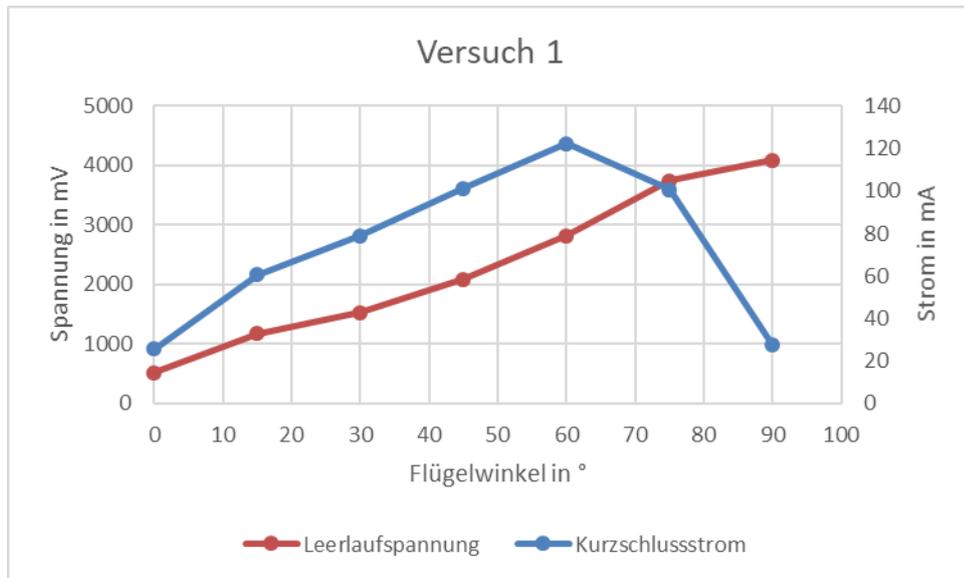


Abbildung 18. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom als Funktion des Flügelwinkels

### 3.2.2.2 Versuch 2: Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom der Windkraftanlage bei unterschiedlicher Windgeschwindigkeit

Im Versuch 2 wird die Windkraftanlage mit dem Flügelwinkel von  $75^\circ$  verwendet. Die Windgeschwindigkeit wird mit Hilfe der Windmaschine geregelt und ändert sich von 0 m/s bis maximalen Wert von 10 m/s. Dabei werden Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom gemessen. Die Auflösung der Messung beträgt 1 m/s.

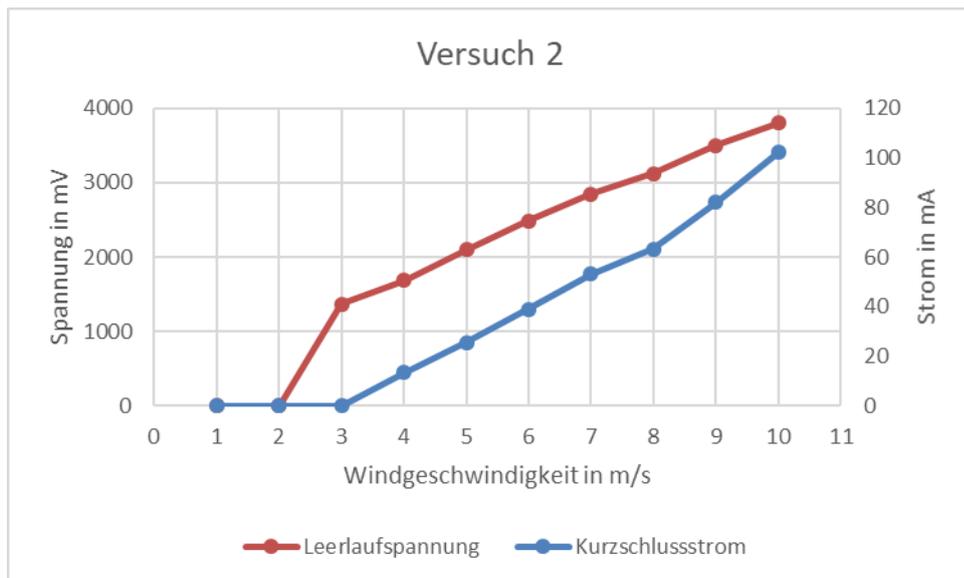


Abbildung 19. Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom als Funktion der Windgeschwindigkeit

Die Abbildung 19 zeigt eine lineare Abhängigkeit zwischen dem Strom und der Windgeschwindigkeit. Gleiche gilt auch für die Spannung. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass 3 m/s eine minimale Windgeschwindigkeit ist, damit der Rotor der Anlage drehen kann. Die Windgeschwindigkeit z.B. von 5 m/s bedeutet, dass der Wind mit dieser Geschwindigkeit treibt die Windkraftanlage und bedeutet nicht, dass diese Windgeschwindigkeit durch die Windmaschine erzeugt wird. Das ist wichtig zu berücksichtigen, weil Windmaschine und Windkraftanlage voneinander entfernt sind.

Der Versuch 2 stellt die Ergebnisse der Messung als die Funktionen der Windgeschwindigkeit. Dabei stehen viele Spannungs- und Stromwerte zur Verfügung. Es ist aber sinnvoll in weiteren Versuche nicht alle Werte zu nutzen, sondern manche Schlüsselwerte zu wählen. Wie im Kapitel 3.2.2 geschrieben wurde, simuliert die Windmaschine den natürlichen Wind für die Windkraftanlage. D.h. es können einige typische Wetterparametern gewählt werden, die für weitere Messungen als Basis bezeichnet werden. Das macht die Messungen einfacher und kompakter.

Um später eine Änderung der Windgeschwindigkeit im Laufe des Tages möglichst genau simulieren zu können, werden drei Windgeschwindigkeitsstufen angenommen: niedrige, mittlere und hohe Windgeschwindigkeit. Die Tabelle 3 zeigt das Verhältnis zwischen den Windgeschwindigkeitsstufen und den Ergebnissen des 2. Versuchs. Weiterhin kann die Windgeschwindigkeit nur eine von diesen 3 Werte nehmen.

Tabelle 3. Wetter für die Windkraftanlage

Windgeschwindigkeit (Stufe)	Niedrig	Mittel	Hoch
Windgeschwindigkeit in m/s	2	6	10
Leerlaufspannung in mV	0	2485	3799
Kurzschlussstrom in mA	0	38,9	102,2

### 3.2.2.3 Versuch 3: Strom-Spannungs-Kennlinie der Windkraftanlage

In der Abbildung 20 ist der Schaltplan für den Versuch 3 dargestellt. Wie in der Tabelle 1 geschrieben wurde, ist der obere Klemme positiv und der untere Klemme negativ. D.h. fließt der Strom aus dem oberen Klemme durch dem einstellbaren Last  $R_1$  in den unteren Klemme. Um die Messwerte zu erhalten sind Voltmeter  $V_1$  und Amperemeter  $A_1$  wie gezeigt angeschlossen.

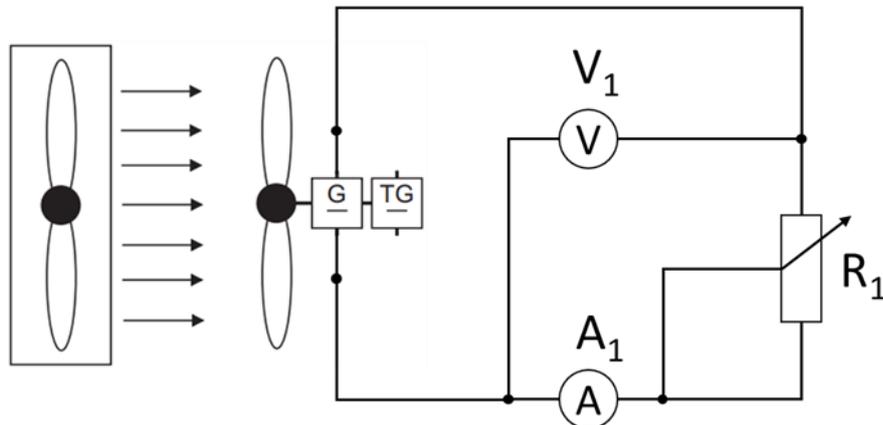


Abbildung 20. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie der Windkraftanlage

Versuch 3 besteht aus drei Teilen, die Werte für hohe, mittlere und niedrige Windgeschwindigkeit entsprechend bereitstellen. Ziel ist die Strom-Spannungs-Kennlinien, MPP und Leistung-Widerstands-Kennlinien für die jede Windgeschwindigkeit festzustellen.

**Teil 1.** Die Messung ist für hohe Windgeschwindigkeit, also 10 m/s, durchgeführt. Es werden folgende Ergebnisse für Strom-Spannungs-Kennlinie, Abbildung 21, und Leistung-Widerstands-Kennlinie, Abbildung 22, ermittelt.

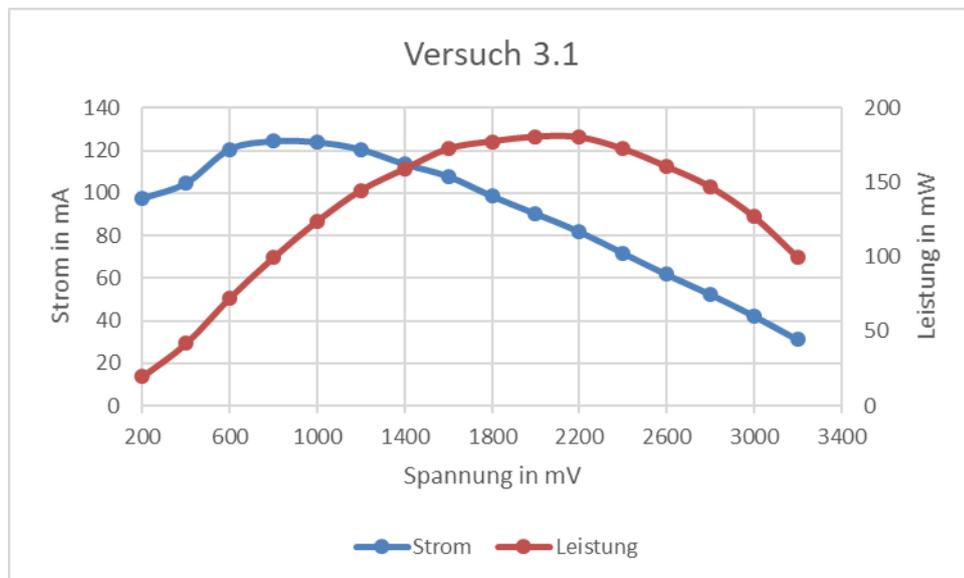


Abbildung 21. Strom-Spannungs-Kennlinie der Windkraftanlage bei 10 m/s

Eine lineare Energiequelle funktioniert dann im MPP, wenn der Innenwiderstand gleich der Lastwiderstand ist. Der MPP wird bei 180 mW mit der Spannung von 2 V erreicht. Der optimale Widerstand bzw. Innenwiderstand ist dabei 22,1  $\Omega$ .

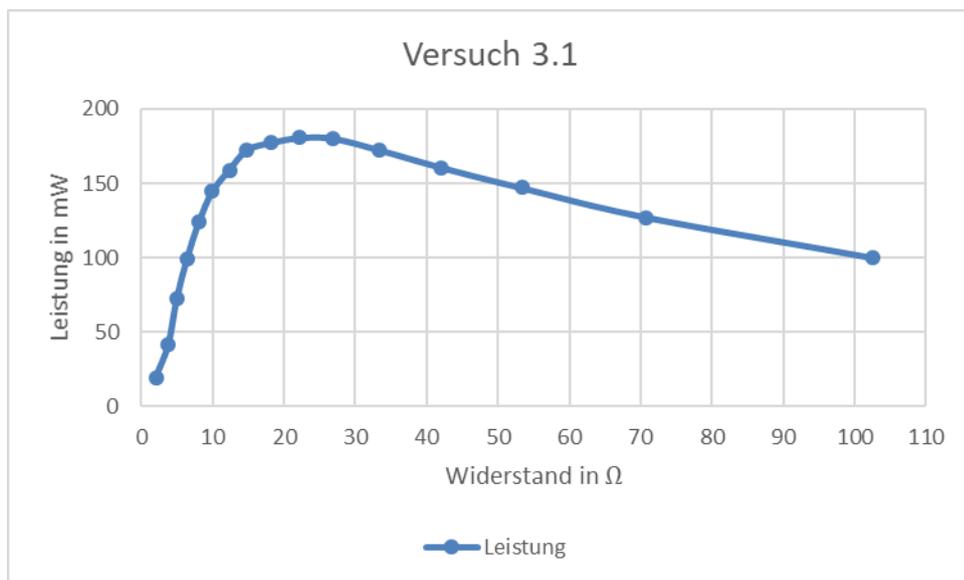


Abbildung 22. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Windkraftanlage bei 10 m/s

**Teil 2.** Die Messung ist für mittlere Windgeschwindigkeit, also 6 m/s, durchgeführt. Es werden folgende Ergebnisse für Strom-Spannungs-Kennlinie, Abbildung 23, und Leistung-Widerstands-Kennlinie, Abbildung 24, ermittelt.

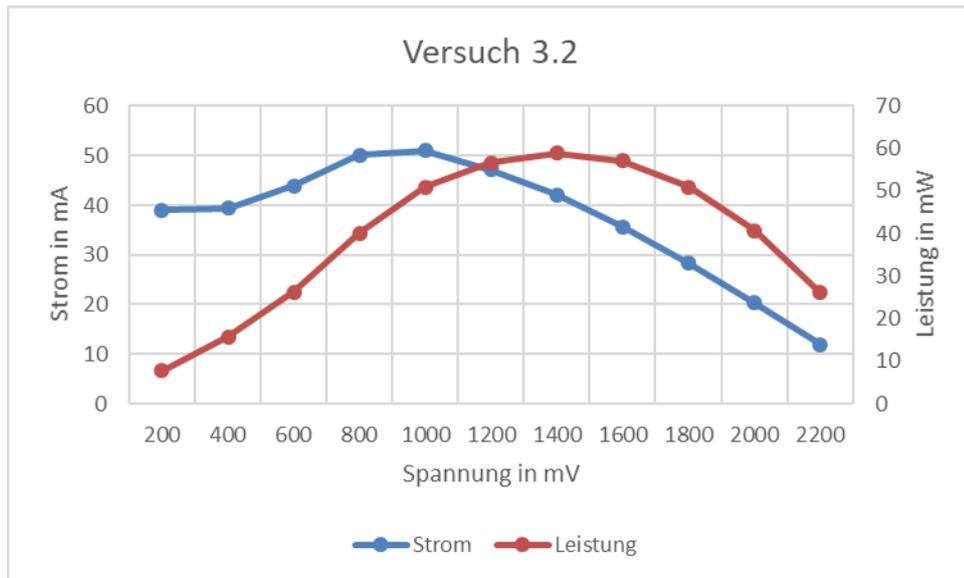


Abbildung 23. Strom-Spannungs-Kennlinie der Windkraftanlage bei 6 m/s

Der MPP wird bei 59 mW mit der Spannung von 1,4 V erreicht. Der optimale Widerstand ist dabei 33,2  $\Omega$ .

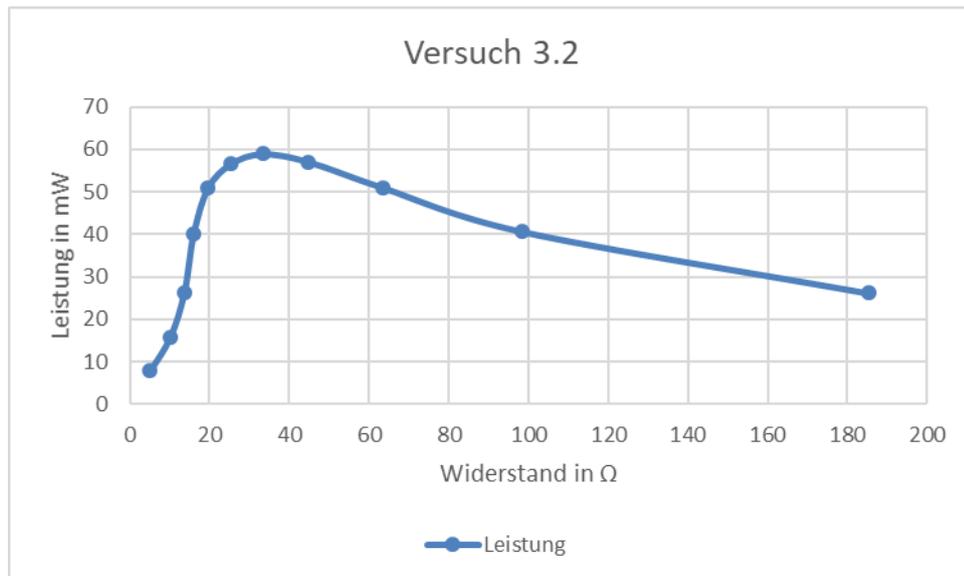


Abbildung 24. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Windkraftanlage bei 6 m/s

**Teil 3.** Die Messung ist für niedrige Windgeschwindigkeit, also 2 m/s, durchgeführt. Wie früher festgestellt wurde, funktioniert die Anlage bei niedriger Windgeschwindigkeit nicht, deshalb sind Strom und Leistung auf null.

### 3.2.2.4 Versuch 4: Strom-Spannungs-Kennlinie der Verbraucher

In der Abbildung 25 ist der Schaltplan für den Versuch 4 dargestellt. Dies Versuch prüft, ob Solarzellen und Windkraftanlage zusammen in einem Netz funktionieren können. Wie im Schaltplan gezeigt ist, sind die Energiequellen parallel angeschlossen. Es werden noch die Energiewerte beider Energiequellen gemessen. Dafür sind sowohl Voltmeter  $V_3$  und Amperemeter  $A_3$ , als auch Voltmeter  $V_4$  und Amperemeter  $A_4$  angeschlossen.

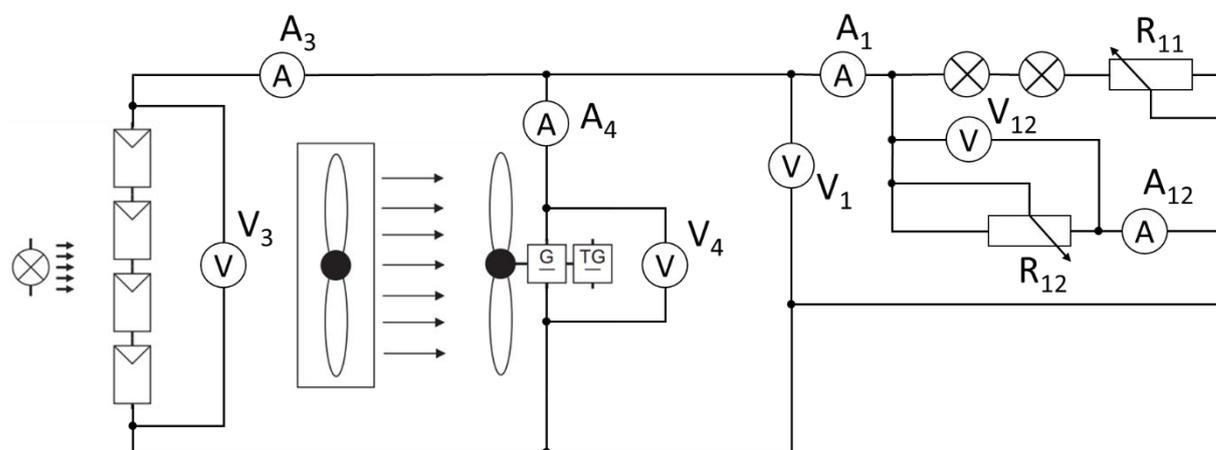


Abbildung 25. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie der Verbraucher  
Wichtig ist, dass zum ersten Mal den Aufbau der Verbraucher bzw. Hauptverbraucher erstellt ist. Wie im Kapitel 3 geschrieben wurde, ist die Hauptverbraucher eine bestimmte Menge der Glühlampen und Lastwiderstände, die in einem Schaltplan zusammengebracht sind. In der Abbildung 25 ist der Schaltplan der Verbraucher rechts angezeigt. Die zwei Glühlampen und der Last  $R_{11}$  sind in Reihe angeschlossen. Der Last  $R_{12}$  ist wie gezeigt parallel angeschlossen. Solcher Aufbau der Verbraucher hat einen Widerstandsbereich, der zu den Energiequellen am besten passt. Das Voltmeter  $V_1$  und das Amperemeter  $A_1$  messen die gesamte Verbraucher. Die Messgeräte  $V_{12}$  und  $A_{12}$  messen spezifisch den einstellbaren Last  $R_{12}$ . Die Ergebnisse der Messung sind in der Abbildung 26 dargestellt. Der Last hier ist Last  $R_{12}$ .

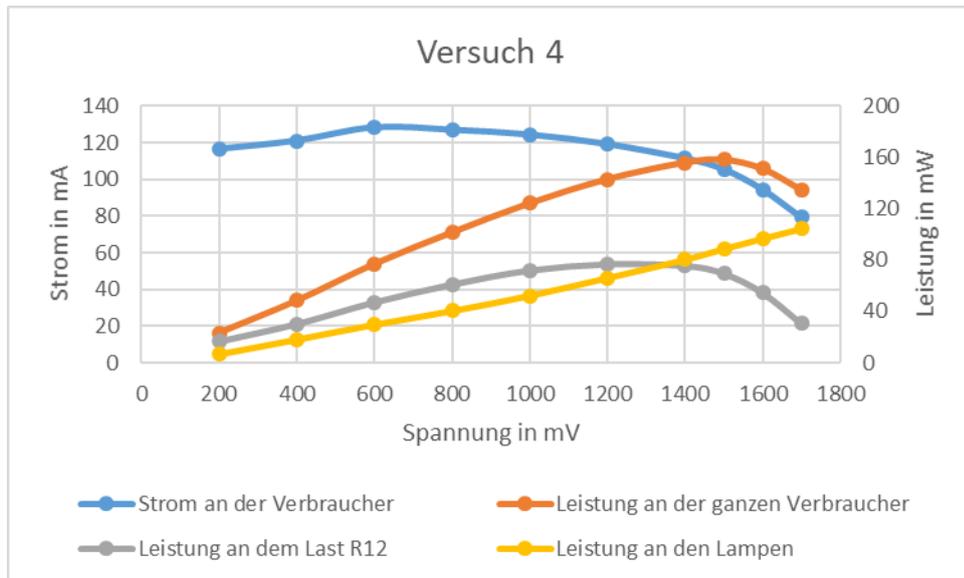


Abbildung 26. Strom-Spannungs-Kennlinie der Verbraucher und Leistung ihrer Komponenten  
 Die horizontale Achse ist die Messwerte des Voltmeters  $V_1$ . Die vertikale Achse ist die Messwerte des Amperemeters  $A_1$ . In der Abbildung 26 werden noch die Leistungswerte für die Komponenten der Verbraucher gezeigt. Der MPP der Verbraucher wird bei 158 mW mit der Spannung von 1,5 V erreicht. Solcher Aufbau der Hauptverbraucher wird auch in den meisten weiteren Versuche verwendet.

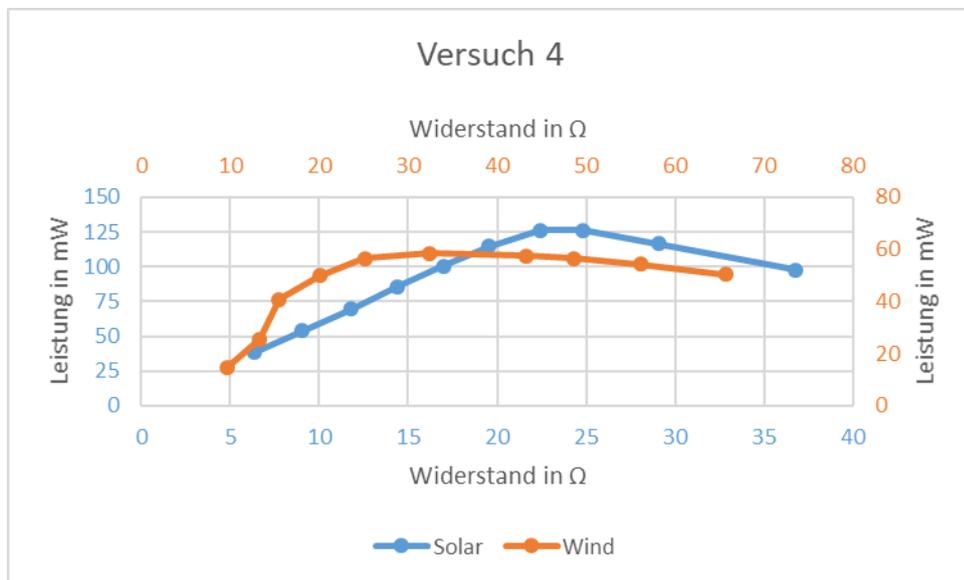


Abbildung 27. Leistungswerten der Energiequellen bei mittlerem Wetter

In diesem Versuch ist das Wetter für die beide Energiequellen auf Mittel festgestellt. Die Einstrahlungsstärke und die Windgeschwindigkeit betragen  $200 \text{ W/m}^2$  und 6

m/s. Wie aus der Abbildung 27 ersichtlich ist, haben die Energiequellen seine MPP bei unterschiedlichem Widerstand. Die blauen Zahlen gehören zu der Solarenergie, die orangen Zahlen – zur Windenergie.

### **3.2.2.5 Fazit**

Die notwendige Werte sind ermittelt. Wetterparametern für die Windkraftanlage sind festgestellt. Strom-Spannungs-Kennlinien und maximale Leistungspunkte für jede Windgeschwindigkeit sind festgestellt. Alle Werten passen zu den theoretischen Eigenschaften der Windkraftanlage. Der Aufbau der Verbraucher ist erstellt und untersucht. Der Innenwiderstand der Windkraftanlage ist gemessen. Alle Messdaten bezüglich des Vorversuchs „Windenergie“ sind im Anhang VII – X dargestellt.

### **3.2.3 Brennstoffzelle**

Vor dem Beginn der Messung muss der Versuchsaufbau richtig eingestellt werden. Erstens wird das Elektrolyseur in Betrieb genommen. Vor dem Betrieb muss Elektrolyseur mit dem Wasser gefüllt werden. Dabei haben die Elektroden des Elektrolyseurs einen Zugang zum Wasser, sodass die Herstellung des Wasserstoffs und Sauerstoffs möglich wird. Der Wasserstoff entsteht an der Kathode, der Sauerstoff an der Anode.

Zweitens wird der Gasspeicher vorbereitet. Insgesamt hat der Gasspeicher 4 Öffnungen: 2 Öffnungen für den Gassammelraum des Wasserstoffs und 2 Öffnungen für den Gassammelraum des Sauerstoffs. Die Gassammelräume sind voneinander getrennt. 2 Öffnungen werden mit den roten Deckeln genauso, wie in der Tabelle 1 gezeigt ist, geschlossen. Die Schläuche verbinden die offene Öffnungen mit den Öffnungen des Elektrolyseurs, sodass die hergestellte Gase im

Speicher gesammelt werden können. Die Abbildung 28 zeigt, wie genau Elektrolyseur und Gasspeicher zusammenschlossen werden müssen.

Drittens wird die Brennstoffzelle in Betrieb genommen. Vor dem Betrieb muss Brennstoffzelle entlüftet werden, sodass keine atmosphärische Luft zur Reaktionsfläche der Brennstoffzelle kommt. Nach der Belüftung mit dem Wasserstoff und mit dem Sauerstoff ist die chemische Reaktion (1) an den Elektroden möglich.

Die Geräte aus dem Koffer „H<sub>2</sub>-TRAINER Junior“ ist im Anhang III dargestellt.

### 3.2.3.1 Versuch 1: Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs

Der Versuch 1 hat als sein Ziel, die Eigenschaften des Elektrolyseurs zu ermitteln. Es werden die Strom-Spannungs-Kennlinie und Energie-Wirkungsgrad gemessen. In der Abbildung 28 ist der Schaltplan für den Versuch 1 dargestellt.

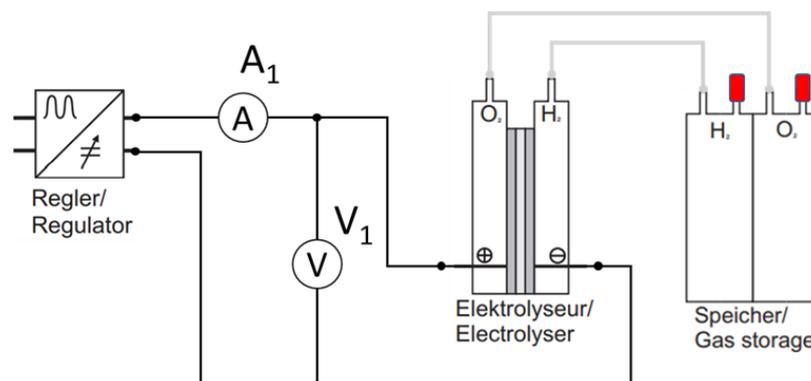


Abbildung 28. Schaltplan für die Bestimmung des Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs

Für die Energieversorgung des Elektrolyseurs wird den Regler verwendet. Wie in der Tabelle 1 geschrieben wurde, ist der Regler eine Energiequelle, die nur für die Versorgung von Elektrolyseur geeignet ist. Regler wird über eine Steckdose mit Strom versorgt, damit eine passende elektrische Leistung eingestellt wird, mit der das Elektrolyseur betrieben wird. Der obere Klemme des Reglers positiv und der untere Klemme negativ. D.h. fließt der Strom aus dem oberen Klemme durch dem

Elektrolyseur in den unteren Klemme. Um die Messwerte zu erhalten sind Voltmeter  $V_1$  und Amperemeter  $A_1$  wie gezeigt angeschlossen. Die hergestellte Gase werden ins Gasspeicher transportiert, in dem ihre Volumen gemessen wird.

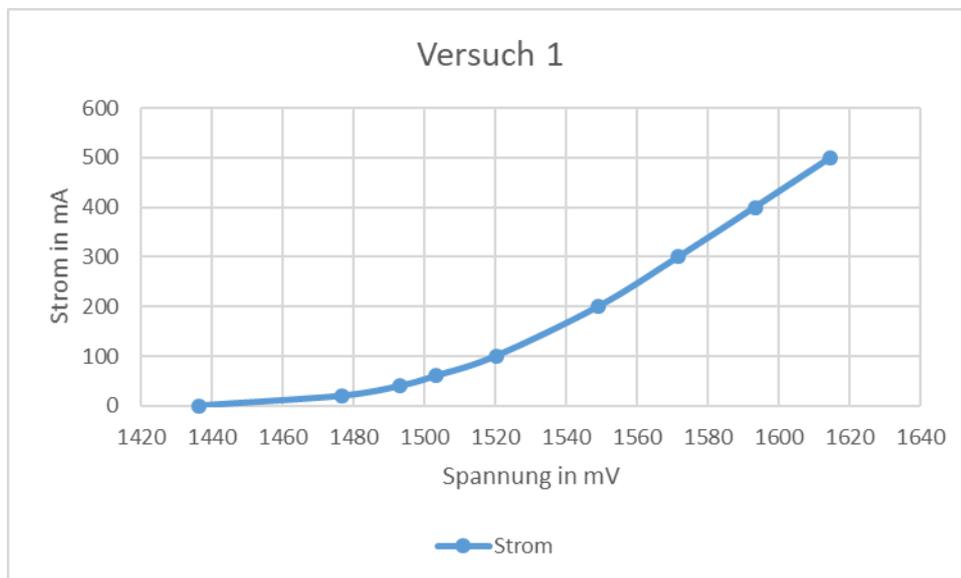


Abbildung 29. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs

Es muss eine minimale Spannung an den Elektroden sein, damit Elektrolyse des Wassers passieren kann. Wie aus der Abbildung 29 ersichtlich ist, beträgt diese Spannung ca. 1,44 V. Wie im Kapitel 3 geschrieben ist, muss das Elektrolyseur nur dann funktionieren, wenn es die überschüssige Energie im System zur Verfügung steht. Dabei werden das Wasserstoff und das Sauerstoff produziert.

Der Wirkungsgrad und Herstellung des Wasserstoffs sind in der Tabelle 4 dargestellt. Der höherer Strom bedeutet mehr chemische Reaktion an den Elektroden, was zu steigender Gasproduktion führt. Der Wirkungsgrad bleibt ungefähr konstant.

Tabelle 4. Gasproduktion und Wirkungsgrad des Elektrolyseurs bei gegebenem Strom

Strom in mA	100	200	300	400	500
Gasproduktion in ml/min	0,7	1,4	2,2	3,0	3,5
Wirkungsgrad in %	89,9	93,2	91,1	91,7	85,9

### 3.2.3.2 Versuch 2: Verwendung des Elektrolyseurs zusammen mit den Solarzellen

In der Abbildung 30 ist der Schaltplan für den Versuch 2 dargestellt. Dies Versuch prüft vor allem, ob Elektrolyseur zusammen mit den Solarzellen verwendet werden kann. Wie im vorherigen Kapitel festgestellt wurde, soll eine minimale Spannung von 1,44 V an den Elektroden des Elektrolyseurs entstehen. Die Bestrahlungsstärke ist  $200 \text{ W/m}^2$ . Zusätzlich wird der Lastwiderstand  $R_1$  in Reihe angeschlossen. Die hergestellte Gase werden im Gasspeicher gesammelt.

Das Voltmeter  $V_1$  misst die Spannung des Lastwiderstands  $R_1$ . Das Voltmeter  $V_2$  misst die Spannung des Elektrolyseurs. Die Stromstärke ist für beide Energieverbrauchern gleich und wird mit dem Amperemeter  $A_1$  gemessen.

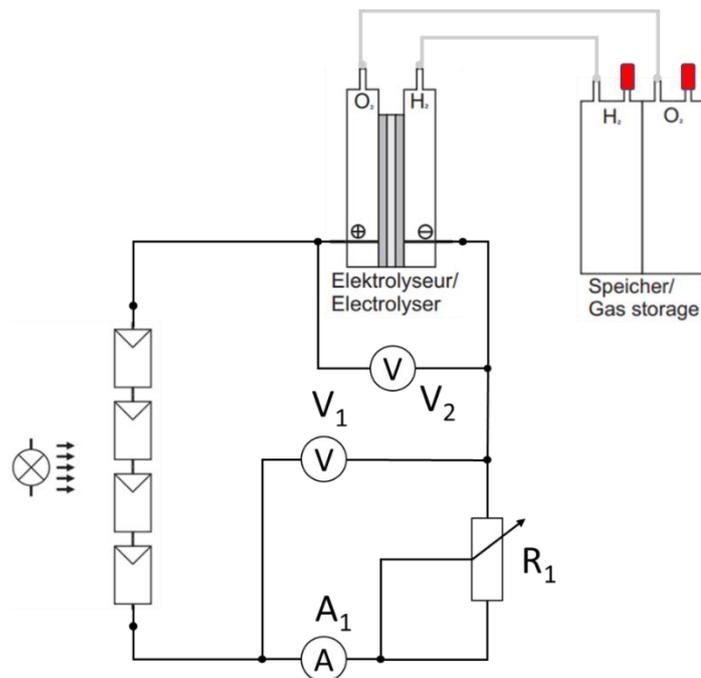


Abbildung 30. Schaltplan für die Bestimmung der Gasgewinnung beim Zusammenspiel mit den Solarzellen

Wie in der Abbildung 31 gezeigt ist, wird der MPP des Lastwiderstands  $R_1$  bei 21,5 mW mit der Spannung von 360 mV erreicht. Die horizontale Achse ist die Messwerte des Voltmeters  $V_1$ .

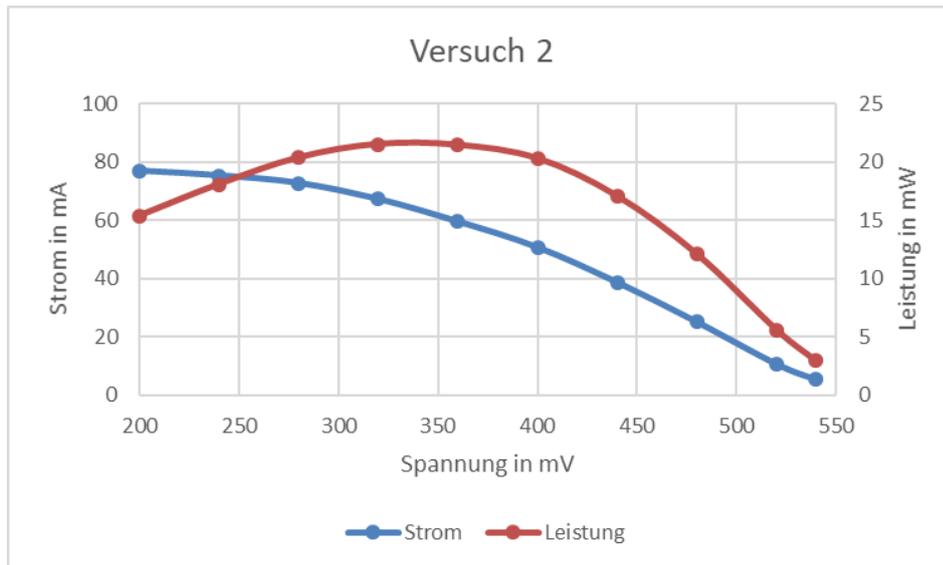


Abbildung 31. Strom-Spannungs-Kennlinie des Lastwiderstands bei  $200 \text{ W/m}^2$

Wie in der Abbildung 32 gezeigt ist, wird der maximale Leistung des Elektrolyseurs bei  $116,2 \text{ mW}$  mit der Spannung von  $1511 \text{ mV}$  erreicht. Der Widerstand ist dabei  $19,6 \Omega$ . Diese Werte sind die beste in dem Messbereich und deshalb zählen als Optimum für die Gasgewinnung. Die horizontale Achse ist die Messwerte des Voltmeters  $V_2$ .

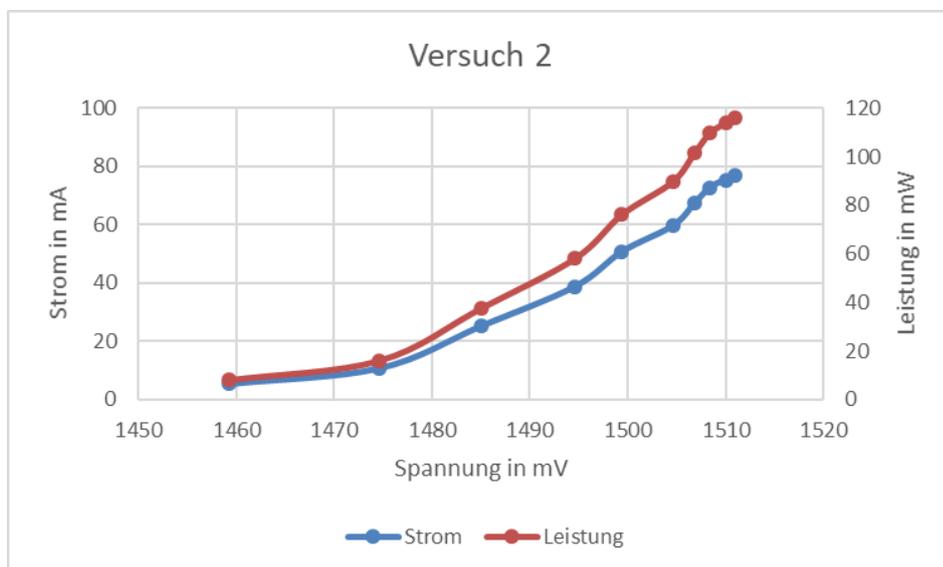


Abbildung 32. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs bei  $200 \text{ W/m}^2$

Aus diesen Ergebnissen kann man schlussfolgern, dass die Solarzellen nicht nur Elektrolyseur, sondern auch einen Last versorgen können. Die konkrete Werten der Gasproduktion sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5. Gasproduktion des Elektrolyseurs bei 200 W/m<sup>2</sup>

Einstrahlungsstärke in W/m <sup>2</sup>	Maximum Strom in mA	Maximum Spannung in mV	Ergebnis H <sub>2</sub> in ml/min	Ergebnis O <sub>2</sub> in ml/min
200	76,9	1511	0,70	0,35

### 3.2.3.3 Versuch 3: Verwendung des Elektrolyseurs zusammen mit der Windkraftanlage

In der Abbildung 33 ist der Schaltplan für den Versuch 3 dargestellt. Dies Versuch prüft vor allem, ob Elektrolyseur zusammen mit der Windkraftanlage verwendet werden kann. Es soll wieder eine minimale Spannung von 1,44 V entstehen. Die Windgeschwindigkeit ist 6 m/s. Zusätzlich wird der Lastwiderstand R<sub>1</sub> in Reihe angeschlossen. Die hergestellte Gase werden im Gasspeicher gesammelt.

Das Voltmeter V<sub>1</sub> misst die Spannung des Lastwiderstands R<sub>1</sub>. Das Voltmeter V<sub>2</sub> misst die Spannung des Elektrolyseurs. Die Stromstärke ist für beide Energieverbraucher gleich und wird mit dem Amperemeter A<sub>1</sub> gemessen.

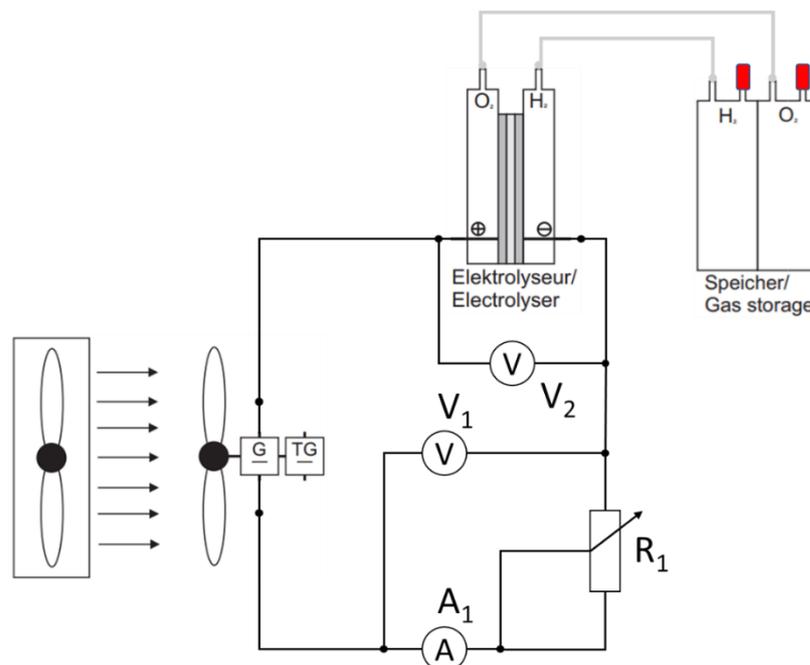


Abbildung 33. Schaltplan für die Bestimmung der Gasgewinnung beim Zusammenspiel mit der Windkraftanlage

Wie in der Abbildung 34 gezeigt ist, wird der MPP des Lastwiderstands  $R_1$  bei 10,6 mW mit der Spannung von 520 mV erreicht. Die horizontale Achse ist die Messwerte des Voltmeters  $V_1$ .

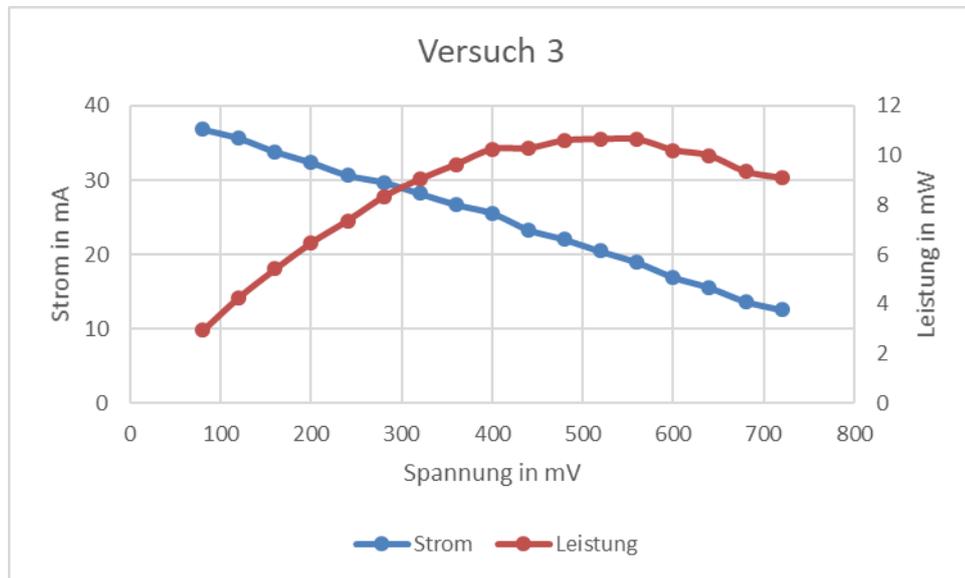


Abbildung 34. Strom-Spannungs-Kennlinie des Lastwiderstands bei 6 m/s

Wie in der Abbildung 35 gezeigt ist, wird der maximale Leistung des Elektrolyseurs bei 54,9 mW mit der Spannung von 1491 mV erreicht. Der Widerstand ist dabei 40,4  $\Omega$ . Diese Werte sind die beste in dem Messbereich und deshalb zählen als Optimum für die Gasgewinnung.

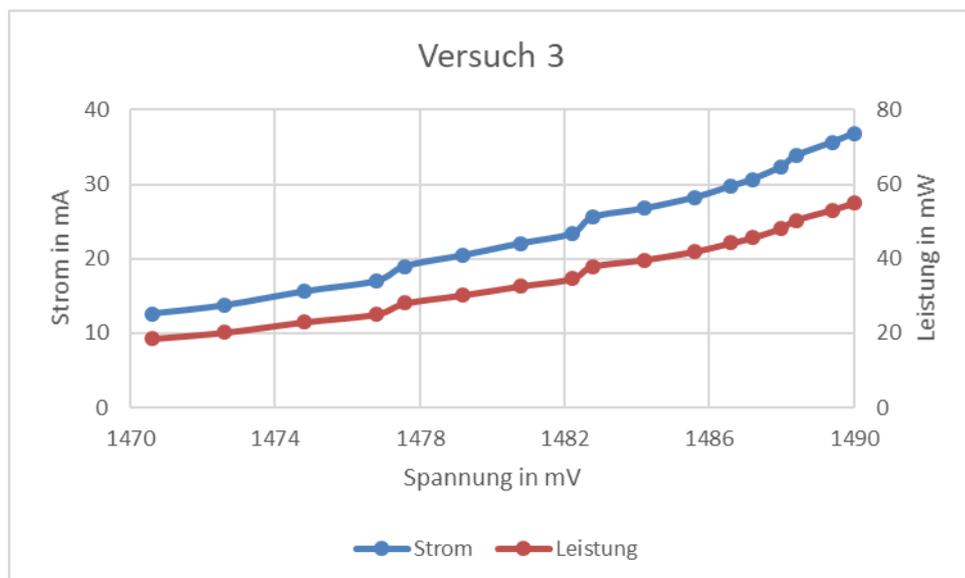


Abbildung 35. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs bei 6 m/s

Aus diesen Ergebnissen kann man schlussfolgern, dass die Windkraftanlage nicht nur Elektrolyseur, sondern auch einen Last versorgen kann. Die konkrete Werten der Gasproduktion sind in der Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6. Gasproduktion des Elektrolyseurs bei 6 m/s

Windgeschwindigkeit in m/s	Maximum Strom in mA	Maximum Spannung in mV	Ergebnis H <sub>2</sub> in ml/min	Ergebnis O <sub>2</sub> in ml/min
6	36,8	1491	0,33	0,17

### 3.2.3.4 Versuch 4: Verwendung des Elektrolyseurs zusammen mit den beiden Energiequellen

In der Abbildung 36 ist der Schaltplan für den Versuch 4 dargestellt. Dies Versuch prüft vor allem, ob die Solarzellen und die Windkraftanlage für die Versorgung des Elektrolyseurs zusammen verwendet werden können. Wichtig ist ein Optimum die Gasgewinnung zu finden. Die Bestrahlungsstärke ist 200 W/m<sup>2</sup>. Die Windgeschwindigkeit ist 6 m/s. Zusätzlich werden die Lastwiderstände R<sub>1</sub> und R<sub>2</sub> wie gezeigt angeschlossen. Die hergestellte Gase werden im Gasspeicher gesammelt.

Das Voltmeter V<sub>1</sub> misst die Spannung des Lastwiderstands R<sub>1</sub>. Das Voltmeter V<sub>2</sub> misst die Spannung des Lastwiderstands R<sub>2</sub>. Das Voltmeter V<sub>3</sub> misst die Spannung des Elektrolyseurs. Die Stromstärke der Windkraftanlage ist mit dem Amperemeter A<sub>1</sub> gemessen. Die Stromstärke der Solarzellen ist mit dem Amperemeter A<sub>2</sub> gemessen. Der Strom, der durch das Elektrolyseur fließt, ist die Summe von A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub>.

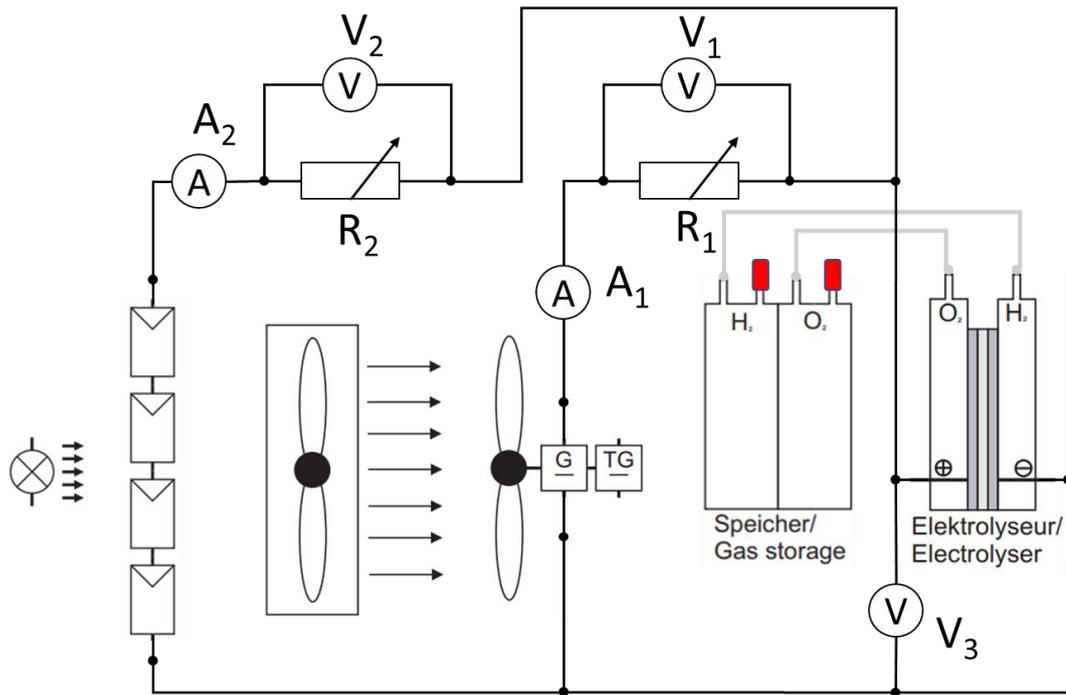


Abbildung 36. Schaltplan für die Bestimmung der Gasgewinnung beim Zusammenspiel mit den beiden Energiequellen

Wie in der Abbildung 37 gezeigt ist, wird der maximale Leistung des Elektrolyseurs bei 162,2 mW mit der Spannung von 1520 mV erreicht. Der Widerstand ist dabei 14,2  $\Omega$ . Diese Werte sind die beste in dem Messbereich und deshalb zählen als Optimum für die Gasgewinnung. Die horizontale Achse ist die Messwerte des Voltmeters  $V_3$ .

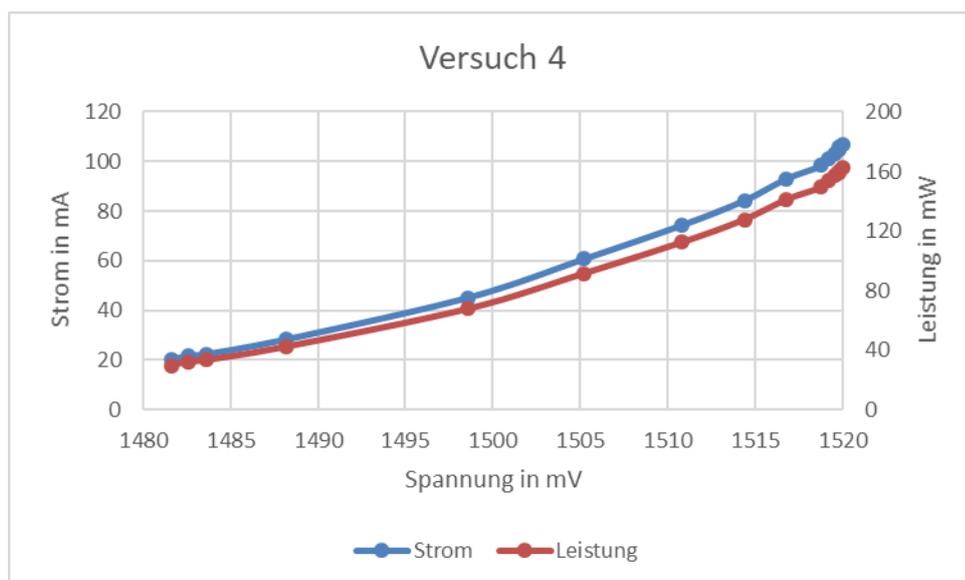


Abbildung 37. Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs bei 200 W/m<sup>2</sup> und bei 6 m/s

Die folgenden Ergebnisse werden für die Gasgewinnung im Versuch 4 ermittelt, Tabelle 7. Es ist aber wichtig zu berücksichtigen, dass die Werten der Gasproduktion, die in der Tabelle 7 dargestellt sind, die Summen der jeweiligen Werten aus der Tabelle 5 und aus der Tabelle 6 sind. Davon kann man schlussfolgern, dass die Solarzellen und die Windkraftanlage für die Versorgung des Elektrolyseurs zusammen verwendet werden können.

Tabelle 7. Gasproduktion des Elektrolyseurs bei  $200 \text{ W/m}^2$  und bei  $6 \text{ m/s}$

Einstrahlungsstärke in $\text{W/m}^2$	Windgeschwindigkeit in $\text{m/s}$	Maximum Strom in $\text{mA}$	Maximum Spannung in $\text{mV}$	Ergebnis $\text{H}_2$ in $\text{ml/min}$	Ergebnis $\text{O}_2$ in $\text{ml/min}$
200	6	106,7	1520	1,00	0,50

### 3.2.3.5 Versuch 5: Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzellen

In diesem Versuch werden 2 Brennstoffzellen verwendet. Die Inbetriebnahme, die im Kapitel 3.2.3 beschrieben wurde, soll für die beide Brennstoffzellen durchgeführt werden.

Der Versuch 5 hat als sein Ziel, die Eigenschaften der Brennstoffzellen zu ermitteln. Es werden die Spannungs-Strom-Kennlinie und Energie-Wirkungsgrad gemessen. In der Abbildung 38 ist der Schaltplan für den Versuch 5 dargestellt.

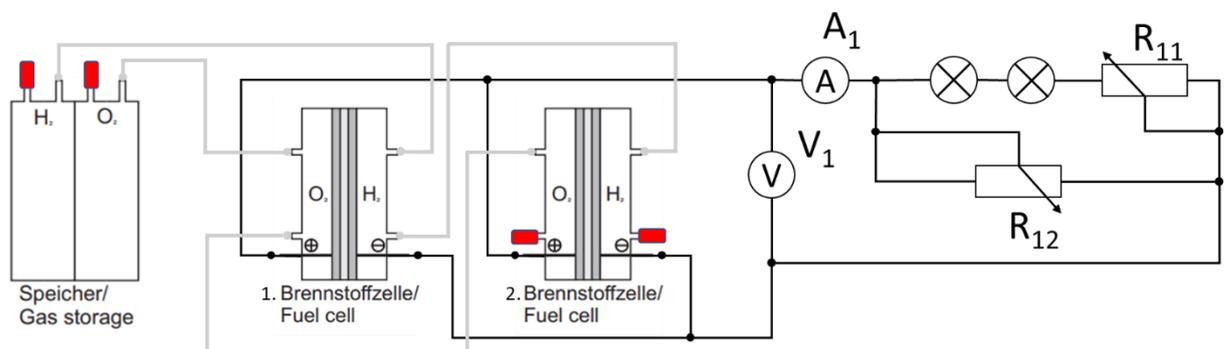


Abbildung 38. Schaltplan für die Bestimmung des Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzellen

Die Brennstoffzellen werden elektrisch parallel angeschlossen. Wie in der Tabelle 1 geschrieben wurde, ist der linke Klemme einer Brennstoffzelle positiv, der rechte Klemme ist negativ. Die Brennstoffzellen werden bezüglich der Gasversorgung in Reihe angeschlossen. Die oberen Öffnungen der 1. Zelle sind mit Hilfe der Schläuche mit dem Gasspeicher verbunden, sodass die Gase zu den Elektroden transportiert werden. Die unteren Öffnungen der 1. Zelle sind mit den oberen Öffnungen der 2. Zelle, wie im Schaltplan gezeigt ist, angeschlossen. Die unteren Öffnungen der 2. Brennstoffzelle sind mit den roten Deckeln geschlossen, damit der atmosphärischen Luft keinen Zugang zu den Elektroden hat.

Als Last wird die Verbraucher aus dem Kapitel 3.2.2.4 verwendet. Um die Messwerte zu erhalten sind Voltmeter  $V_1$  und Amperemeter  $A_1$  wie gezeigt angeschlossen.

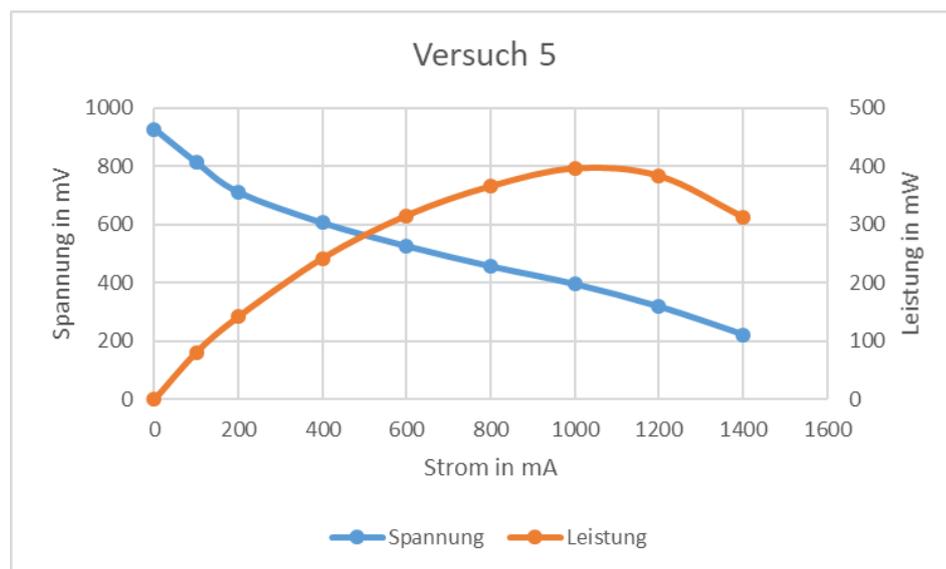


Abbildung 39. Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzellen

Die Leerlaufspannung ist ca. 1 V. Der MPP wird bei 396 mW mit dem Strom von 1 A erreicht. Der optimale Widerstand ist dabei  $0,39 \Omega$ . Der Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzellen entspricht die theoretischen Eigenschaften einer PEM-Brennstoffzelle, die im Kapitel 2.4.1 und in der Abbildung 5 beschrieben wurden.

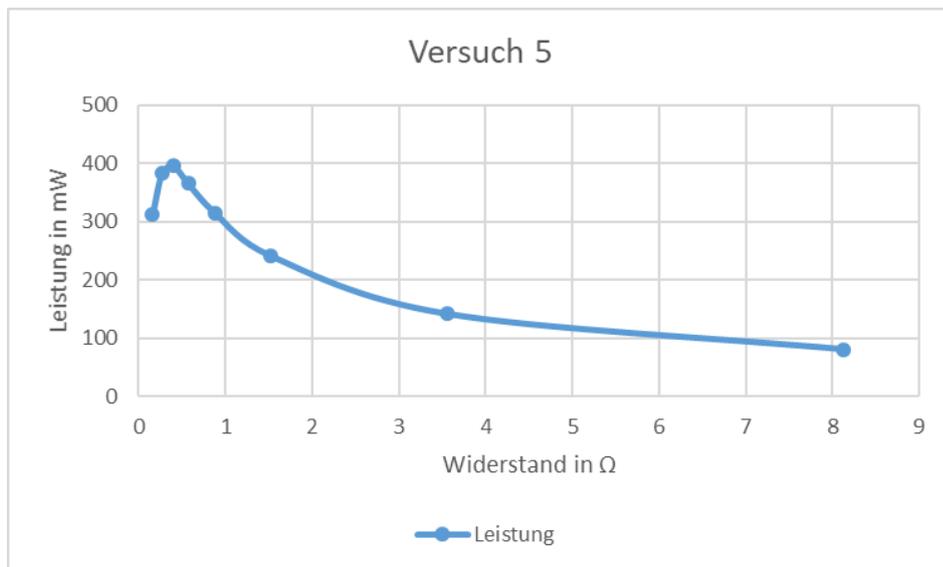


Abbildung 40. Leistung-Widerstands-Kennlinie der Brennstoffzellen

Wie im Kapitel 3 geschrieben ist, muss die Brennstoffzelle nur dann funktionieren, wenn die Gesamtleistung der Solarzellen und der Windkraftanlage nicht genug ist, um den Energiebedarf der Hauptverbraucher vollständig zu versorgen.

Der Wirkungsgrad und Verbrauch des Wasserstoffs sind in der Tabelle 8 dargestellt. Der höhere Strom bedeutet mehr chemische Reaktion an den Elektroden, was zu steigender Gasverbrauch führt. Der Wirkungsgrad bleibt ungefähr konstant.

Tabelle 8. Gasverbrauch und Wirkungsgrad der Brennstoffzellen bei gegebenem Strom

Strom in mA	500	400	300	200	100
Gasverbrauch in ml/min	4,9	4,0	3,2	2,4	1,3
Wirkungsgrad in %	30,4	31,4	29,4	28,8	27,9

### 3.2.3.6 Fazit

Die notwendigen Werte sind ermittelt. Die Produktivität des Elektrolyseurs und der Gasverbrauch der Brennstoffzellen sind gemessen. Strom-Spannungs-Kennlinien und maximale Leistungspunkte für das Elektrolyseur und für die Brennstoffzellen sind festgestellt. Die Verwendung der Energiequellen für die Wasserstoffgewinnung ist geprüft. Alle Messdaten bezüglich des Vorversuchs „Brennstoffzelle“ sind im Anhang XI – XV dargestellt.

### 3.3 Stresstest

Der Kapitel „Stresstest“ hat als sein Ziel, die Erstellung und die Simulation eines Energiesystems, in dem nur Erneuerbarer Energiequellen verwendet werden. Der allgemeine Aufbau des Systems ist im Kapitel 3 beschrieben. Hier sind noch Mal die Schwerpunkte dargestellt:

- Das System ist isoliert;
- Die Energiequellen sind die Solarzellen und die Windkraftanlage;
- Das Wetter ist einstellbar;
- Die Verbraucher soll in jedem Zeitpunkt vollständig versorgt werden;
- Die Gase müssen optimal verwendet und optimal produziert werden;
- Das System muss immer im Gleichgewicht sein;
- Das Elektrolyseur spielt die Rolle von negativer Regelenergie;
- Die Brennstoffzellen spielen die Rolle von positiver Regelenergie.

Im Kapitel werden 4 Szenarien untersucht, in denen die kontinuierliche Energieversorgung der Verbraucher realisiert wird. Die Szenarien umfassen nicht alle mögliche Situationen, aber nur die Situationen, die als typische genannt werden können. Nach der Untersuchung eines Szenarios kann man feststellen, ob im Gasspeicher mehr oder weniger Gase gelagert sind, als am Anfang. Damit kann man schlussfolgern, ob dies ein positives oder ein negatives Szenario ist.

Jede Messung wird mehrmals durchgeführt und statistisch bearbeitet. Die weiter darstellende Werte sind die Mittelwerte der jeweiligen Messung. Messdaten und Unsicherheit der Messung sind im Anhang XVI - XIX dargestellt.

Die Ergebnisse der Szenarien sind weiter in einem Konzept anwendbar, in dem die Energieversorgung der realen Verbraucher ausgewertet wird.

### 3.3.1 Begriffe

Wie im Kapitel 3.2.1.2 und im Kapitel 3.2.2.2 geschrieben wurde, wird das Wetter so simuliert, damit die Hauptenergiequellen mit bekannter Leistung einspeisen. Dafür wurden Schlüsselwerte bzw. einige typische Wetterparametern gewählt, die in der Tabelle 9 noch Mal dargestellt sind. Das Wetter kann sich nur in die Grenzen der Tabelle 9 ändern.

Tabelle 9. Wetter für die Energiequellen

Wetter	Niedrig	Mittel	Hoch
Bestrahlungsstärke in $\text{W/m}^2$	60	200	320
Windgeschwindigkeit in m/s	2	6	10

Um das Energiesystem simulieren zu können, sind solche Schlüsselwerte auch für die Verbraucher notwendig. Laut der ursprünglichen Idee des Energiesystems, hat die Verbraucher immer einen Energiebedarf, der in jedem Zeitpunkt bekannt ist.

Im Kapitel 3.2.2.4 wurde die Verbraucher untersucht. Auf Basis von ermittelten Daten, werden die Stufen für den Energiebedarf der Verbraucher gewählt. Um später ein typischer Tagesgang Verbrauch möglichst genau simulieren zu können, werden drei Verbrauchsstufen angenommen: niedriger, mittlerer und hoher Energiebedarf. Weiterhin kann sich der Energiebedarf der Verbraucher nur in die Grenzen der Tabelle 10 ändern.

Tabelle 10. Energiebedarf der Verbraucher

Verbrauch (Stufe)	Niedrig	Mittel	Hoch
Verbrauch in mW	50	100	150

Als Szenario wird eine bestimmte Kombination von Wetter und Energiebedarf bezeichnet. Die Anforderungen zu dem Szenario sind im Kapitel 3 und im Kapitel 3.3 festgestellt. Die Dauer eines Szenarios beträgt 10 Minuten. Die Messdaten werden jede 30 Sekunden abgelesen. Wenn es eine Änderung im Wetter oder im Verbrauch stattfindet, werden die Messdaten vor der Änderung und sofort nach der Änderung abgelesen.

Bei der Simulation ist es nicht ganz wichtig, wie viel Milliliter Wasserstoff und wie viel Milliliter Sauerstoff im Gasspeicher am Anfang des Szenarios gelagert sind. Wichtig ist, wie hat sich die gespeicherte Gasmenge im Laufe des Szenarios geändert. Damit kann man schlussfolgern, ob dies ein positives oder ein negatives Szenario ist. Trotzdem soll eine ausreichende Menge der Gase zur Verfügung stehen, damit das Szenario erfüllt werden kann.

Im Kapitel 3 wurde geschrieben, dass die Brennstoffzelle und das Elektrolyseur gleichzeitig nicht betrieben werden darf. Die Ursache liegt daran, dass sie sich gegenseitig ausschließende Funktionsbedingungen erfordern. Elektrolyseur darf nur die überschüssige Energie aus den Solarzellen und aus der Windkraftanlage verwenden. Brennstoffzelle wird nur dann eingesetzt, wenn die Gesamtleistung der oben genannten Energiequellen nicht genug ist, um die geförderte Ausgangsleistung zu decken. Also, es handelt sich danach nicht um die überschüssige Energie, sondern um den Energiemangel.

Was könnte theoretisch passieren, wenn Elektrolyseur und Brennstoffzelle gleichzeitig zu einem Netz angeschlossen würden. Sie würden danach einen Stromkreis bilden, in dem die Brennstoffzelle wie eine Quelle der elektrischen Energie und das Elektrolyseur wie eine Verbraucher funktionieren. Die Brennstoffzelle verbraucht Wasserstoff und Sauerstoff und erzeugt den Strom, der ins Elektrolyseur fließt. Das Elektrolyseur produziert dann die Gase, die wieder sofort in die Brennstoffzelle fließen. Dies Stromkreis ist sinnlos und bedeutet nur die Energieverschwendung, weil der Wirkungsgrad der beiden Geräte weniger als 100% ist.

Um die getrennte Verwendung des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle praktisch realisieren zu können, ist Modusschalter angewendet. In der Abbildung 41 ist Modusschalter im roten Rechteck angezeigt. Der Modusschalter hat 3 Arbeitsweisen. Die Arbeitsweise 1 oder Modus 1 bedeutet die Verwendung des Elektrolyseurs. In diesem Fall werden im System zwei Energieverbraucher:

Hauptverbraucher und Elektrolyseur. Die Gase werden produziert und im Speicher gelagert.

Der Modus 2 ist eine besondere Arbeitsweise, deren Eigenschaft die gleichzeitige Trennung des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle ist. Das ist in dem Fall nötig, wenn es die überschüssige Energie im System gibt, aber die Spannung im Netz zu niedrig ist. Wie in der Abbildung 29 gezeigt wurde, braucht das Elektrolyseur eine minimale Spannung an den Elektroden bei ca. 1,44 V. Wenn die Spannung weniger als 1,44 V ist, findet keine Elektrolyse des Wassers statt und als Folge keine Wasserstoffgewinnung. Trotzdem können die elektrischen Verluste an dem Elektrolyseur stattfinden. Um diese Verluste zu vermeiden, braucht man Modus 2 zu verwenden. Das Energiesystem funktioniert dann genau so, wie im Kapitel 3.2.2.4. Es wird auch der Innenwiderstand des Systems optimiert.

Der Modus 3 bedeutet die Verwendung der Brennstoffzelle. Die Brennstoffzelle kompensiert die Minderleistung der Energiequellen, damit den Energiebedarf der Verbraucher bedeckt wird.

Der Innenwiderstand des Systems ändert sich, je nachdem, in welchem Modus das System funktioniert. Wie schon bekannt ist, funktioniert eine lineare Energiequelle dann im MPP, wenn der Innenwiderstand gleich der Lastwiderstand ist. D.h. die Änderung des Innenwiderstands führt dazu, dass die Leistung einer Anlage sich ändert, obwohl das jeweilige Wetterparameter konstant bleibt. Das ist wichtig zu berücksichtigen, weil diese Situation in den Szenarien vorkommen wird.

### 3.3.2 Untersuchung Szenario 1

In der Abbildung 41 ist der Schaltplan des Energiesystems dargestellt. Hier sind alle Geräte in einem Netz so verbunden, dass die Simulation des Energiesystems erfüllt werden kann. Die Solarzellen und die Windkraftanlage sind parallel angeschlossen. Der Modusschalter bestimmt, in welchem Modus das System funktionieren muss. Im Schaltplan ist der im roten Rechteck angezeigt.

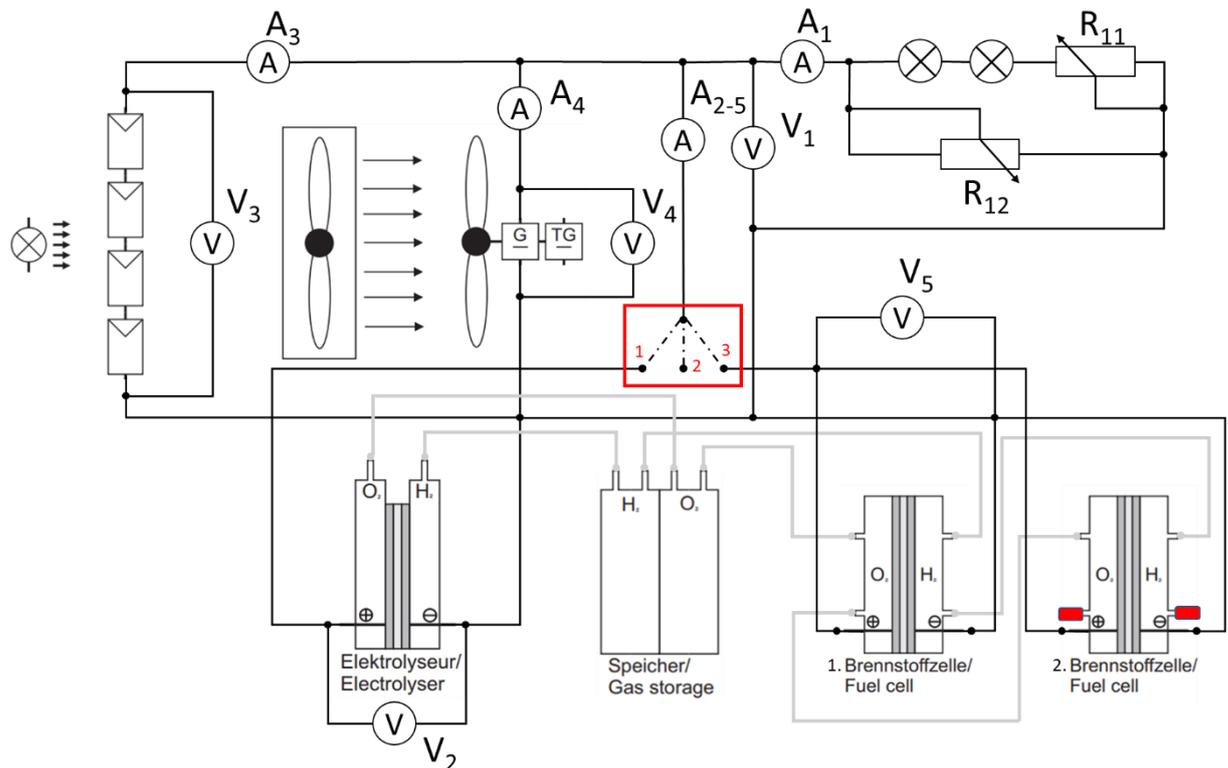


Abbildung 41. Schaltplan des Energiesystems

Die Schläuche verbinden das Elektrolyseur mit dem Gasspeicher, sodass die hergestellte Gase im Speicher gelagert werden. Die Brennstoffzellen sind bezüglich der Gasversorgung in Reihe angeschlossen. Die Gasversorgung der Brennstoffzellen wurde im Kapitel 3.2.3.5 erklärt. Soweit der Modusschalter nicht in der Arbeitsweise 3 ist, erzeugen die Brennstoffzellen keinen Strom, weil ihr Stromkreis unterbrochen ist. Als Folge verbrauchen sie kein Wasserstoff und kein Sauerstoff.

Das Energiesystem ist schematisch in der Abbildung 7 dargestellt. Dabei sind alle Funktionsbedingungen im Kapitel 3 ausführlich erklärt.

Das Voltmeter  $V_1$  und Amperemeter  $A_1$  messen die Hauptverbraucher. Das Voltmeter  $V_2$  misst die Spannung des Elektrolyseurs. Die Messgeräte  $V_3$ ,  $A_3$  und  $V_4$ ,  $A_4$  lesen die Werte der Solarzellen und der Windkraftanlage ab. Das Voltmeter  $V_5$  misst die Spannung der Brennstoffzellen. Das Amperemeter  $A_{2-5}$  misst den Strom, der durch der Modusschalter fließt.

### 3.3.2.1 Einstellungen

Das Szenario 1 simuliert eine Energieversorgung der Verbraucher, dessen Energiebedarf in der Abbildung 42 dargestellt ist. Laut der Tabelle 10 bleibt der Energiebedarf im Laufe der 10 Minuten auf dem Stufe „Mittel“ und beträgt 100 mW. Der Schaltplan des Systems ist in der Abbildung 41 dargestellt.

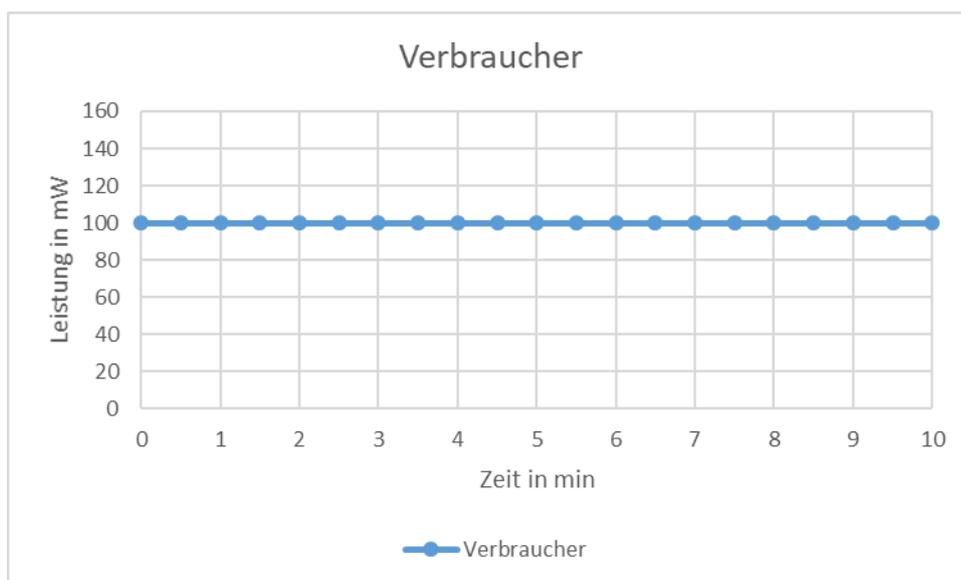


Abbildung 42. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 1

Das Wetter ist dabei in der Abbildung 43 dargestellt. Für die Solarzellen und für die Windkraftanlage bleiben Wetterparametern auf dem Stufe „Mittel“. Die Simulation des Szenarios muss dann feststellen, ob es genug Energie für die Verbraucher zur Verfügung steht, und in welchem Modus das System optimal funktionieren soll.

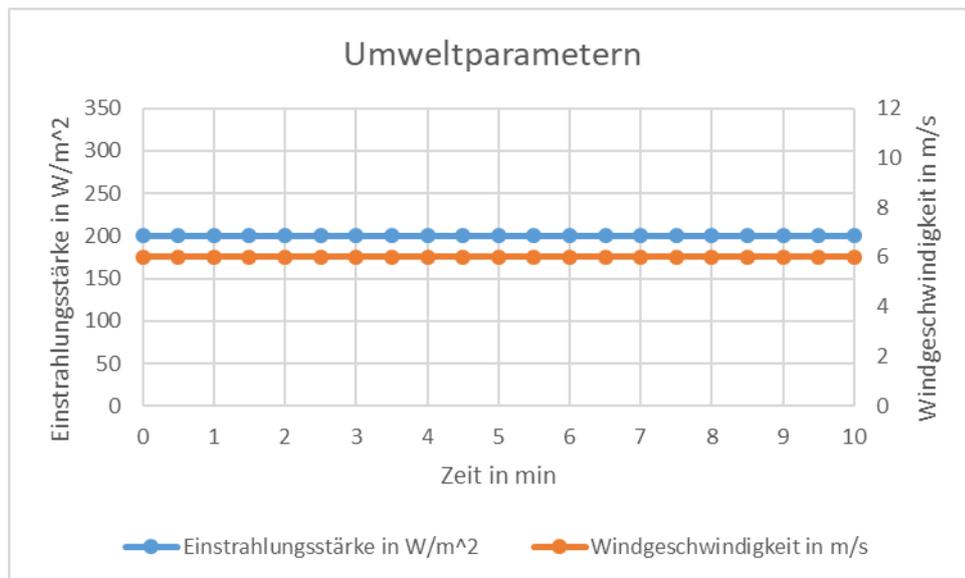


Abbildung 43. Wetter im Szenario 1

### 3.3.2.2 Ergebnisse

Nach der Untersuchung des Szenarios 1 mit gegebenem Verbrauchsprofil und gegebenem Wetter sind folgende Ergebnisse ermittelt.

In der Abbildung 44 zeigt die blaue Linie die Energieversorgung der Verbraucher. Diese blaue Linie sieht genauso, wie der Energiebedarf der Verbraucher aus der Abbildung 42. Davon kann man schlussfolgern, dass der Energiebedarf der Verbraucher in jedem Zeitpunkt vollständig bedeckt ist.

Was noch man aus der Abbildung 44 sieht, ist die Funktion des Elektrolyseurs. Man kann das so verstehen, dass nach der vollständigen Versorgung der Verbraucher noch eine überschüssige Energie im System zur Verfügung steht, die für die Herstellung der Gase genutzt wird. Wie im Kapitel 3.3.1 festgestellt wurde, bedeutet die Funktion des Elektrolyseurs die Verwendung von Modus 1 im Modusschalter.

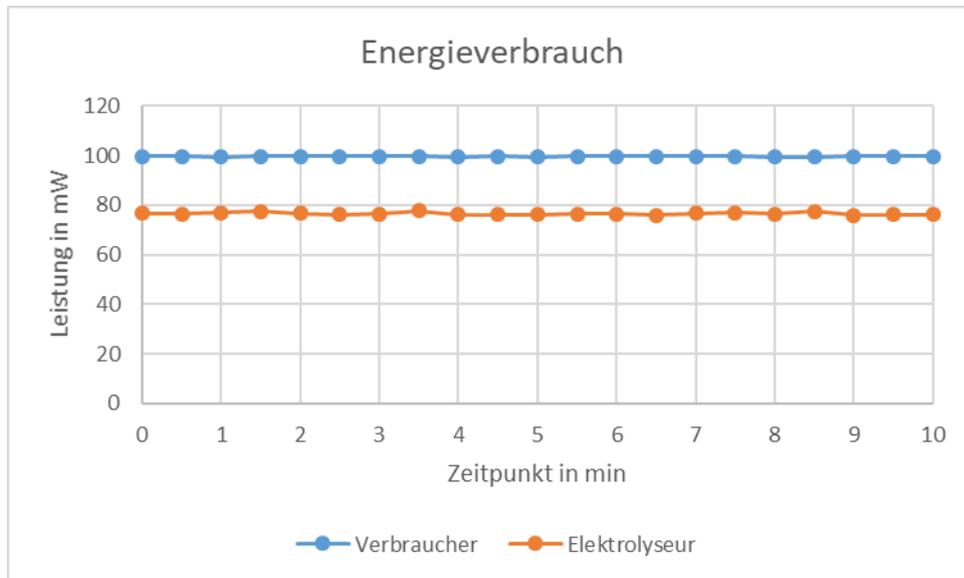


Abbildung 44. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 1

Die Abbildung 45 zeigt den energetischen Beitrag der Energiequellen im Szenario 1. Das Wetter, das in der Abbildung 43 gegeben ist, bestimmt die elektrische Leistung der Energiequellen. Die Leistung der Solarzellen beträgt im Laufe des Szenarios ca. 129 mW, was für solches Wetter ein Optimum ist. Dieser Optimalität wurde im Kapitel 3.2.1.3 Teil 2 nachgewiesen. Die Leistung der Windkraftanlage ist ca. 56 mW, was auch für solches Wetter ein Optimum ist. Der Kapitel 3.2.2.3 Teil 2 stellt den Nachweis vor. Die Brennstoffzellen sind nicht im Betrieb.

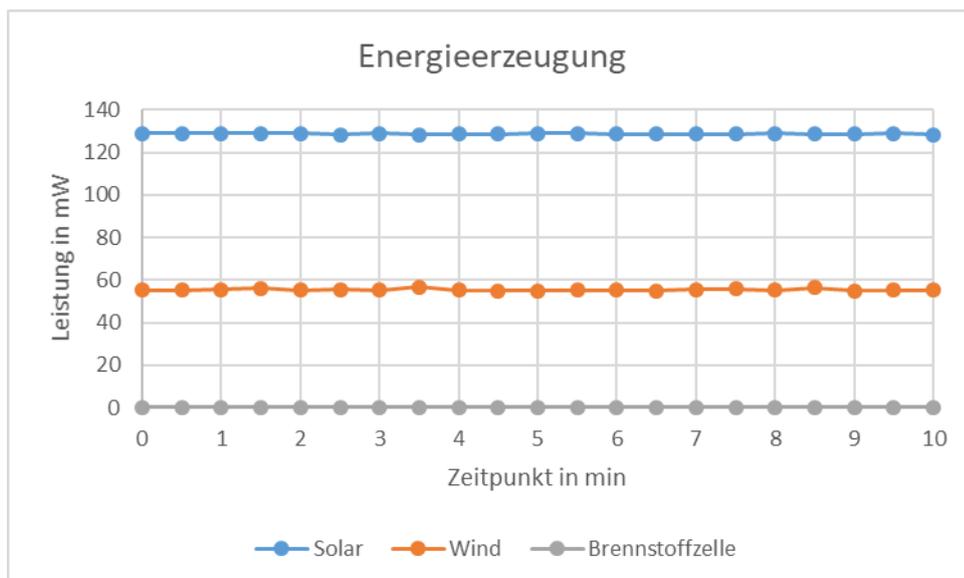


Abbildung 45. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 1

Wenn man der gesamte Energieverbrauch und die gesamte Energieerzeugung auf einer Grafik vergleicht, bekommt man die Energiebilanz des Systems. In der Abbildung 46 ist diese Bilanz dargestellt. Es ist sichtbar, dass die Erzeugung immer größer ist, als der Verbrauch. Das liegt daran, dass ein Teil der elektrischen Energie an dem Innenwiderstand der Energiequellen als Wärme freigesetzt wird. Auch wenn diese Energie nicht genutzt wird, trotzdem wird sie erzeugt und mit den Messgeräten gemessen.

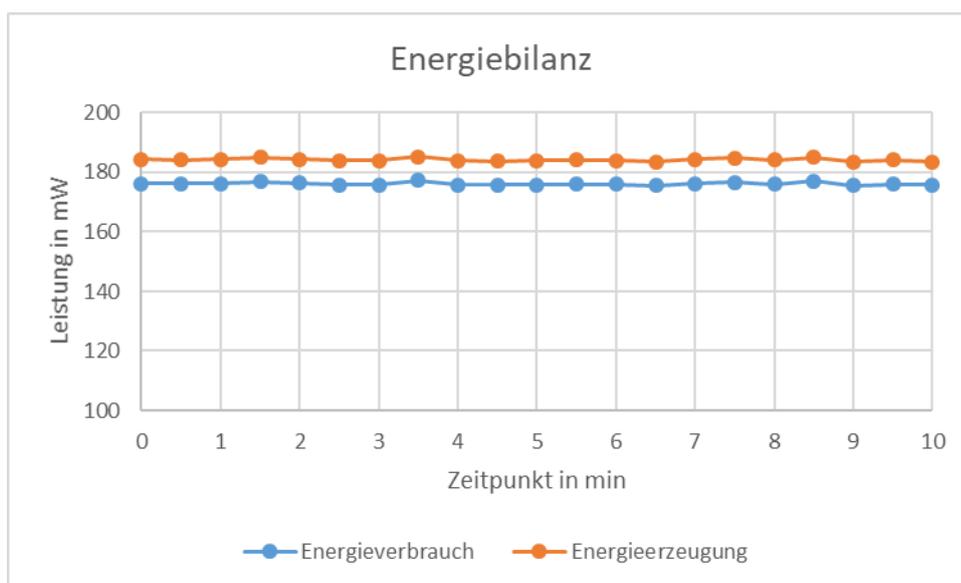


Abbildung 46. Energiebilanz im Szenario 1

Das Energiesystem funktioniert alle 10 Minuten im Modus 1, d.h. wird es immer mehr Wasserstoff gespeichert. Die Differenz der Wasserstoffmenge am Anfang und am Ende des Szenarios beträgt 4 ml, also Szenario 1 ist ein positives Szenario. Auf Grund der optimalen Verwendung der Energiequellen und optimale Auswahl der Arbeitsweise des Systems kann man schlussfolgern, dass 4 ml ein Optimum für die Wasserstoffgewinnung im Rahmen des Szenarios 1 ist.

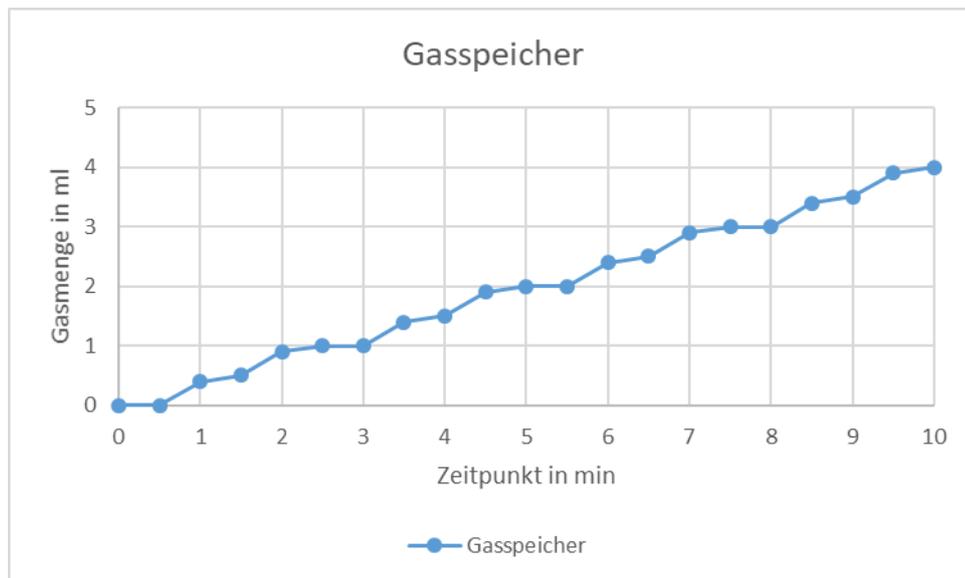


Abbildung 47. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 1

Wie in der Tabelle 1 geschrieben wurde, ist das Gasspeicher ein unpräzises Messgerät, deshalb es war unmöglich, das Volum des Wasserstoffs mit hoher Genauigkeit zu messen. Als Folge sieht die Kurve in der Abbildung 47 nicht wie eine Linie aus, sondern sieht stufig aus. Wie im Kapitel 3.3 geschrieben wurde, ist jede Messung mehrmals durchgeführt und statistisch bearbeitet. Die darstellende Werte sind die Mittelwerte der jeweiligen Messung.

### 3.3.3 Untersuchung Szenario 2

Der Schaltplan des Energiesystems bleibt wie im Szenario 1, Abbildung 41. Es werden identische Messgeräte verwendet.

#### 3.3.3.1 Einstellungen

Das Szenario 2 simuliert eine Energieversorgung der Verbraucher, dessen Energiebedarf in der Abbildung 48 dargestellt ist. Laut der Tabelle 10 bleibt der Energiebedarf im Laufe der 10 Minuten auf dem Stufe „Hoch“ und beträgt 150 mW.

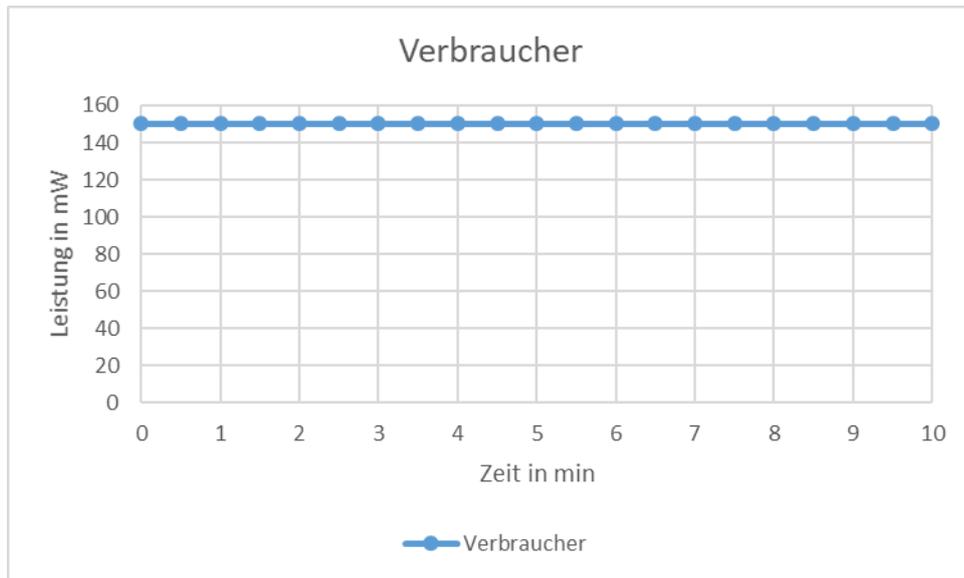


Abbildung 48. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 2

Das Wetter ist dabei in der Abbildung 49 dargestellt. Für die Solarzellen bleibt die Bestrahlungsstärke auf dem Stufe „Mittel“. Die Windgeschwindigkeit ist nicht konstant und sinkt nach der 5. Minute von 10 m/s bis 2 m/s. Die Simulation des Szenarios muss dann feststellen, ob es genug Energie für die Verbraucher zur Verfügung steht, und in welchem Modus das System optimal funktionieren soll.

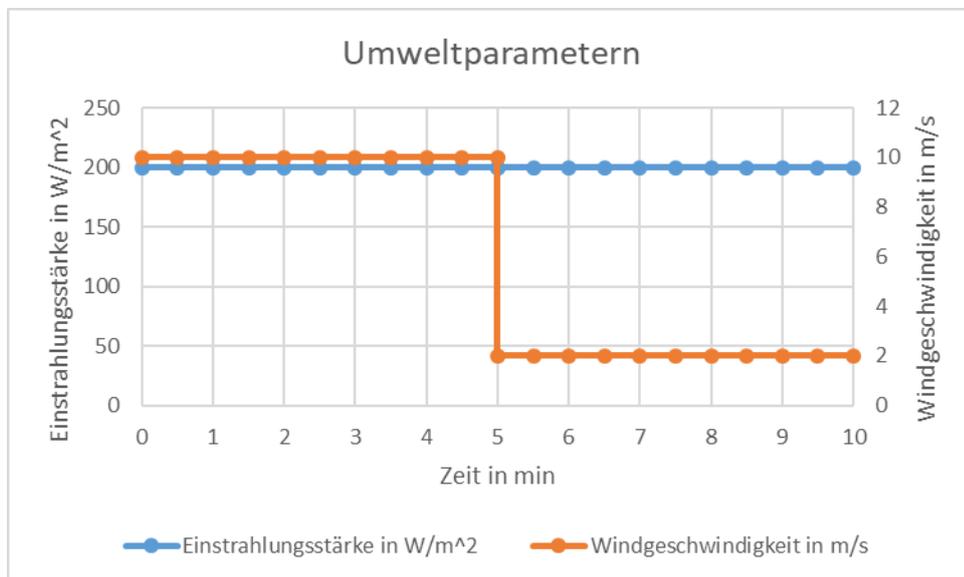


Abbildung 49. Wetter im Szenario 2

### 3.3.3.2 Ergebnisse

Nach der Untersuchung des Szenarios 2 mit gegebenem Verbrauchsprofil und gegebenem Wetter sind folgende Ergebnisse ermittelt.

Aus der Abbildung 50 ist ersichtlich, dass der Energiebedarf der Verbraucher in jedem Zeitpunkt vollständig bedeckt ist. Die kleinen Abweichungen von dem Sollwert spielen hier keine Rolle, und findet wegen der externen Faktoren statt.

Es ist noch ersichtlich, dass das Elektrolyseur nur erste 5 Minuten funktioniert. Sobald die Windgeschwindigkeit sinkt, gibt es mehr keine überschüssige Energie und Elektrolyseur wird abgeschaltet. Das System funktioniert nach der 5. Minute entweder im Modus 2 oder im Modus 3.

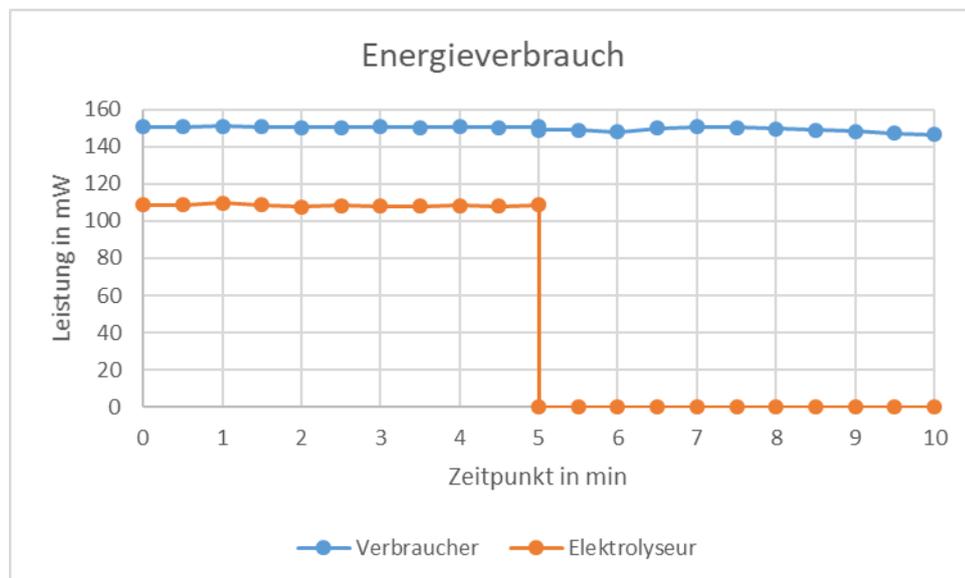


Abbildung 50. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 2

Die Abbildung 51 zeigt den energetischen Beitrag der Energiequellen im Szenario 2. Im Zeitraum von dem Anfang des Szenarios bis 5. Minute haben die Hauptenergiequellen analog wie im Szenario 1 funktioniert, aber mit höherem Verbrauch. Danach hat das Verhältnis geändert. Wie im Kapitel 3.2.2.2 festgestellt wurde, funktioniert die Windkraftanlage mit niedriger Windgeschwindigkeit nicht, deshalb ist ihre Leistung nach der 5. Minute von ca. 174 mW bis 0 mW gesunken. Um den Energiebedarf der Verbraucher weiter decken zu können, sind die

Brennstoffzellen im Betrieb genommen. Die Leistung der Brennstoffzellen beträgt ca. 89 mW. Jetzt sieht man ganz klar, dass nach der 5. Minute das Modus 3 angeschaltet ist.

Wie in Kapitel 3.3.1 erklärt wurde, ändert sich der Innenwiderstand des Systems in der Abhängigkeit, in welchem Modus das System funktioniert. Nach der Anschaltung des Modus 3 hat sich der Innenwiderstand des Systems geändert. Als Folge verringert sich die Leistung der Solarzellen, obwohl die Bestrahlungsstärke konstant bleibt.

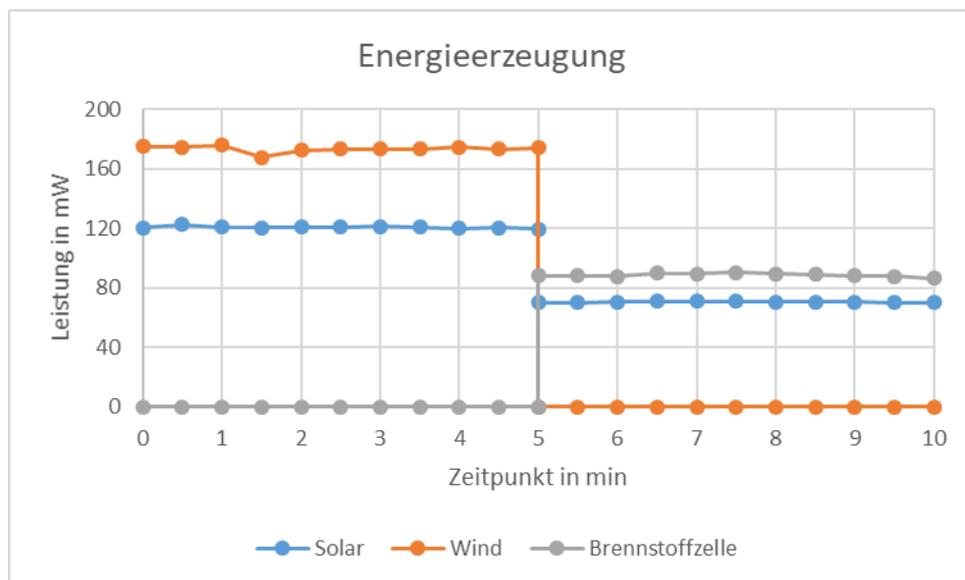


Abbildung 51. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 2

In der Abbildung 52 ist Energiebilanz des Systems dargestellt. Es ist sichtbar, dass es vor dem Ausfall der Windkraftanlage eine überschüssige Energie gab, die einen hohen Energieverbrauch unterstützte. Aber nach dem Ausfall der Windkraftanlage versorgen die Solarzellen zusammen mit den Brennstoffzellen nur den minimalen Energieverbrauch, also 150 mW.

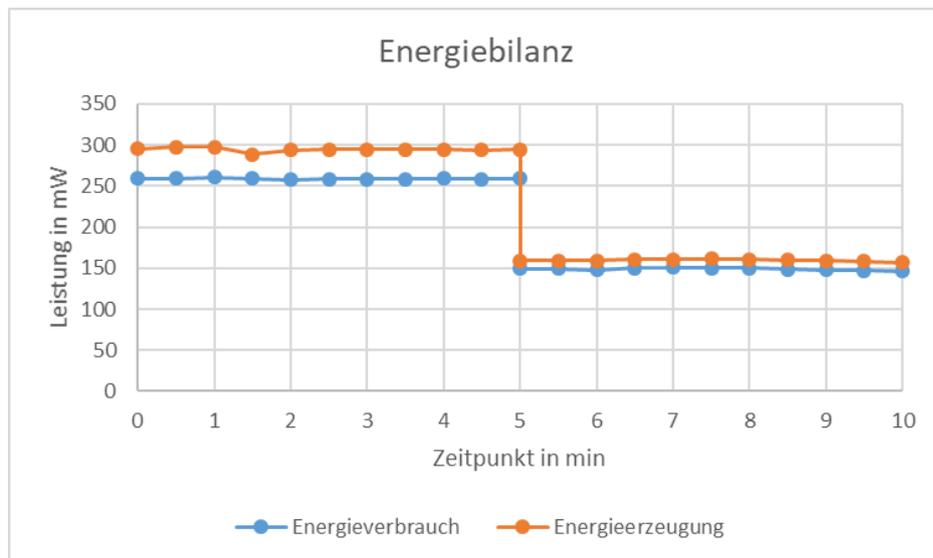


Abbildung 52. Energiebilanz im Szenario 2

Das Energiesystem funktioniert zu Beginn im Modus 1 und danach im Modus 3. Die gespeicherte Gasmenge ist in der Abbildung 53 dargestellt. Wie im Kapitel 3.3.1 geschrieben wurde, ist es nicht ganz wichtig, wie viel Milliliter Gase am Anfang des Szenarios gelagert sind. Wichtig ist, wie hat sich die gespeicherte Gasmenge im Laufe des Szenarios geändert.

Die Differenz der Wasserstoffmenge am Anfang und am Ende des Szenarios beträgt ca. -6 ml, also Szenario 2 ist ein negatives Szenario. Man kann schlussfolgern, dass 6 ml mit den gegebenen Bedingungen der kleinste Wert für das Wasserstoffverbrauch ist.

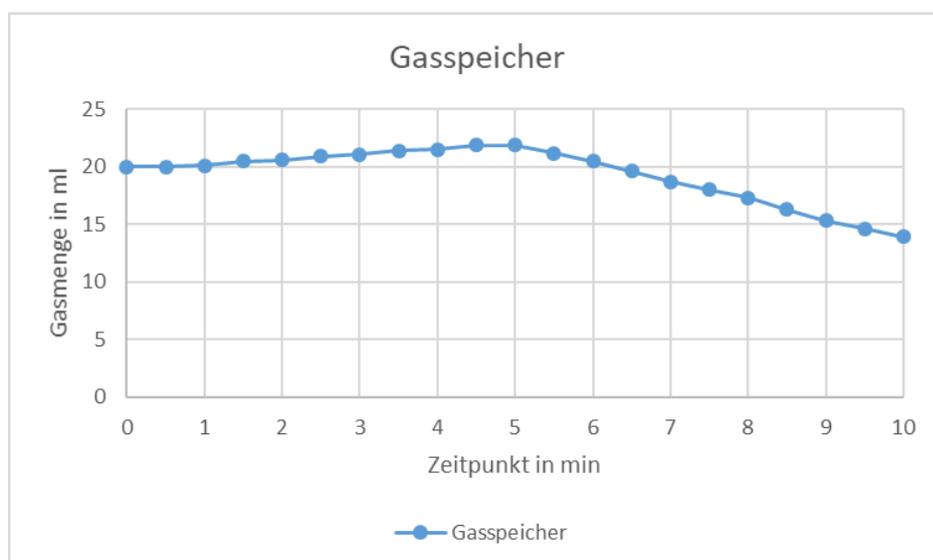


Abbildung 53. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 2

### 3.3.4 Untersuchung Szenario 3

Der Schaltplan des Energiesystems bleibt wie im Szenario 1, Abbildung 41. Es werden identische Messgeräte verwendet.

#### 3.3.4.1 Einstellungen

Das Szenario 3 simuliert eine Energieversorgung der Verbraucher, dessen Energiebedarf in der Abbildung 54 dargestellt ist. In diesem Szenario wird zum ersten Mal einen typischen Tagesbedarf an elektrischer Energie simuliert. Hier werden die 10 Minuten den ganzen Tag imitiert, in dem der Verbrauch erstmal eine Morgenspitze erreicht, danach sinkt im Tagesmitte, um abends noch Mal eine Spitze zu erreichen.

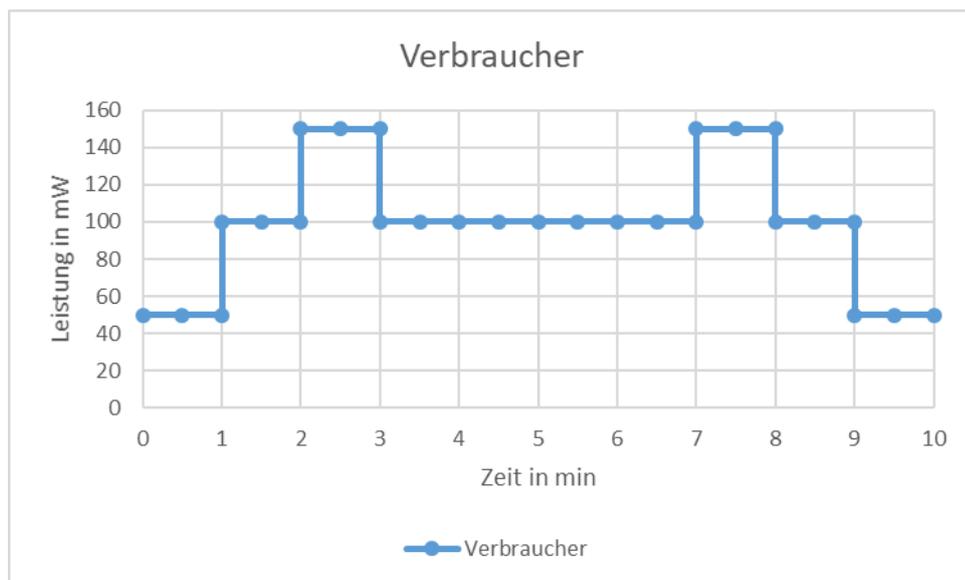


Abbildung 54. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 3

Das Wetter ist dabei in der Abbildung 55 dargestellt. Die Bestrahlungsstärke imitiert einen typischen Tagesgang Solar. Das Maximum wird im Tagesmitte bei  $320 \text{ W/m}^2$  erreicht, während das Minimum findet bei  $60 \text{ W/m}^2$  am Morgen und am Abend statt. Die Windgeschwindigkeit bleibt konstant bei  $6 \text{ m/s}$ .

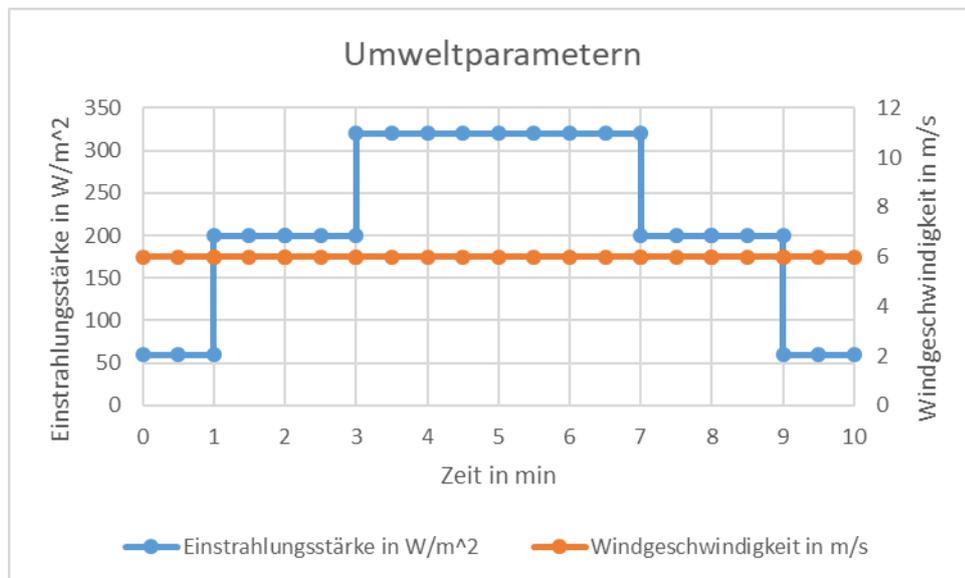


Abbildung 55. Wetter im Szenario 3

### 3.3.4.2 Ergebnisse

Nach der Untersuchung des Szenarios 3 mit gegebenem Verbrauchsprofil und gegebenem Wetter sind folgende Ergebnisse ermittelt.

Aus der Abbildung 56 ist ersichtlich, dass der Energiebedarf der Verbraucher in jedem Zeitpunkt vollständig bedeckt ist.

Es ist noch ersichtlich, dass das Elektrolyseur fast alle 10 Minuten im Betrieb ist. Der Verbrauch des Elektrolyseurs variiert je nachdem, wie viel überschüssige Energie zur Verfügung steht. Das Maximum beim Elektrolyseur wird im Zeitraum von 3. bis 7. Minute bei ca. 110 mW erreicht. Soweit das Elektrolyseur die Energie verbraucht, funktioniert das System im Modus 1. Nur am Anfang und am Ende des Szenarios ist entweder Modus 2 oder Modus 3 angeschaltet.

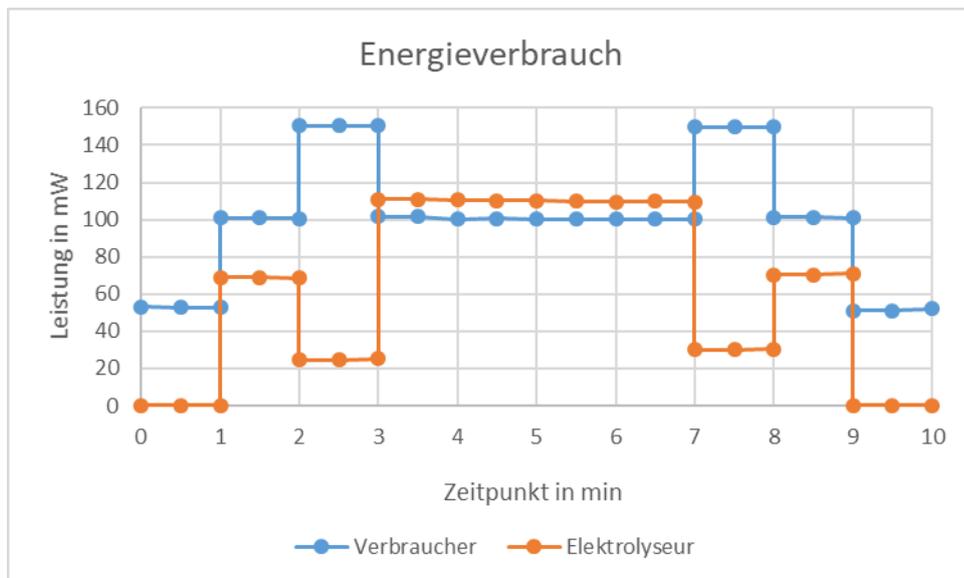


Abbildung 56. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 3

Die Abbildung 57 zeigt den energetischen Beitrag der Energiequellen im Szenario 3. Die Windkraftanlage erzeugt eine konstante Menge des Stroms im Laufe des Szenarios. Je höher ist die Einstrahlung, desto mehr speisen die Solarzellen ein. Die Brennstoffzellen sind die ganze Zeit abgeschaltet.

Die Leistung der Windkraftanlage ändert sich bisschen. Der Grund dafür ist wieder die Änderung des Innenwiderstand des Systems.

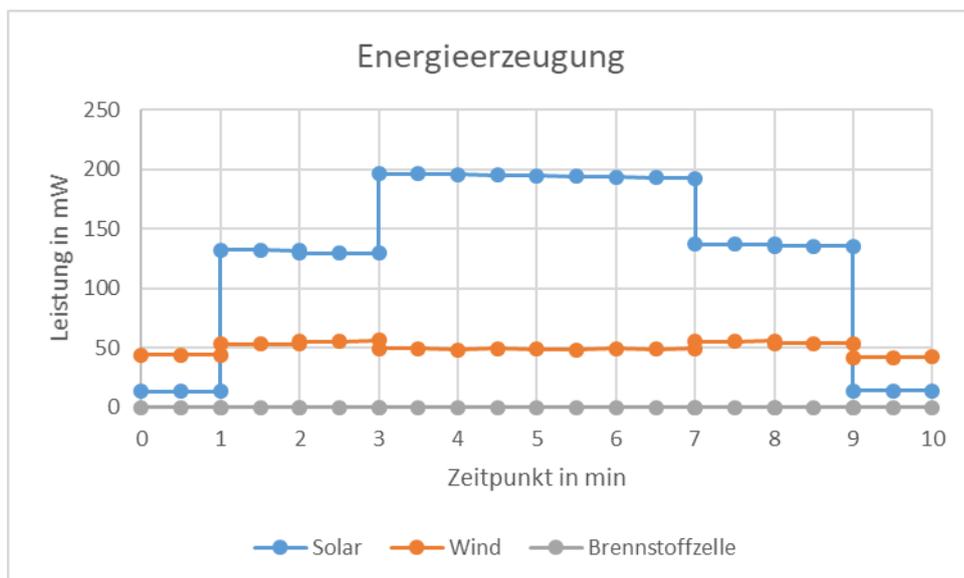


Abbildung 57. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 3

In der Abbildung 58 ist Energiebilanz des Systems dargestellt. Das Energiesystem funktioniert bis der 2. Minute im Modus 2, danach im Modus 1 und nach der 9. Minute wieder im Modus 2.

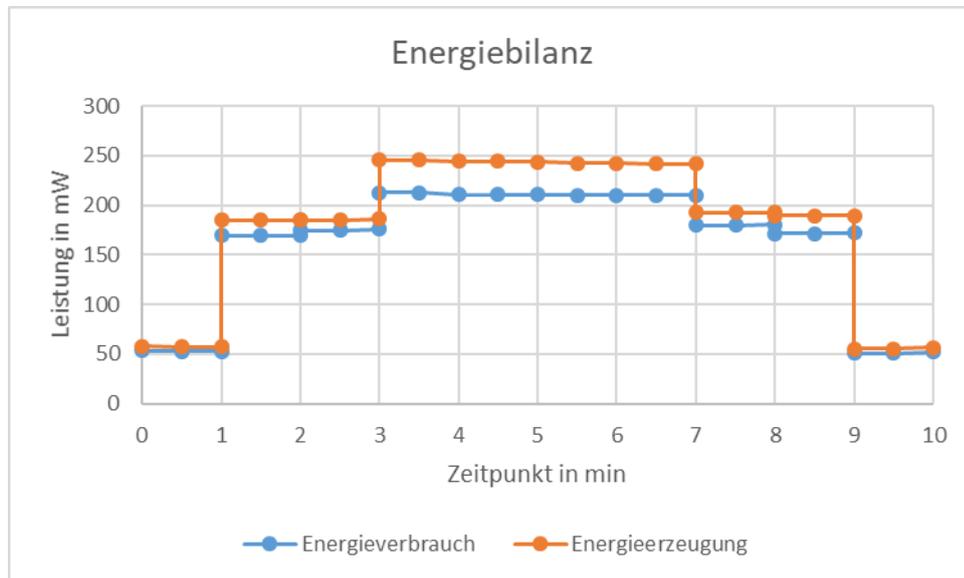


Abbildung 58. Energiebilanz im Szenario 3

Die gespeicherte Gasmenge ist in der Abbildung 59 dargestellt. Die Differenz der Wasserstoffmenge am Anfang und am Ende des Szenarios beträgt ca. 3 ml, also Szenario 3 ist ein positives Szenario. Man kann schlussfolgern, dass 3 ml mit den gegebenen Bedingungen der größte Wert für die Wasserstoffgewinnung ist.

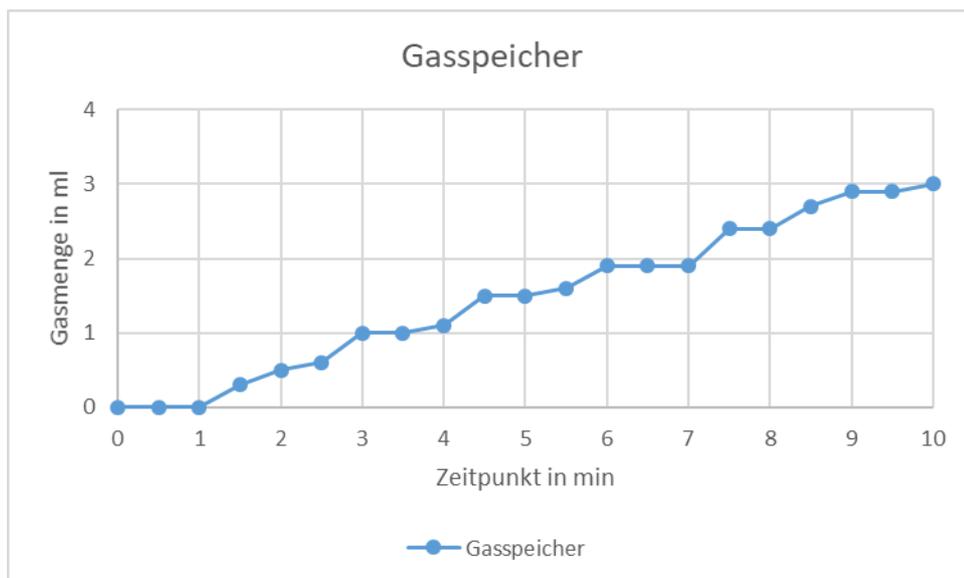


Abbildung 59. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 3

### 3.3.5 Untersuchung Szenario 4

Der Schaltplan des Energiesystems bleibt wie im Szenario 1, Abbildung 41. Es werden identische Messgeräte verwendet.

#### 3.3.5.1 Einstellungen

Das Szenario 4 simuliert eine Energieversorgung der Verbraucher, dessen Energiebedarf in der Abbildung 60 dargestellt ist. In diesem Szenario simuliert das Verbrauchsprofil wieder einen typischen Tagesbedarf an elektrischer Energie, aber mit höherem Verbrauch im Tagesmitte.

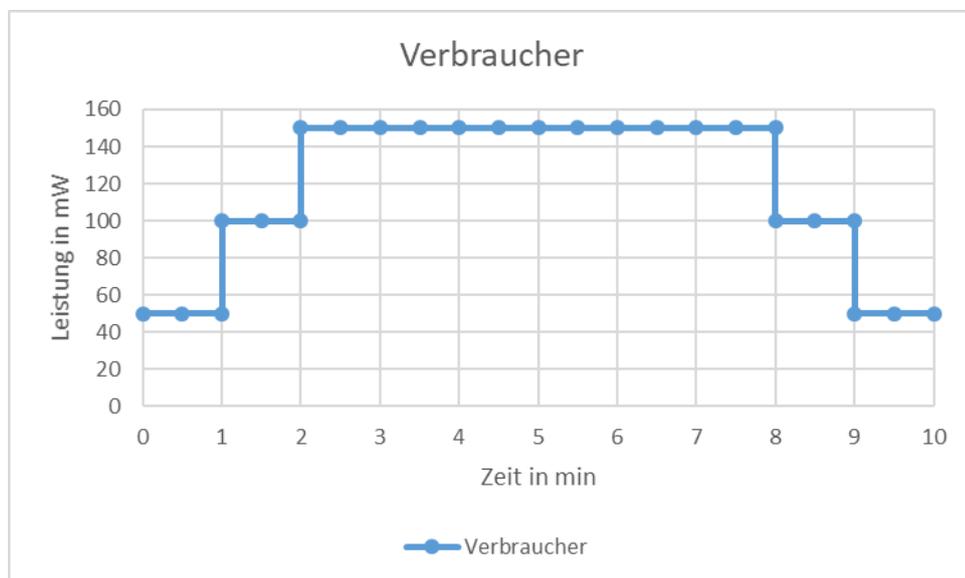


Abbildung 60. Energiebedarf der Verbraucher im Szenario 4

Das Wetter ist dabei in der Abbildung 62 dargestellt. Die Bestrahlungsstärke erreicht ihr Maximum bei  $200 \text{ W/m}^2$ . Die Windgeschwindigkeit beträgt am Anfang und am Ende des Szenarios  $10 \text{ m/s}$  und bleibt die restliche Zeit auf dem Stufe „Niedrig“.

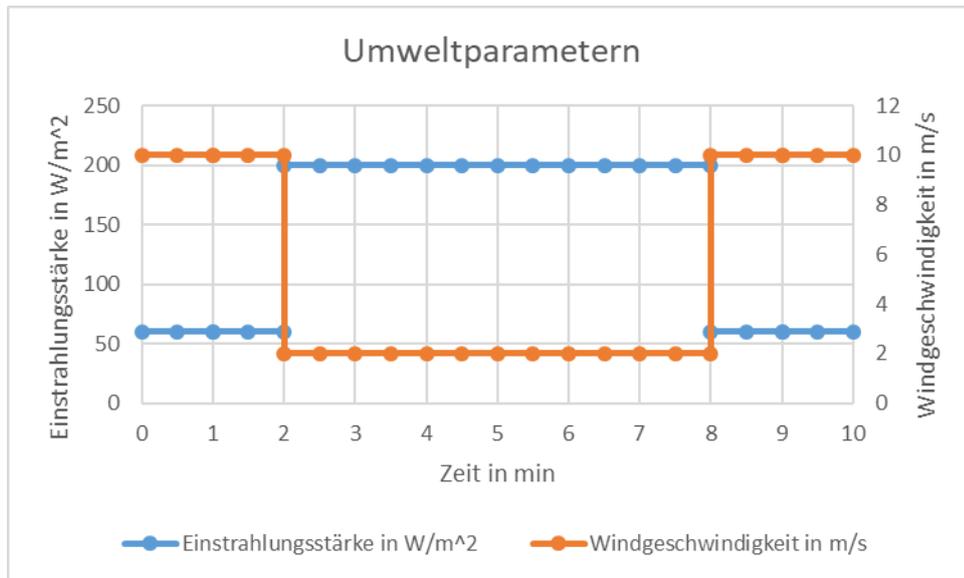


Abbildung 61. Wetter im Szenario 4

### 3.3.5.2 Ergebnisse

Nach der Untersuchung des Szenarios 4 mit gegebenem Verbrauchsprofil und gegebenem Wetter sind folgende Ergebnisse ermittelt.

Aus der Abbildung 62 ist ersichtlich, dass der Energiebedarf der Verbraucher in jedem Zeitpunkt vollständig bedeckt ist. Die kleinen Abweichungen von dem Sollwert spielen hier keine Rolle, und findet wegen der externen Faktoren statt.

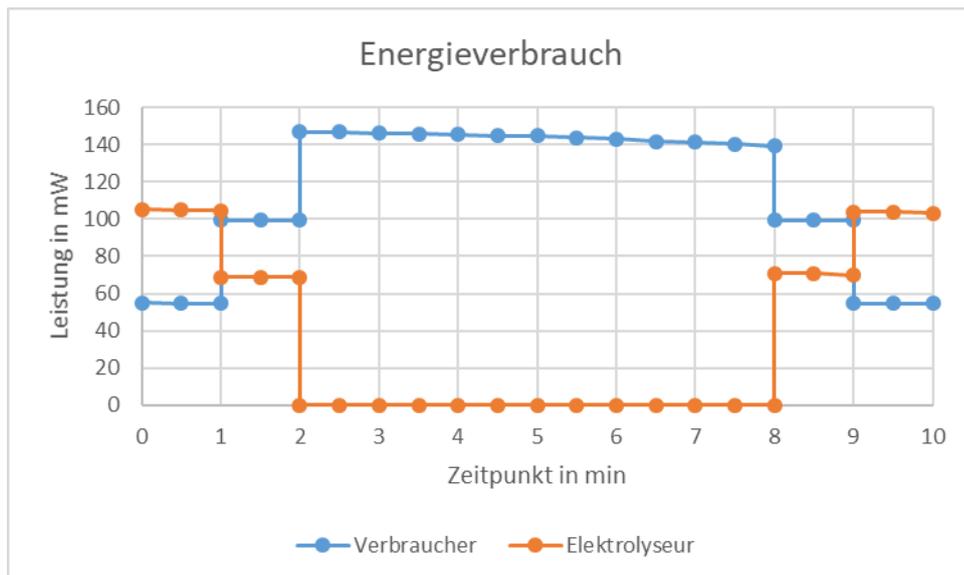


Abbildung 62. Gesamter Energieverbrauch im Szenario 4

Es ist noch ersichtlich, dass nach der 2. Minute und bis der 9. Minute das Elektrolyseur abgeschaltet ist. D.h. in diesem Zeitraum gibt es keine überschüssige Energie und System funktioniert entweder im Modus 2 oder im Modus 3.

Die Abbildung 63 zeigt den energetischen Beitrag der Energiequellen im Szenario 4. Die Windkraftanlage speist ein, soweit die Windgeschwindigkeit hoch ist. Um die notwendige Menge der Energie zu leisten, sind Brennstoffzellen im Betrieb genommen. Dabei wird das Modus 3 angeschaltet. Die Leistung der Brennstoffzellen beträgt ca. 81 mW.

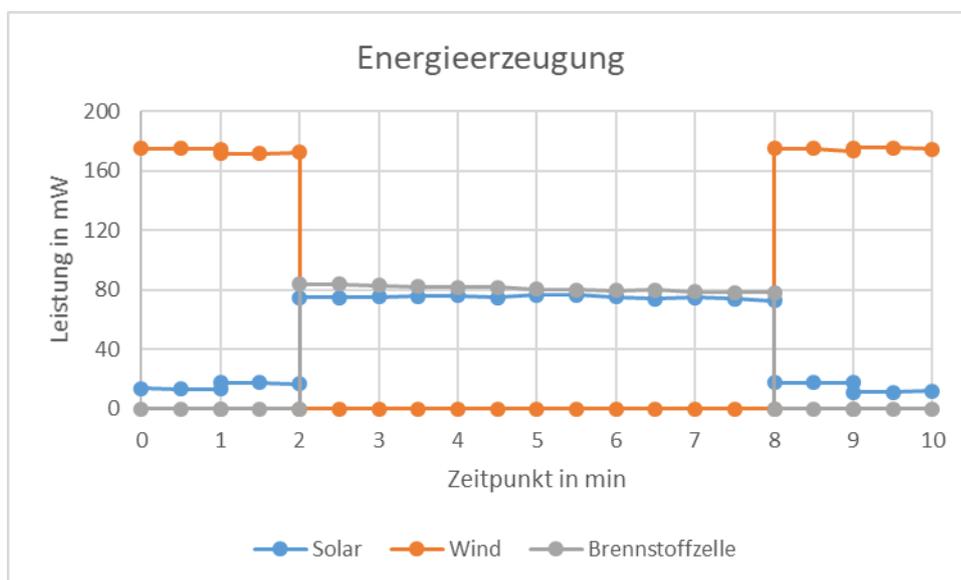


Abbildung 63. Gesamte Energieerzeugung im Szenario 4

In der Abbildung 64 ist Energiebilanz des Systems dargestellt. Das Energiesystem funktioniert bis der 3. Minute im Modus 1, danach im Modus 3 und nach der 8. Minute wieder im Modus 1. Die gespeicherte Gasmenge ist in der Abbildung 65 dargestellt.

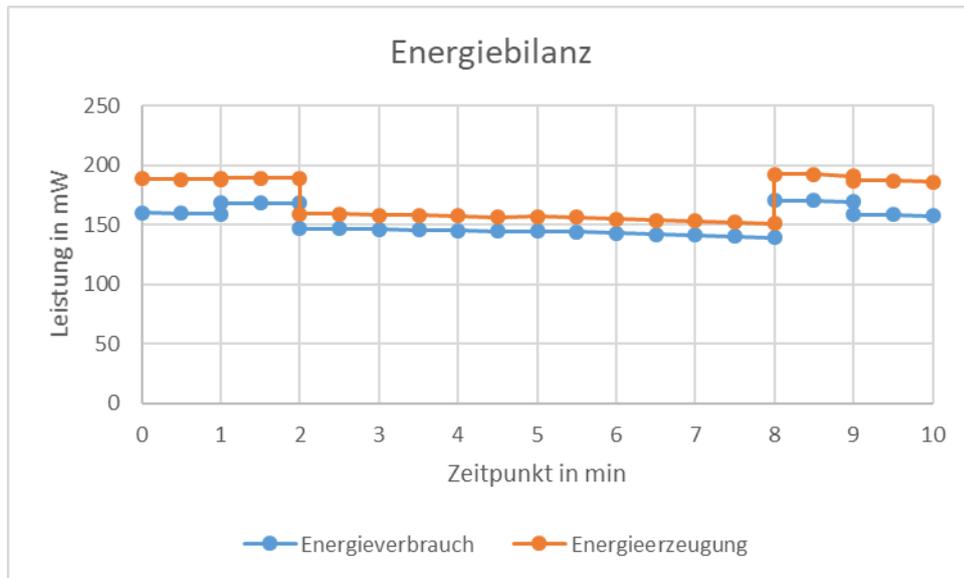


Abbildung 64. Energiebilanz im Szenario 4

Die Differenz der Wasserstoffmenge am Anfang und am Ende des Szenarios beträgt ca. -5 ml, also Szenario 4 ist ein negatives Szenario. Man kann schlussfolgern, dass 5 ml mit den gegebenen Bedingungen der kleinste Wert für das Wasserstoffverbrauch ist.

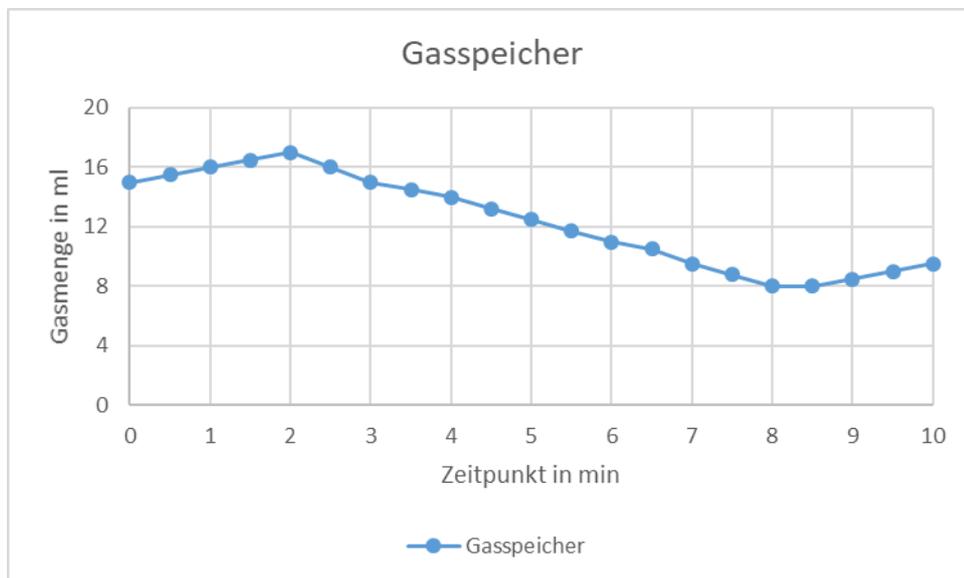


Abbildung 65. Gespeicherte Gasmenge im Szenario 4

## 4 Auswertung für reale Verbraucher

Der Kapitel „Stresstest“ hat eine Musterlösung gegeben, wie genau eine Energieversorgung im System realisiert werden soll. Der aktuelle Kapitel hat als sein Ziel eine Beispielrechnung durchzuführen, damit man ein Überblick bekommt, wie die Energieversorgung für eine reale bzw. skalierte Verbraucher realisiert werden kann. Der Aufbau des Energiesystems ist mit den bekannten Unterschieden in der Abbildung 7 dargestellt. Solche Beispielrechnung wird auf Basis von den Szenarien gemacht. Alle Werte sind im Anhang XX dargestellt.

Um die Auswertung durchzuführen, muss man die Ergebnisse von den Szenarien in die prozentuelle Form umwandeln. D.h. sollen die Ergebnisse wie Energieverbrauch und Energieerzeugung als Einheit kein Milliwatt, sondern Prozent haben. Null Prozent der Energieerzeugung bedeutet dann, dass eine Anlage gar kein Strom ins Netz liefert, deshalb der Anteil dieser Anlage in der Energieerzeugung ist 0%. Je nach Modus des Systems kann das Elektrolyseur an- oder abgeschaltet werden. Falls das Elektrolyseur vom Netz getrennt ist, ist sein Anteil in dem Energieverbrauch 0%. Auch die Dauer eines Szenarios muss in prozentueller Form angegeben werden. Alle Szenarien aus dem Kapitel 3.3 sind 10 Minuten lang. Diese 10 Minuten repräsentieren in der Auswertung der 100 Prozent. Die Dauer eines Szenarios in prozentuelle Form stellt die Möglichkeit, die Ergebnisse für einen längeren Zeitraum anzuwenden. Die Dauer von 100 Prozent kann z.B. 12 Stunden vorstellen. In der Abbildung 66 ist das Energieverbrauch im Szenario 4 in prozentueller Form dargestellt.

Für die Auswertung ist das auch wichtig, einen Skalierungsfaktor zu wählen. Dies Skalierungsfaktor beschreibt das Verhältnis zwischen die reale Verbraucher und die experimentelle Verbraucher. Das ist dazu nötig, um die skalierte Leistung des Elektrolyseurs und die skalierte Leistung der Energiequellen zu berechnen. Davon kann man erstens die Anzahl der notwendigen Solarmodule und der

Windkraftanlagen bestimmen. Zweitens kann man der Füllstand des Gasspeichers im Rahmen eines Szenarios bestimmen. Im Fall des negativen Szenarios muss es berechnet werden, wie lang bzw. wie viel Tage kann das Energiesystem die Verbraucher versorgen. Die Nachtzeit wird nicht berücksichtigt. Die Rechnung geht davon aus, dass in der Nacht keine Änderung der gespeicherten Menge des Wasserstoffs passiert. Es ist aber wichtig zu beachten, dass nicht alle Szenarien für diese Auswertung anwendbar sind.

Das Szenario 1 kann nicht als Simulation eines Tages interpretiert werden. Der Grund dafür sind der Lastprofil und das Wetter, die im Kapitel 3.3.2.1 dargestellt sind. Der Verbrauch bleibt in diesem Szenario immer konstant, was den typischen Tageslastprofil einer realen Verbraucher nicht entspricht. Auch das Wetter bleibt unveränderlich, was insbesondere im Sinne der Bestrahlungsstärke nicht als Tag interpretiert werden kann. Das gleiche gilt auch für das Szenario 2. Die nicht konstante Windgeschwindigkeit spielt hier keine entscheidende Rolle. Es kann so interpretiert werden, dass diese Szenarien nur einen kurzen Zeitraum umfassen, in dem das Verbrauch und das Wetter unveränderlich bleiben.

Das Szenario 3 bietet die Bedingungen, die als Simulation eines Tages interpretiert werden können. Da der Lastprofil ändert sich wie ein typischen Tagesgang Verbrauch. Das Wetter bezüglich der Bestrahlungsstärke simuliert einen sonnigen Tag. Aber wie in der Abbildung 59 gezeigt ist, ist das Szenario 3 ein positives Szenario, weil es immer mehr Wasserstoff im Speicher gesammelt wird. Es ist nicht ganz wichtig, die Auswertung auf Basis eines positiven Szenarios durchzuführen, weil das System immer nachhaltig funktioniert. In realer Situation könnte Wasserstoff nach der Komplettfüllung des Speichers in den weiteren Bereichen verwendet werden. Wie im Kapitel 2.4.4 geschrieben wurde, spielt Wasserstoff eine wichtige Rolle in der Sektorkopplung. Auch in der Mobilität hat grüner Wasserstoff große Anwendbarkeit.

Das Szenario 4 stellt für die Auswertung das größte Interesse. Der Verbrauchsprofil und das Wetter können für die Simulation eines Tages angewendet werden. Außerdem ist Szenario 4 ein negatives Szenario, was in der Abbildung 65 gezeigt ist. D.h. ist es sinnvoll, den oben genannten Parametern wie die Anzahl der notwendige Solarmodule und der Windkraftanlagen und der Betriebsdauer des Systems zu berechnen.

Erstens wird der Skalierungsfaktor gewählt. Die Verbraucher in dieser Auswertung ist eine Stadt mit 200 Haushalten. Laut Statistischem Bundesamt verbrauchten deutsche Haushalte 2019 im Durchschnitt 3.100 kWh Strom. Dazu gehören alle Haushalte wie Wohnungen, Einfamilienhäuser usw. [27]. Davon kann man errechnen, dass diese Stadt im Durchschnitt ca. 70,7 kW Leistung benötigt. Für die Auswertung wird es angenommen, dass dies durchschnittliche Wert von 70,7 kW den Verbrauchsstufe Mittel entspricht. Der Skalierungsfaktor  $\alpha$  ist in der Formel (2) gerechnet:

$$\alpha = \frac{70,7 \text{ kW}}{100 \text{ mW}} = 0,707 \frac{\text{kW}}{\text{mW}} \quad (2)$$

Jetzt ist es sichtbar, wie groß das Verhältnis zwischen die skalierte und die experimentelle Verbraucher ist. Jede Milliwatt im Stresstest entspricht 0,707 Kilowatt in der Auswertung.

Zweitens werden die Ergebnisse des Szenarios in die prozentuelle Form umgewandelt. Auf Basis von der Abbildung 62 können die Anteile der Verbraucher und des Elektrolyseurs im Stromverbrauch gerechnet werden. Die Abbildung 66 zeigt die Struktur des Energieverbrauchs im Szenario 4.

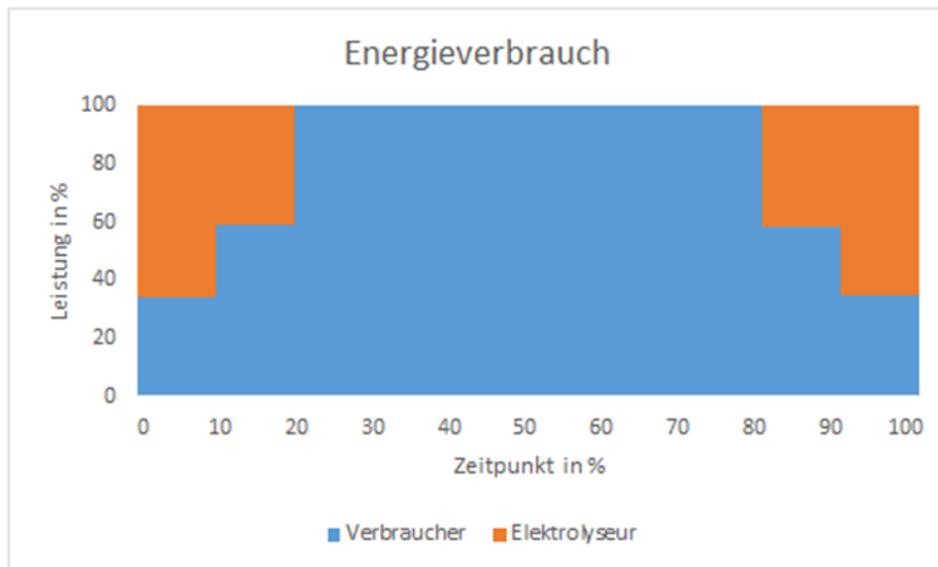


Abbildung 66. Struktur des Energieverbrauchs im Szenario 4

Die gleiche Rechnung kann für die Energieerzeugung aus der Abbildung 63 gemacht werden. Die Abbildung 67 zeigt die Struktur der Energieerzeugung im Szenario 4.

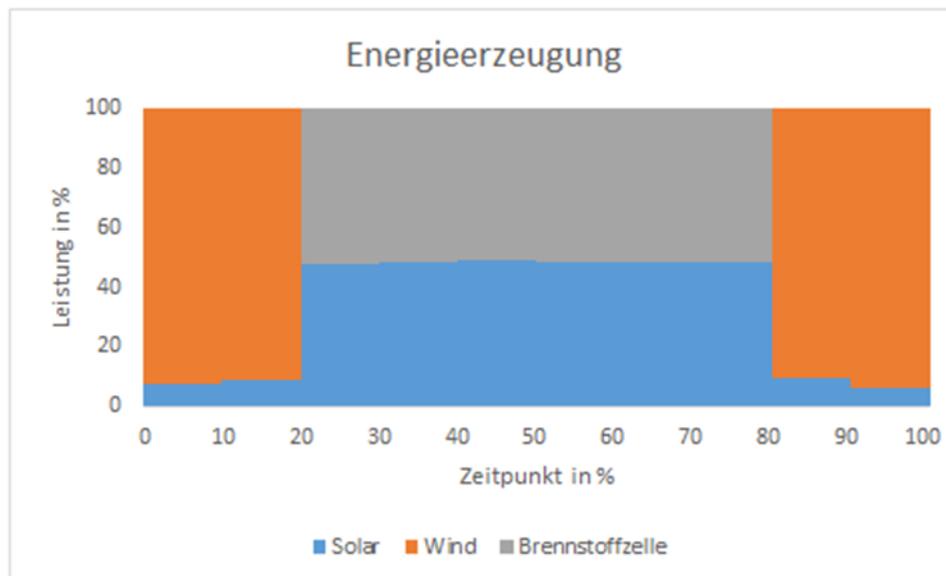


Abbildung 67. Struktur der Energieerzeugung im Szenario 4

Mit dem bekannten Skalierungsfaktor  $\alpha$  und mit prozentuellen Ergebnissen des Szenarios können die skalierte Leistung des Elektrolyseurs und die skalierte Leistung der Energiequellen berechnet werden. Die entsprechende Werte sind in der Tabelle 11 dargestellt. Die notwendige Energiemenge aus einer Energiequelle ändert

sich im Laufe des Tages, deshalb muss man der maximale Wert wählen, damit auch der höchste Energiebedarf bedeckt werden kann.

Tabelle 11. Maximale Leistung der Anlagen im Szenario 4 in kW

Solarmodule	Windkraftanlagen	Elektrolyseur	Brennstoffzelle
49,9	109,5	74,4	54,8

Nach der Ermittlung alle Werte aus der Tabelle 11, kann man die Anzahl der notwendigen Anlagen mit Hilfe der Formeln (3) und (4) ausrechnen.

Es werden die Solarmodule „IBC PolySol 250 DS“ aus polykristallinem Silizium von der Firma IBC Solar verwendet. Diese Solarmodule haben 250 W<sub>p</sub> installierte Leistung [28]. Die Beschreibung der Solarmodule sind im Anhang XXI dargestellt.

Die verwendete Windkraftanlagen „E-48“ werden von der Firma ENERCON hergestellt. Die Nennleistung ist 800 kW<sub>p</sub> [29]. Die Beschreibung der Windkraftanlagen sind im Anhang XXII dargestellt.

Anzahl der Solarmodule n<sub>Solar</sub> :

$$n_{\text{Solar}} = \frac{\max(W_{\text{Solar}})}{W_{\text{Solarmodul}}} = \frac{49,9 \text{ kW}}{250 \text{ W}_p} = 199,6 \quad (3)$$

Anzahl der Windkraftanlagen n<sub>Wind</sub> :

$$n_{\text{Wind}} = \frac{\max(W_{\text{Wind}})}{W_{\text{Windkraftanlage}}} = \frac{109,5 \text{ kW}}{800 \text{ kW}_p} = 0,13 \quad (4)$$

Die Werte müssen abgerundet werden, weil es um die Anzahl der jeweiligen Anlagen geht: n<sub>Solar</sub> = 200 und n<sub>Wind</sub> = 1. Die Formeln (3) und (4) ermitteln eine minimale Anzahl der Anlagen, die für eine kontinuierliche Energieversorgung notwendig sind. Analog kann man die Anzahl der notwendigen Elektrolyseure und Brennstoffzellen ausrechnen.

Um der Füllstand des skalierten Speichers zu bestimmen, braucht man noch mal die Ergebnisse des Szenarios bearbeiten. In der Abbildung 65 ist die gespeicherte Gasmenge im experimentellen Speicher dargestellt. Die gespeicherte Gasmenge

wird mit dem Index  $V$  bezeichnet. Auf Basis diesen Werten ist es möglich, Wirkungsgrad des Elektrolyseurs bzw. der Brennstoffzelle zu berechnen. Hier wird eigentlich nicht Wirkungsgrad, sondern Produktivität gemeint. Es geht darum, wie viel Milliliter Wasserstoff pro ein Joule Energie das Elektrolyseur produziert, bzw. wie viel Milliliter Wasserstoff der Brennstoffzelle verbraucht, um eine Joule Energie zu erzeugen. Für das Elektrolyseur ist der Wirkungsgrad = 0,17 ml/J. Für die Brennstoffzelle beträgt dies Wert = 0,30 ml/J. Die Annahme der Auswertung besteht darin, dass skaliertes Elektrolyseur bzw. skalierte Brennstoffzelle den gleichen Wirkungsgrad wie im Szenario 4 haben. Wenn der Wirkungsgrad identisch ist, kann man die skalierte Gaserzeugung und skaliertes Gasverbrauch ausrechnen.

Für die Auswertung ist noch ein Werte notwendig: Differenz von der Gasmenge pro Tag  $V_T$ . Dies Wert beschreibt den Unterschied zwischen der gespeicherten Gasmenge am Anfang und am Ende des Tages. Differenz von Gasmenge pro Tag wird durch die Formel (5) berechnet:

$$V_T = V_{\text{Anfang}} - V_{\text{Ende}} \text{ in m}^3 \quad (5)$$

Wie aus der Abbildung 65 bekannt ist, beträgt die Differenz der Wasserstoffmenge am Anfang und am Ende des Szenarios 4 ca. -5 ml.  $V_T$  ist ein ähnlicher Wert aber für skaliertes Speicher. Nach der Berechnung ist  $V_T = -3,27 \text{ m}^3$ .

Für die Auswertung wird ein Speicher gewählt, das maximal  $500 \text{ Nm}^3$  Wasserstoff beinhalten kann. Kapazität des Speichers hat den Index  $V_S$ . Das Gasniveau im Speicher  $v_S$  wird durch die Formel (6) berechnet:

$$v_S = \frac{V}{V_S} \cdot 100\% \quad (6)$$

In der Abbildung 68 ist das Gasniveau im Speicher  $v_S$  als die Funktion von Betriebstag des Systems dargestellt.

Jetzt ist es möglich, die Betriebsdauer des Systems  $T$  zu ermitteln. Die Formel (7) ist dazu geeignet:

$$T = \left| \frac{V_S}{V_T} \right| = \left| \frac{500 \text{ m}^3}{-3,27 \text{ m}^3} \right| = 152,90 \text{ Tage} \quad (7)$$

Wenn es um die vollen Tagen geht, muss der Wert T abgerundet werden. D.h. ist die Betriebsdauer des Systems  $T = 152$  Tage lang. Aus der Abbildung 68 ist ersichtlich, dass am 152. Betriebstag der Speicher komplett entleert wird.

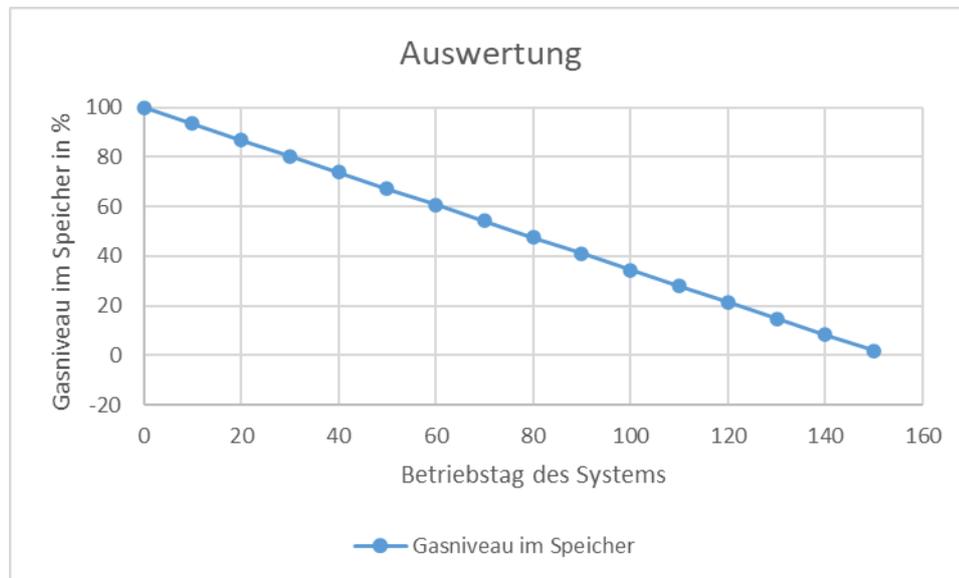


Abbildung 68. Füllstand des Speichers von Wasserstoff

Die Auswertung ist durchgeführt. Man kann schlussfolgern, dass im Rahmen des Szenarios 4 für eine sichere und nachhaltige Energieversorgung der Stadt mit 200 Haushalten etwa 200 Solarmodule und 1 Windkraftanlage nötig sind. Wenn die Kapazität des Speichers  $500 \text{ Nm}^3$  ist, gibt es die ausreichende Menge Wasserstoff für die ca. 152 Betriebstage des Energiesystems. Alle Werte sind im Anhang XX dargestellt.

In realer Situation kann es nicht sein, dass das Wetter im Laufe der 152 Tagen immer gleich ist. Aber die Auswertung wurde nur für das Szenario 4 durchgeführt, deshalb sind oben genannte Werte relevant.

## 5 Zusammenfassung

In dem theoretischen Teil der Arbeit wurde es nachgewiesen, dass Wasserstoff ein großes Potenzial für die zukünftige Energiebereich vorstellt. Die Bedeutung des Wasserstoffs als Energieträger und als Energiespeicher ist in der Nationalen Wasserstoffstrategie Deutschlands gekennzeichnet.

Auf Basis von Ideen der Energiewende und der Wasserstoffstrategie wurde eine mögliche Lösung für die zukünftige Energieversorgung entwickelt. Es wurden die Experimente mit dem Modell des Energiesystems durchgeführt, wobei die konkrete Werte dieses Systems ermittelt wurden. Die Szenarien stellen ein Konzept zur Verfügung, wie genau solche Energieversorgung realisiert werden kann.

Mit den bekannten Annahmen wurde die Energieversorgung der reale Verbraucher ausgewertet. Eine Stadt mit 200 Haushalten braucht eine PV-Anlage mit 200 Solarmodulen und ein Windpark mit 1 Windkraftanlage. Dabei kann das Energiesystem im Rahmen des Szenarios 4 152 Tage sicher und nachhaltig funktionieren.

Damit das Energiesystem noch sicherer und nachhaltiger wird, muss insbesondere das Volum des Wasserstoffspeichers vergrößert werden. In dem Fall könnte die Energieversorgung im Laufe der mehreren Tage unabhängig vom Wetter erfolgen.

Aufgrund der Unsicherheiten der Simulationen und der begrenzten Anzahl der verwendeten Geräte sollen die weiteren Forschungen durchgeführt werden, um den genauen Modellen eines nachhaltiges Energieversorgungssystems auf Basis von Wasserstoff zu simulieren.

Die Koffer „SOLARTRAINER Junior“, „WINDTRAINER Junior“ und „H2 - TRAINER Junior“ werden von der Studierenden zu den Studiumszwecken verwendet. Für die Vertiefung der Kenntnisse der Studierende können die Versuche aus dieser Bachelorarbeit wiederholt und überprüft werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Kommission: VERTRETUNG IN DEUTSCHLAND, „Green Deal: Kommission legt Strategien für das Energiesystem der Zukunft und sauberen Wasserstoff vor,“ Europäische Kommission, 08 07 2020. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/germany/news/20200708-wasserstoffstrategie\\_de](https://ec.europa.eu/germany/news/20200708-wasserstoffstrategie_de). [Zugriff am 08 08 2021].
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Klimaschutz,“ BMWi, [Online]. Available: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Industrie/klimaschutz.html?cms\\_artId=242528](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Industrie/klimaschutz.html?cms_artId=242528). [Zugriff am 06 08 2021].
- [3] Deutsches Klima-Konsortium (DKK), „Zukunft der Meeresspiegel,“ 2019. [Online]. Available: [https://www.deutsches-klimakonsortium.de/fileadmin/user\\_upload/pdfs/Publikationen\\_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbroschuere-web.pdf](https://www.deutsches-klimakonsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbroschuere-web.pdf). [Zugriff am 05 08 2021].
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Schlaglichter der Wirtschaftspolitik,“ BMWi, 01 08 2019. [Online]. Available: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2019/08/onlinemagazin-schlaglichter-08-19.html?cms\\_textId=1329128&cms\\_artId=1329144](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2019/08/onlinemagazin-schlaglichter-08-19.html?cms_textId=1329128&cms_artId=1329144). [Zugriff am 05 08 2021].
- [5] International Energy Agency, „Renewables,“ IEA, 24 11 2020. [Online]. Available: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>. [Zugriff am 05 08 2021].

- [6] Agentur für Erneuerbare Energien, „Erneuerbare Energien,“ AEE, 2021. [Online]. Available: <https://www.unendlich-viel-energie.de/erneuerbare-energie>. [Zugriff am 06 08 2021].
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Unsere Energiewende: sicher, sauber, bezahlbar,“ BMWi, [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html>. [Zugriff am 06 08 2021].
- [8] Umweltbundesamt, „Erneuerbare-Energien-Gesetz,“ UBA, 12 09 2019. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-gesetz#erfolg>. [Zugriff am 05 08 2021].
- [9] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Das Erneuerbare-Energien-Gesetz,“ BMWi, [Online]. Available: <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html#..> [Zugriff am 12 05 2021].
- [10] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Ein Stromnetz für die Energiewende,“ BMWi, [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/netze-und-netzausbau.html>. [Zugriff am 06 08 2021].
- [11] N. Khorshidian, „Verteilnetzbetreiber,“ Interconnector GmbH, 2020. [Online]. Available: <https://www.interconnector.de/wissen/verteilnetzbetreiber/>. [Zugriff am 24 07 2021].
- [12] N. Khorshidian, „Übertragungsnetzbetreiber,“ Interconnector GmbH, 15 07 2020. [Online]. Available: <https://www.interconnector.de/wissen/uebertragungsnetzbetreiber/>. [Zugriff am 14 07 2021].

- [13] ENTSO-E, „ENTSO-E Mission Statement,“ ENTSO-E, 2021. [Online]. Available: <https://www.entsoe.eu/about/>. [Zugriff am 10 08 2021].
- [14] N. Khoorshidian, „Netzfrequenz,“ Interconnector GmbH, 13 03 2020. [Online]. Available: <https://www.interconnector.de/wissen/netzfrequenz/>. [Zugriff am 28 07 2021].
- [15] M. Dipl.-Ing. (FH) Jaschinsky, „aktuelle Netzfrequenz,“ [Online]. Available: <https://www.netzfrequenz.info/aktuelle-netzfrequenz-full>. [Zugriff am 28 07 2021].
- [16] Auswärtiges Amt, „Die deutsche Energiewende,“ Auswärtiges Amt, Berlin.
- [17] R. A. Zahoransky, „Brennstoffzellen,“ in *Energietechnik*, Berlin, vieweg, 2007, pp. 173-193.
- [18] M. Bozzolo, G. F. Fink, P. Dr. Gorse und B. Oszfolk, „AUF DEM WEG ZUR KLIMANEUTRALITÄT - BRENNSTOFFZELLENTechnologie FÜR ZUKÜNFTIGE ENERGIE- UND ANTRIEBSSYSTEME,“ 17 11 2020. [Online]. Available: <https://www.mtu-solutions.com/eu/de/technical-articles/2020/moving-towards-climate-neutrality-fuel-cell-technology-for-future-energy-and-propulsion-systems.html>. [Zugriff am 26 07 2021].
- [19] EnergieAgentur.NRW, „Brennstoffzellentypen und ihr Entwicklungsstand,“ EnergieAgentur.NRW, [Online]. Available: <https://www.energieagentur.nrw/brennstoffzelle/brennstoffzelle-wasserstoff-elektromobilitaet/brennstoffzellentypen>. [Zugriff am 26 07 2021].
- [20] Toyota, „SECOND GENERATION MIRAI: MORE RANGE, MORE PERFORMANCE, STILL ZERO EMISSIONS,“ Toyota, [Online]. Available: <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/articles-news-events/2019/new-mirai-concept>. [Zugriff am 28 07 2021].

- [21] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, „Was ist grüner Wasserstoff? Was sind die anderen Optionen?“, BMU, [Online]. Available: <https://www.bmu.de/service/haeufige-fragen-faq/faq/was-ist-gruener-wasserstoff-was-sind-die-anderen-optionen>. [Zugriff am 26 07 2021].
- [22] Focus Online, „Größtes Bauprojekt der Geschichte: Dänemark baut Energie-Insel in der Nordsee“, Focus Online, 2021. [Online]. Available: [https://www.focus.de/panorama/welt/fuer-28-millionen-euro-groesstes-bauprojekt-der-geschichte-daenemark-baut-energie-insel-in-der-nordsee\\_id\\_12946208.html](https://www.focus.de/panorama/welt/fuer-28-millionen-euro-groesstes-bauprojekt-der-geschichte-daenemark-baut-energie-insel-in-der-nordsee_id_12946208.html). [Zugriff am 31 07 2021].
- [23] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Die Nationale Wasserstoffstrategie“, BMWi, Berlin, 2020.
- [24] IKS Photovoltaik GmbH, „SOLARTRAINER Junior“, 2021. [Online]. Available: <http://www.iks-photovoltaik.de/lehrmittel/solartrainer-junior/einleitung/>. [Zugriff am 18 07 2021].
- [25] IKS Photovoltaik GmbH, „WINDTRAINER Junior“, 2021. [Online]. Available: <http://www.iks-photovoltaik.de/lehrmittel/windtrainer-junior/einleitung/>. [Zugriff am 18 07 2021].
- [26] IKS Photovoltaik GmbH, „H2 - TRAINER Junior“, 2021. [Online]. Available: <http://www.iks-photovoltaik.de/lehrmittel/h2-trainer-junior/einleitung/>. [Zugriff am 18 07 2021].
- [27] Statistisches Bundesamt, "Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen," Statistisches Bundesamt, 07 2021. [Online]. Available: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html>. [Accessed 10 08 2021].

- [28] IBC SOLAR, „IBC MONOSOL 375 CS9-HC,“ IBC SOLAR, [Online]. Available: [https://shop.ibc-solar.de/products/de/shop/PV/Solarmodule/IBC\\_Module/IBC-MonoSol-375-CS9-HC/?card=39135](https://shop.ibc-solar.de/products/de/shop/PV/Solarmodule/IBC_Module/IBC-MonoSol-375-CS9-HC/?card=39135). [Zugriff am 08 08 2021].
- [29] ENERCON GmbH, „ENERCONE-138 EP3 E2 / 4,2 MW,“ ENERCON GmbH, [Online]. Available: <https://www.enercon.de/produkte/ep-3/e-138-ep3/>. [Zugriff am 08 08 2021].

## Anhangverzeichnis

<b>i.</b>	<b>Übersicht von der Anleitung „SOLARTRAINER Junior“</b> .....	<b>A - 2</b>
<b>ii.</b>	<b>Übersicht von der Anleitung „WINDTRAINER Junior“</b> .....	<b>A - 4</b>
<b>iii.</b>	<b>Übersicht von der Anleitung „H<sub>2</sub> - TRAINER Junior“</b> .....	<b>A - 6</b>
<b>iv.</b>	<b>Messdaten Solarenergie: Versuch 1</b> .....	<b>A - 9</b>
<b>v.</b>	<b>Messdaten Solarenergie: Versuch 2</b> .....	<b>A - 10</b>
<b>vi.</b>	<b>Messdaten Solarenergie: Versuch 3</b> .....	<b>A - 11</b>
<b>vii.</b>	<b>Messdaten Windenergie: Versuch 1</b> .....	<b>A - 14</b>
<b>viii.</b>	<b>Messdaten Windenergie: Versuch 2</b> .....	<b>A - 15</b>
<b>ix.</b>	<b>Messdaten Windenergie: Versuch 3</b> .....	<b>A - 16</b>
<b>x.</b>	<b>Messdaten Windenergie: Versuch 4</b> .....	<b>A - 18</b>
<b>xi.</b>	<b>Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 1</b> .....	<b>A - 22</b>
<b>xii.</b>	<b>Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 2</b> .....	<b>A - 25</b>
<b>xiii.</b>	<b>Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 3</b> .....	<b>A - 27</b>
<b>xiv.</b>	<b>Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 4</b> .....	<b>A - 29</b>
<b>xv.</b>	<b>Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 5</b> .....	<b>A - 31</b>
<b>xvi.</b>	<b>Messdaten Szenario 1</b> .....	<b>A - 36</b>
<b>xvii.</b>	<b>Messdaten Szenario 2</b> .....	<b>A - 42</b>
<b>xviii.</b>	<b>Messdaten Szenario 3</b> .....	<b>A - 49</b>
<b>xix.</b>	<b>Messdaten Szenario 4</b> .....	<b>A - 56</b>
<b>xx.</b>	<b>Auswertung</b> .....	<b>A - 63</b>
<b>xxi.</b>	<b>Technische Daten der Solarmodule</b> .....	<b>A - 65</b>
<b>xxii.</b>	<b>Technische Daten der Windkraftanlage</b> .....	<b>A - 67</b>

## i. Übersicht von der Anleitung „SOLARTRAINER Junior“

### Inhalt und Anordnung im Koffer



- ① Grundplatte
- ② Aufhängung für Grundplatte
- ③ Anleitungen
- ④ Lösungen
- ⑤ Schnittstellenkabel (Option)
- ⑥ Programm CD (Option)



Quelle: [24]



- ⑦ Solarzelleneinheit
- ⑧ 3 Abschattungsbleche
- ⑨ Netzkabel (unter Solarzelleneinheit)
- ⑩ 2 Multimeter
- ⑪ Sensor
- ⑫ Bestrahlungseinheit
- ⑬ 12 Messkabel, 6x rot, 6x blau
- ⑭ Speicher
- ⑮ Last 1
- ⑯ Last 2
- ⑰ Data logger (Option)
- ⑱ Inverter (Option unter Data logger)
- ⑲ Schaumstoffpolster zum Abdecken der Komponenten (im Kofferdeckel, ohne Bild)

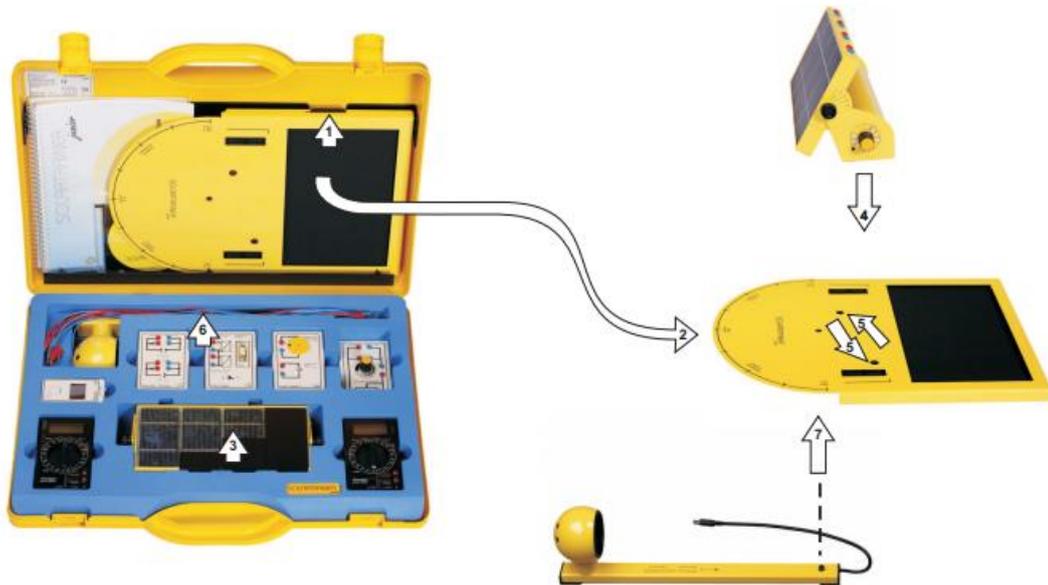


### Inhalt und Anordnung im Koffer

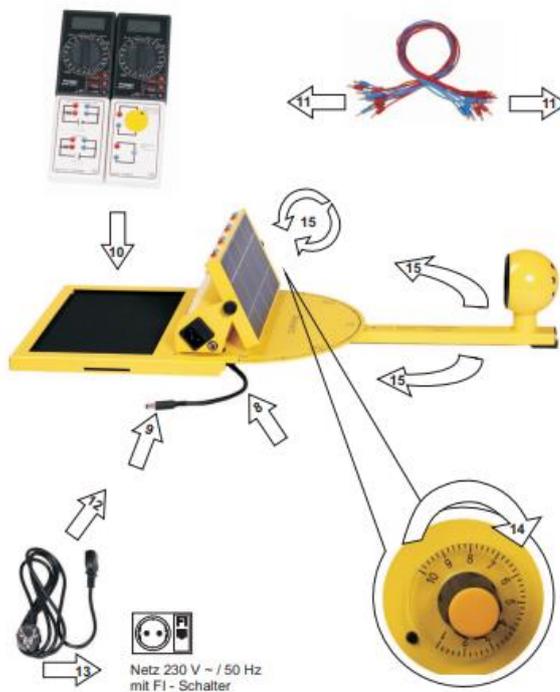
1

Quelle: [24]

## Aufbau des Systems



Quelle: [24]



- 1 Grundplatte anheben.
- 2 Grundplatte herausnehmen und in der Mitte eines ca. 80 cm breiten Tisches aufstellen.
- 3 Solarzelleneinheit entnehmen, die Abschattungsbleche zurück in das Fach legen.
- 4 Solarzelleneinheit wie dargestellt auf der Grundplatte so positionieren, dass die beiden Stifte an der Unterseite in die Bohrungen der Grundplatte passen.
- 5 Messkabel entnehmen und ablegen, die Bestrahlungseinheit herausnehmen.
- 6 Bestrahlungseinheit unter der Grundplatte so positionieren, dass der Lagerzapfen in die Bohrung eingeführt wird.
- 7 Anschlusskabel der Bestrahlungseinheit unter der Grundplatte herausführen.
- 8 Stecker C der Bestrahlungseinheit in DC Anschlussbuchse E der Solarzelleneinheit einstecken.
- 9 Die in den Anleitungen angegebenen Module in der Ablage der Grundplatte anordnen.
- 10 Aufbau nach Anleitung mit Messkabeln verbinden.
- 11 Netzleitung an der Solarzelleneinheit einstecken.
- 12 Netzstecker an Steckdose mit FI-Schalter anschließen.
- 13 Lampe am Drehknopf durch Rechtsdrehung einschalten, Helligkeitsregelung von 0-10.
- 14 Neigung des Solarmodules und Position der Bestrahlungseinheit nach Anleitung einstellen.

## Aufbau des Systems

8

Quelle: [24]

## ii. Übersicht von der Anleitung „WINDTRAINER Junior“

### Inhalt und Anordnung im Koffer



- ① Grundplatte
- ② Halteknopf für Gummischur (Heftfixierung)
- ③ Anleitungen
- ④ Lösungen
- ⑤ Aufhängung für Grundplatte

Quelle: [25]

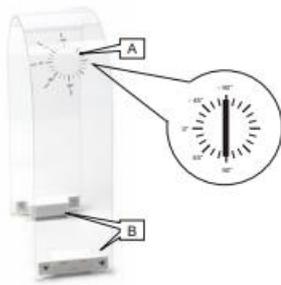


- ⑥ Windmaschine
  - ⑦ Anemometer
  - ⑧ Fuß zu Anemometer (unten)
  - ⑨ 2 Multimeter (1x unten)
  - ⑩ Windblende
  - ⑪ Schutzhaube
  - ⑫ Windenergieanlage axial
  - ⑬ 8 Flügel, 4x gerade, 4x gewölbt
  - ⑭ Schraubendreher (unten)
  - ⑮ 8 Messkabel, 4x rot, 4x blau
  - ⑯ Steckernetzteil (DC Kabel unter Speicher)
  - ⑰ Speicher
  - ⑱ Last 1 (Verbrauchermodul)
  - ⑲ Last 2
  - ⑳ Savonius-Generator mit Einsteck-Blende (unten)
  - ㉑ Savonius-Generator-Unterteil
- Schaumstoffpolster zum Abdecken der Komponenten (im Kofferdeckel, ohne Bild)

### Inhalt und Anordnung im Koffer

1

Quelle: [25]



#### Schutzhaube ①

Zum Schutz vor den sich bewegenden Flügeln und zum Schutz vor Flügeln, die sich bei evtl. unsachgemäßer Arretierung mit hoher Geschwindigkeit von der Nabe lösen können.

Zusätzlich dient die Schutzhaube als Hilfe zur Einstellung der Anstellwinkel der Flügel.

Die Schutzhaube wird mit den unteren Enden in die Schlitzle C der Grundplatte ① eingesetzt und durch die Magneten B gehalten. Die Skala A befindet sich Richtung Ablage E der Grundplatte ①.

Gegebenenfalls bei eingesetztem geraden Flügel in der Stellung 90° die Schutzhaube längs der Schlitzle C in der Grundplatte ① verschieben, bis sich die 90°-Markierung mit dem Flügel deckt (Einsetzen der Flügel siehe Seite 5).

- A Gradskala zur Einstellung der Anstellwinkel der Flügel
- B Haltemagneten



#### Windenergieanlage axial ②

Die Windenergieanlage axial besteht aus einem Gleichstromgenerator, auf dessen Welle eine Nabe zur Aufnahme der Flügel angebracht ist, und einem Tachogenerator zur Bestimmung der Drehzahl. Die Nabe ist für die Aufnahme von zwei, drei und vier Flügeln geeignet.

- A Flügelnahe
- B Aufnahmebohrungen für Flügel
- C Anschlussbuchsen Generator und Tachogenerator
- D Stiftschraube
- E - G Bohrungen auf der Unterseite der Windenergieanlage zum Aufsetzen auf die Positionierstifte B der Grundplatte ①

### Vorstellung der einzelnen Komponenten

4

Quelle: [25]

### Aufbau des Systems



Quelle: [25]

A - 5

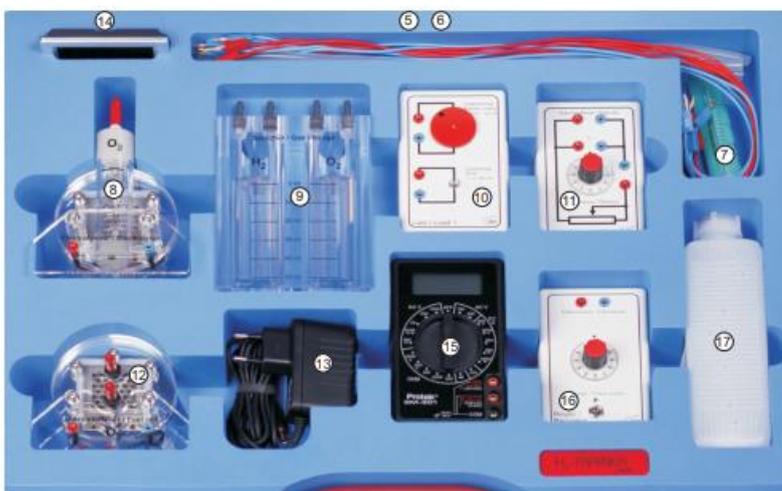
### iii. Übersicht von der Anleitung „H<sub>2</sub> - TRAINER Junior“

#### Inhalt und Anordnung im Koffer



- ① Grundplatte
- ② Halteknopf für Gummischnur (Hefifixierung)
- ③ Anleitungen
- ④ Lösungen
- ⑤ Aufhängung für Grundplatte

Quelle: [26]



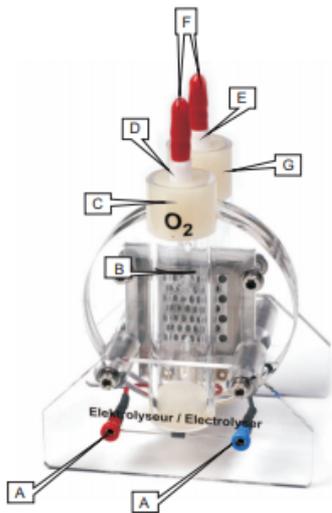
- ⑤ 8 Messkabel, 4x rot, 4x blau
- ⑥ 4 Silikonschläuche
- ⑦ Spritze mit Tülle
- ⑧ Elektrolyseur
- ⑨ Gasspeicher
- ⑩ Last 1
- ⑪ Last 2
- ⑫ Brennstoffzelle
- ⑬ Netzteil
- ⑭ Timer
- ⑮ 2 Multimeter (übereinander)
- ⑯ Regler
- ⑰ Flasche mit destilliertem Wasser

#### Inhalt und Anordnung im Koffer

1

Quelle: [26]

## Vorstellung der einzelnen Komponenten



### Elektrolyseur (PEM) <sup>Ⓢ</sup>

Durch Anlegen einer Spannung an die elektrischen Anschlüsse **A** wird die Elektrolyse in Gang gesetzt. Reines Wasser wird in gasförmigen Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Der Wasserstoff entsteht an der Kathode (Minus), der Sauerstoff an der Anode (Plus). Als Kernstück besitzt der Elektrolyseur eine Nafion-Membran, auf der beidseitig die Elektroden als dünne poröse Schichten aufgebracht sind. Auf diese Schichten folgt jeweils ein Metallnetz, das mit einem elektrischen Anschluss verbunden ist (2 mm Anschlussbuchsen **A**). Die Netzstruktur gewährleistet den Wasser- und Gasaustausch an den Elektroden bei gleichzeitiger, flächiger Verteilung des Stromes. Die Membran dient als fester Elektrolyt, der für Wasserstoffionen durchlässig ist, so dass der Elektrolyseur mit reinem Wasser arbeiten kann. Die an den Elektroden entstehenden Gase steigen durch das Wasser in den Vorlagebehälter auf und können an den Anschlussstutzen **D** und **E** entnommen werden. Der Elektrolyseur wird mit destilliertem Wasser gefüllt (siehe **Inbetriebnahme Seite 9**). Das Wasser kann auch nach dem Betrieb im Elektrolyseur verbleiben. Die beiden Anschlussstutzen **D** und **E** sind vor dem Einpacken des Elektrolyseurs in den Koffer sorgfältig mit den Verschlusskappen **F** zu verschließen, damit das destillierte Wasser nicht ausläuft. Während der Elektrolyse nimmt der Wasservorrat auf der Kathodenseite zu und auf der Anodenseite ab. Sobald der Wasserpegel ca. 5 mm von dem angegebenen Füllstand **B** abweicht, sollte er wieder auf den Füllstand eingestellt werden. Hierzu die Tülle auf die mitgelieferte Spritze aufsetzen, in den Anschlussstutzen **D/E** einführen und destilliertes Wasser bis zum Füllstand **B** absaugen oder auffüllen.

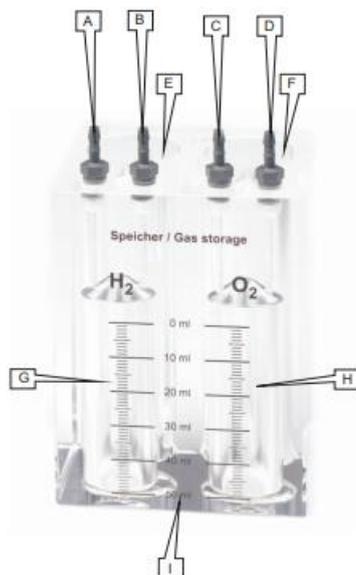
#### Bitte beachten Sie:

**Das destillierte Wasser kann im Elektrolyseur bleiben. Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!**  
**Der Wasserstand darf höchstens + / - 5 mm vom Füllstand **B** abweichen.**  
**Zum Betrieb nur destilliertes Wasser verwenden!**  
**Der Elektrolyseur darf nicht verkehrt gepolt betrieben werden. Zur Sicherheit befindet sich eine Diode zwischen den Anschlüssen **A**.**  
**Betriebsspannung 1,4-1,9 V Gleichstrom, Betriebsstrom maximal 550 mA.**

**Die Leistung des Elektrolyseurs ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig und verringert sich über die Lebensdauer des Produkts. Alle Angaben in den Lösungen entsprechen der Leistung zum Auslieferungzeitpunkt.**

- A** Anschlussbuchse Plus (Sauerstoffseite O<sub>2</sub>) und Anschlussbuchse Minus (Wasserstoffseite H<sub>2</sub>)
- B** Füllstandmarke für destilliertes Wasser
- C** Sauerstoffseite O<sub>2</sub> (Anode +)
- D** Anschlussstutzen zur Ableitung des Sauerstoffs
- E** Anschlussstutzen zur Ableitung des Wasserstoffs
- F** Verschlusskappen (2 Stück)
- G** Wasserstoffseite H<sub>2</sub> (Kathode -)

Quelle: [26]



### Gasspeicher <sup>Ⓢ</sup>

Dient zur Speicherung des mit dem Elektrolyseur <sup>Ⓢ</sup> erzeugten Wasserstoffs und Sauerstoffs. In die Öffnungen **E** und **F** wird destilliertes Wasser bis zum Füllstand **0 ml** aufgefüllt. An den Anschlussstutzen **A** wird die Wasserstoffseite des Elektrolyseurs <sup>Ⓢ</sup>, an den Anschlussstutzen **B** wird die Wasserstoffseite der Brennstoffzelle <sup>Ⓢ</sup> angeschlossen. Der Anschlussstutzen **C** wird mit der Sauerstoffseite des Elektrolyseurs, der Anschlussstutzen **D** wird mit der Sauerstoffseite der Brennstoffzelle verbunden.

Die Hohlzylinder **G** und **E** (bzw. **H** und **F**) sind am unteren Ende mit einer Bohrung verbunden. Das erzeugte Gas sammelt sich im Hohlzylinder **G** (bzw. **H**) und verdrängt die dort befindliche Wassersäule. Auf der Skala **I** kann die Menge des erzeugten Gases abgelesen werden.

#### Bitte beachten Sie:

**Wenn eine Füllmenge von 50 ml erreicht ist, den Gaserzeugungsvorgang abbrechen!**  
**Nach Gebrauch Gasspeicher wieder entleeren.**

- A** Anschlussstutzen zur Wasserstoffseite des Elektrolyseurs (H<sub>2</sub>)
- B** Anschlussstutzen zur Wasserstoffseite der Brennstoffzelle (H<sub>2</sub>)
- C** Anschlussstutzen zur Sauerstoffseite des Elektrolyseurs (O<sub>2</sub>)
- D** Anschlussstutzen zur Sauerstoffseite der Brennstoffzelle (O<sub>2</sub>)
- E** Einfüllöffnung für destilliertes Wasser
- F** Einfüllöffnung für destilliertes Wasser
- G** Gassammelraum für Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
- H** Gassammelraum für Sauerstoff (O<sub>2</sub>)
- I** Skala Gasmenge

## Vorstellung der einzelnen Komponenten

3

Quelle: [26]

A - 7

### Brennstoffzelle (PEM) ⑫

Durch Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt die Brennstoffzelle eine elektrische Spannung, die an den Anschlüssen **A** und **D** abgenommen werden kann. Auf der Seite der Wasserstoffzuleitung (Kathode) entsteht ein negatives, auf der Seite der Sauerstoffzuleitung (Anode) ein positives Potential. Wird an den Anschlüssen ein elektrischer Verbraucher angelegt, fließt elektrischer Strom.

Als Kernstück besitzt die PEM-Brennstoffzelle eine Nafion-Membran-Elektroden Einheit. An beiden Seiten dieser Einheit befindet sich je ein Metallnetz, das durch seine Struktur den Wasser- und Gasaustausch an den Elektroden sowie die flächige Verteilung des Stroms gewährleistet. Die Metallnetze sind mit den 2 mm Anschlussbuchsen **A** bzw. **D** verbunden.

Auf beiden Seiten der Brennstoffzelle befinden sich je zwei Anschlussstutzen. Die oberen Anschlussstutzen **C** und **E** dienen der Zuleitung der Gase und werden durch Schläuche mit dem Wasserstoff- bzw. Sauerstoffspeicher des Gasspeichers verbunden. Die unteren Anschlussstutzen **B** und **F** dienen zum Entlüften der Brennstoffzelle. Die Brennstoffzelle kann in zwei Betriebsarten arbeiten:

Im offenen Betrieb bleiben die Ableitungsstutzen **B** und **F** geöffnet. Dies ist z.B. bei der Entlüftung des Systems während der Inbetriebnahme notwendig.

Im geschlossenen Betrieb werden die Ableitungsstutzen **B** und **F** mit den Verschlusskappen **G** abgedichtet. Überschüssig erzeugtes Gas wird im Gasspeicher gespeichert und steht bei Bedarf der Brennstoffzelle zur Verfügung.

Falls sich bei längerem Betrieb Reaktionswasser in der Brennstoffzelle ansammelt, muss dies durch kurzes Abziehen und wieder Aufstecken der Schläuche von den Anschlussstutzen **C** und **E** abgelassen werden. Danach muss die Brennstoffzelle wieder nach Anleitung auf Seite 10 entlüftet werden.

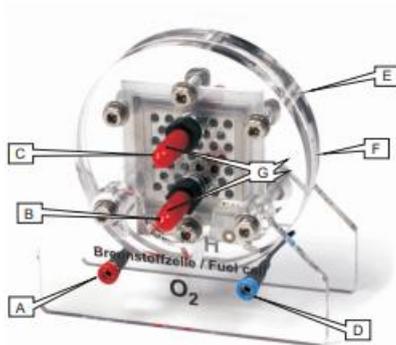
**Bitte beachten Sie:**

Während des Betriebs sammelt sich ein wenig Feuchtigkeit in der Brennstoffzelle, dies ist normal, deshalb sind die Anschlussstutzen **B**, **C**, **E** und **F** vor dem Einpacken der Brennstoffzelle in den Koffer sorgfältig mit den Verschlusskappen **G** zu verschließen.

Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!

Die Leistung der Brennstoffzelle ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig und verringert sich über die Lebensdauer des Produkts. Alle Angaben in den Lösungen entsprechen der Leistung zum Auslieferungzeitpunkt.

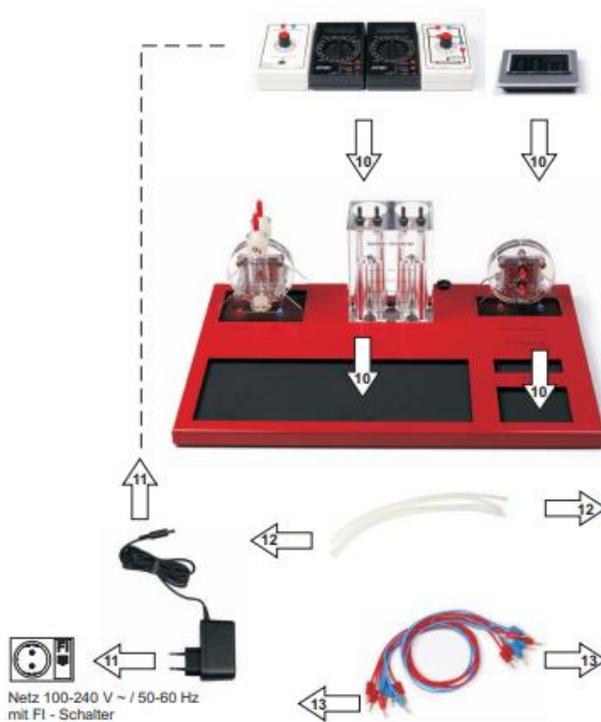
- A Anschlussbuchse Plus
- B Anschlussstutzen zur Zuleitung von Sauerstoff aus dem Gasspeicher Sauerstoff (O<sub>2</sub>)
- C Anschlussstutzen zur Ableitung von Sauerstoff beim Entlüften
- D Anschlussbuchse Minus
- E Anschlussstutzen zur Ableitung von Wasserstoff beim Entlüften
- F Anschlussstutzen zur Zuleitung von Wasserstoff aus dem Gasspeicher Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
- G Verschlusskappen (4 Stück)



### Vorstellung der einzelnen Komponenten

4

Quelle: [26]



- 1 Gummischnur aushängen und Hefte herausnehmen.
- 2a /2b Grundplatte anheben, herausnehmen und aufstellen.
- 3,4,5 Elektrolyseur, Speicher und Brennstoffzelle entnehmen.
- 6,7 Spritze mit Tülle und Flasche mit destilliertem Wasser entnehmen.
- 8 Elektrolyseur, Speicher und Brennstoffzelle gemäß Inbetriebnahmeanweisung Seite 9 und 10 vorbereiten.
- 9 Elektrolyseur, Speicher und Brennstoffzelle auf der Grundplatte platzieren.
- 10 Die in den Anleitungen angegebenen Module und Multi-Meter in der Ablage der Grundplatte anordnen.
- 11 Netzteil an Steckdose mit FI-Schalter anschließen und Niederspannungsstecker in Regler einstecken. Regelknopf auf Minimum einstellen.
- 12 Aufbau nach Anleitung mit Silikonschläuchen verbinden. Schläuche nicht knicken!
- 13 Aufbau nach Anleitung mit Messkabeln verbinden.
- 14 **Sicherheitshinweise auf Seite 8 beachten!**

### Vorsicht!

**Beim Betrieb des Systems entsteht Wasserstoff. Gefahr der Entstehung von Knallgas! Vermeiden Sie Umgang mit offenem Feuer, heißen Gegenständen sowie elektrischen Funken in der Nähe des Aufbaus!**

**Es herrscht Rauchverbot!**

**Die für Schullabore geltenden Schutzvorschriften sind zu beachten.**

### Aufbau des Systems

7

Quelle: [26]

## iv. Messdaten Solarenergie: Versuch 1

### Messung 1

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Solarzelle 3	Solarzelle 4		Solarzelle 1	Solarzelle 1+2	Solarzelle 1+2+3	Solarzelle 1+2+3+4
Leerlaufspannung in mV	521	534	534	531	Leerlaufspannung in mV	507	1032	1547	2064
Kurzschlussstrom in mA	148,8	203,4	205,2	188,6	Kurzschlussstrom in mA	143,3	145,5	144,6	143,1

### Messung 2

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Solarzelle 3	Solarzelle 4		Solarzelle 1	Solarzelle 1+2	Solarzelle 1+2+3	Solarzelle 1+2+3+4
Leerlaufspannung in mV	519	528	527	522	Leerlaufspannung in mV	519	1043	1565	2081
Kurzschlussstrom in mA	147,8	202,8	201,8	184,7	Kurzschlussstrom in mA	152,2	152,4	151,4	151,6

### Messung 3

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Solarzelle 3	Solarzelle 4		Solarzelle 1	Solarzelle 1+2	Solarzelle 1+2+3	Solarzelle 1+2+3+4
Leerlaufspannung in mV	508	516	516	514	Leerlaufspannung in mV	509	1028	1548	2062
Kurzschlussstrom in mA	145,3	200,6	199,6	181,8	Kurzschlussstrom in mA	149,3	150,1	150,6	150,9

### Messung 4

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Solarzelle 3	Solarzelle 4		Solarzelle 1	Solarzelle 1+2	Solarzelle 1+2+3	Solarzelle 1+2+3+4
Leerlaufspannung in mV	503	512	513	512	Leerlaufspannung in mV	505	1022	1538	2051
Kurzschlussstrom in mA	145,2	200,4	201,7	183,8	Kurzschlussstrom in mA	149,1	150,2	150,6	150,9

### Messung 5

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Solarzelle 3	Solarzelle 4		Solarzelle 1	Solarzelle 1+2	Solarzelle 1+2+3	Solarzelle 1+2+3+4
Leerlaufspannung in mV	500	510	511	510	Leerlaufspannung in mV	503	1017	1531	2043
Kurzschlussstrom in mA	145,5	200,9	201,4	183,8	Kurzschlussstrom in mA	148,9	150,2	150,5	150,8

### Mittelwert

	Solarzelle 1	Solarzelle 2	Solarzelle 3	Solarzelle 4		Solarzelle 1	Solarzelle 1+2	Solarzelle 1+2+3	Solarzelle 1+2+3+4
Mittelwert in mV	510,2	520	520,2	517,8	Mittelwert in mV	508,6	1028,4	1545,8	2060,2
(xi - x)^2	116,64	196	190,44	174,24	(xi - x)^2	2,56	12,96	1,44	14,44
	77,44	64	46,24	17,64		108,16	213,16	368,64	432,64
	4,84	16	17,64	14,44		0,16	0,16	4,84	3,24
	51,84	64	51,84	33,64		12,96	40,96	60,84	84,64
	104,04	100	84,64	60,84		31,36	129,96	219,04	295,84
Standardabweichung in mV	4,21188794	4,69041576	4,42040722	3,87814389	Standardabweichung in mV	2,785677655	4,456455991	5,7218878	6,445153218
Unsicherheit in mV	4,23188794	4,71041576	4,44040722	3,89814389	Unsicherheit in mV	2,805677655	4,476455991	5,7418878	6,465153218
Unsicherheit in %	0,82945667	0,90584918	0,85359616	0,7528281	Unsicherheit in %	0,551647199	0,435283546	0,371450886	0,313811922

Mittelwert in mA	146,52	201,62	201,94	184,54		Mittelwert in mA	148,56	149,68	149,54	149,46
(xi - x)^2	5,1984	3,1684	10,6276	16,4836		(xi - x)^2	27,6676	17,4724	24,4036	40,4496
	1,6384	1,3924	0,0196	0,0256			13,2496	7,3984	3,4596	4,5796
	1,4884	1,0404	5,4756	7,5076			0,5476	0,1764	1,1236	2,0736
	1,7424	1,4884	0,0576	0,5476			0,2916	0,2704	1,1236	2,0736
	1,0404	0,5184	0,2916	0,5476			0,1156	0,2704	0,9216	1,7956
Standartabweichung in mA	0,7425164	0,61676576	0,9075241	1,12053559		Standartabweichung in mA	1,44692778	1,131105654	1,24563237	1,596433525
Unsicherheit in mA	0,76525164	0,63676576	0,9275241	1,14053559		Unsicherheit in mA	1,46692778	1,151105654	1,26563237	1,616433525
Unsicherheit in %	0,52228476	0,3158247	0,45930678	0,61804248		Unsicherheit in %	0,987431193	0,769044397	0,846350388	1,081515807

## v. Messdaten Solarenergie: Versuch 2

### Messung 1

Einstrahlung in W/m <sup>2</sup>	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
Leerlaufspannung in mV	0	1341	1839	1844	1900	1939	1956	1978	1991	2001	2009	2020	2028	2041	2053	2061	2071
Kurzschlussstrom in mA	0	7,9	17,89	20,84	33,2	44,9	52,5	62,1	67,7	74,5	79,8	90,3	100,9	111,3	121,5	132,3	143,2

### Messung 2

Einstrahlung in W/m <sup>2</sup>	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
Leerlaufspannung in mV	0	1338	1837	1844	1902	1942	1956	1978	1990	1995	2001	2023	2030	2040	2054	2061	2069
Kurzschlussstrom in mA	0	8,9	18,2	20,84	31	44,8	52,5	63,5	67,5	74,2	79,9	90,4	101	111,5	121,4	132,3	143,3

### Messung 3

Einstrahlung in W/m <sup>2</sup>	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
Leerlaufspannung in mV	0	1336	1837	1844	1900	1945	1956	1978	1989	1995	2001	2020	2031	2045	2049	2062	2070
Kurzschlussstrom in mA	0	8,6	17,6	21	33,2	44,9	53	62,1	67,4	75	79,9	90,7	100,5	111,7	121,5	132,5	144

### Messung 4

Einstrahlung in W/m <sup>2</sup>	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
Leerlaufspannung in mV	0	1339	1837	1844	1900	1941	1956	1978	1992	1995	2001	2021	2033	2041	2051	2062	2068
Kurzschlussstrom in mA	0	8,7	17,8	21,5	33,6	44,3	52,5	63	67,9	74,5	79,9	90,4	100,8	111,3	121,8	132,4	139,9

### Messung 5

Einstrahlung in W/m <sup>2</sup>	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
Leerlaufspannung in mV	0	1338	1847	1844	1895	1940	1956	1978	1991	1995	2001	2019	2029	2040	2053	2060	2071
Kurzschlussstrom in mA	0	7,9	18,8	20,84	33,2	43,7	52,6	62,1	67,4	74,5	79,9	89,9	100,9	111,3	121,9	132,4	143,6

## Mittelwert

Mittelwert in mV	0	1338,4	1839,4	1844	1899,4	1941,4	1956	1978	1990,6	1996,2	2002,6	2020,6	2030,2	2041,4	2052	2061,2	2069,8
(xi - x)^2	0	6,76	0,16	0	0,36	5,76	0	0	0,16	23,04	40,96	0,36	4,84	0,16	1	0,04	1,44
	0	0,16	5,76	0	6,76	0,36	0	0	0,36	1,44	2,56	5,76	0,04	1,96	4	0,04	0,64
	0	5,76	5,76	0	0,36	12,96	0	0	2,56	1,44	2,56	0,36	0,64	12,96	9	0,64	0,04
	0	0,36	5,76	0	0,36	0,16	0	0	1,96	1,44	2,56	0,16	7,84	0,16	1	0,64	3,24
	0	0,16	57,76	0	19,36	1,96	0	0	0,16	1,44	2,56	2,56	1,44	1,96	1	1,44	1,44
Standartabweichung in mV	0	0,812404	1,939072	0	1,16619	1,029563	0	0	0,509902	1,2	1,6	0,678233	0,860233	0,927362	0,894427	0,374166	0,583095
Unsicherheit in mV	0,02	0,832404	1,959072	0,02	1,18619	1,049563	0,02	0,02	0,529902	1,22	1,62	0,698233	0,880233	0,947362	0,914427	0,394166	0,603095
Unsicherheit in %	0	0,062194	0,106506	0,001085	0,062451	0,054062	0,001022	0,001011	0,02662	0,061116	0,080895	0,034556	0,043357	0,046407	0,044563	0,019123	0,029138
Mittelwert in mA	0	8,4	18,058	21,004	32,84	44,52	52,62	62,56	67,58	74,54	79,88	90,34	100,82	111,42	121,62	132,38	142,8
(xi - x)^2	0	0,25	0,028224	0,026896	0,1296	0,1444	0,0144	0,2116	0,0144	0,0016	0,0064	0,0016	0,0064	0,0144	0,0144	0,0064	0,16
	0	0,25	0,020164	0,026896	3,3856	0,0784	0,0144	0,8836	0,0064	0,1156	0,0004	0,0036	0,0324	0,0064	0,0484	0,0064	0,25
	0	0,04	0,209764	1,6E-05	0,1296	0,1444	0,1444	0,2116	0,0324	0,2116	0,0004	0,1296	0,1024	0,0784	0,0144	0,0144	1,44
	0	0,09	0,066564	0,246016	0,5776	0,0484	0,0144	0,1936	0,1024	0,0016	0,0004	0,0036	0,0004	0,0144	0,0324	0,0004	8,41
	0	0,25	0,550564	0,026896	0,1296	0,6724	0,0004	0,2116	0,0324	0,0016	0,1936	0,0004	0,1936	0,0064	0,0144	0,0784	0,0004
Standartabweichung in mA	0	0,209762	0,209198	0,127812	0,466476	0,233238	0,096954	0,292575	0,096954	0,128841	0,02	0,128841	0,086023	0,08	0,096954	0,037417	0,738241
Unsicherheit in mA	0,02	0,229762	0,229198	0,147812	0,486476	0,253238	0,116954	0,312575	0,116954	0,148841	0,04	0,148841	0,106023	0,1	0,116954	0,057417	0,758241
Unsicherheit in %	0	2,735259	1,269235	0,703734	1,481352	0,568819	0,222261	0,49964	0,173059	0,199679	0,050075	0,164756	0,105161	0,08975	0,096163	0,043373	0,530981

## vi. Messdaten Solarenergie: Versuch 3

### Messung 1 – Hoch

Spannung in mV	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	144,2	145,8	144,2	143,2	143	142	142	145,2	144,2	139,8	101	40,3

### Messung 2 – Hoch

Spannung in mV	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	145,5	145	144,3	143,2	143,1	142,5	142	140,9	136,5	128,5	98,4	36,1

### Messung 3 – Hoch

Spannung in mV	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	142,2	140,7	144,6	145,3	145,3	145,3	144,9	144,3	142,3	130,6	98,5	31,5

### Messung 4 – Hoch

Spannung in mV	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	141,4	141,4	141,4	141,7	141,5	141,3	141,3	140,5	136,5	124,8	91,2	31,8

### Messung 5 – Hoch

Spannung in mV	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	140,4	140,5	140,9	140,9	140,9	140,7	140,2	139,5	136,6	122,6	88,3	21

## Mittelwert – Hoch

Mittelwert in mA	142,74	142,68	143,08	142,86	142,76	142,36	142,08	142,08	139,22	129,26	95,48	32,14
(xi - x)^2	2,1316	9,7344	1,2544	0,1156	0,0576	0,1296	0,0064	9,7344	24,8004	111,0916	30,4704	66,5856
	7,6176	5,3824	1,4884	0,1156	0,1156	0,0196	0,0064	1,3924	7,3984	0,5776	8,5264	15,6816
	0,2916	3,9204	2,3104	5,9536	6,4516	8,6436	7,9524	4,9284	9,4864	1,7956	9,1204	0,4096
	1,7956	1,6384	2,8224	1,3456	1,5876	1,1236	0,6084	2,4964	7,3984	19,8916	18,3184	0,1156
	5,4756	4,7524	4,7524	3,8416	3,4596	2,7556	3,5344	6,6564	6,8644	44,3556	51,5524	124,0996
Standartabweichung in mA	0,930376	1,127564	0,794607	0,754056	0,763937	0,79599	0,778075	1,122675	1,672543	2,980872	2,428868	3,216302
Unsicherheit in mA	0,950376	1,147564	0,814607	0,774056	0,783937	0,81599	0,798075	1,142675	1,692543	3,000872	2,448868	3,236302
Unsicherheit in %	0,665809	0,804292	0,569337	0,541828	0,549129	0,573188	0,561708	0,804248	1,215733	2,321578	2,564797	10,06939

Widerstand in Ohm	2,802298	4,205214	5,591278	6,99986	8,405716	9,834223	10,55743	11,26126	12,21089	13,92542	19,89946	62,22775
Leistung in mW	57,096	85,608	114,464	142,86	171,312	199,304	213,12	227,328	236,674	232,668	181,412	64,28
Unsicherheit Leistung in mW	0,380151	0,688538	0,651685	0,774056	0,940725	1,142386	1,197112	1,828281	2,877323	5,40157	4,652849	6,472604
Unsicherheit Leistung in %	0,665809	0,804292	0,569337	0,541828	0,549129	0,573188	0,561708	0,804248	1,215733	2,321578	2,564797	10,06939

## Messung 1 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	85,1	85	84,8	84,7	84,5	84,4	84,2	84,1	83,7	82,9	81,2	61,1	12

## Messung 2 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	92,3	92,1	91,9	91,8	91,6	91,4	91,3	90	90,2	83,8	79	53,7	12,4

## Messung 3 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	92	91,9	91,7	91,5	91,4	91,2	91,1	90,5	90	86,2	78,2	53,1	12,6

## Messung 4 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	92	92,1	92,2	92	91,9	91,7	91,6	91,4	90,5	85,1	78,6	51,8	12,3

## Messung 5 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Strom in mA	92,7	92,6	92,5	92,3	92,2	92	91,7	91,4	90,9	84,6	78,2	52,3	12,4

## Mittelwert – Mittel

Mittelwert in mA	90,82	90,74	90,62	90,46	90,32	90,14	89,98	89,48	89,06	84,52	79,04	54,4	12,34
(xi - x)^2	32,7184	32,9476	33,8724	33,1776	33,8724	32,9476	33,4084	28,9444	28,7296	2,6244	4,6656	44,89	0,1156
	2,1904	1,8496	1,6384	1,7956	1,6384	1,5876	1,7424	0,2704	1,2996	0,5184	0,0016	0,49	0,0036
	1,3924	1,3456	1,1664	1,0816	1,1664	1,1236	1,2544	1,0404	0,8836	2,8224	0,7056	1,69	0,0676
	1,3924	1,8496	2,4964	2,3716	2,4964	2,4336	2,6244	3,6864	2,0736	0,3364	0,1936	6,76	0,0016
	3,5344	3,4596	3,5344	3,3856	3,5344	3,4596	2,9584	3,6864	3,3856	0,0064	0,7056	4,41	0,0036
Standartabweichung in mA	1,435758	1,439653	1,461301	1,445891	1,461301	1,441388	1,448931	1,371641	1,348555	0,561605	0,56	1,706458	0,09798
Unsicherheit in mA	1,455758	1,459653	1,481301	1,465891	1,481301	1,461388	1,468931	1,391641	1,368555	0,581605	0,58	1,726458	0,11798
Unsicherheit in %	1,602904	1,60861	1,634629	1,620485	1,640058	1,621243	1,632508	1,555254	1,536666	0,688127	0,733806	3,173637	0,956074

Widerstand in Ohm	2,202158	4,408199	6,621055	8,843688	11,07174	13,31262	15,55901	16,76352	17,96542	20,11358	22,77328	34,92647	162,0746
Leistung in mW	18,164	36,296	54,372	72,368	90,32	108,168	125,972	134,22	142,496	143,684	142,272	103,36	24,68
Unsicherheit Leistung in mW	0,291152	0,583861	0,88878	1,172713	1,481301	1,753666	2,056503	2,087462	2,189688	0,988728	1,044	3,280271	0,235959
Unsicherheit Leistung in %	1,602904	1,60861	1,634629	1,620485	1,640058	1,621243	1,632508	1,555254	1,536666	0,688127	0,733806	3,173637	0,956074

### Messung 1 – Niedrig

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1750
Strom in mA	16,88	16,77	16,71	16,64	16,44	16,31	16,11	15,71	14,55	11,44	8,46

### Messung 2 – Niedrig

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1750
Strom in mA	16,78	16,65	16,52	16,53	16,44	16,34	16,04	15,54	14,22	11,14	8,44

### Messung 3 – Niedrig

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1750
Strom in mA	16,82	16,73	16,59	16,45	16,36	16,3	16,03	15,52	14,03	11,14	8,47

### Messung 4 – Niedrig

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1750
Strom in mA	16,81	16,72	16,6	16,55	16,4	16,32	16,05	15,55	14,19	11,13	8,44

### Messung 5 – Niedrig

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1750
Strom in mA	16,78	16,74	16,55	16,61	16,36	16,29	16,03	15,55	14,42	11,18	8,42

### Mittelwert – Niedrig

Mittelwert in mA	16,814	16,722	16,594	16,556	16,4	16,312	16,052	15,574	14,282	11,206	8,446
(xi - x)^2	0,004356	0,002304	0,013456	0,007056	0,0016	4E-06	0,003364	0,018496	0,071824	0,054756	0,000196
	0,001156	0,005184	0,005476	0,000676	0,0016	0,000784	0,000144	0,001156	0,003844	0,004356	3,6E-05
	3,6E-05	6,4E-05	1,6E-05	0,011236	0,0016	0,000144	0,000484	0,002916	0,063504	0,004356	0,000576
	1,6E-05	4E-06	3,6E-05	3,6E-05	0	6,4E-05	4E-06	0,000576	0,008464	0,005776	3,6E-05
	0,001156	0,000324	0,001936	0,002916	0,0016	0,000484	0,000484	0,000576	0,019044	0,000676	0,000676
Standardabweichung in mA	0,01833	0,019849	0,032342	0,033106	0,017889	0,008602	0,014967	0,034438	0,091291	0,059127	0,008718
Unsicherheit in mA	0,03833	0,039849	0,052342	0,053106	0,037889	0,028602	0,034967	0,054438	0,111291	0,079127	0,028718
Unsicherheit in %	0,227967	0,238305	0,315427	0,320765	0,231028	0,175345	0,217833	0,349546	0,779238	0,706113	0,340017

Widerstand in Ohm	11,89485	23,92058	36,15765	48,32085	60,97561	73,56547	87,21655	96,31437	112,0291	151,7044	207,1987
Leistung in mW	3,3628	6,6888	9,9564	13,2448	16,4	19,5744	22,4728	23,361	22,8512	19,0502	14,7805
Unsicherheit Leistung in mW	0,007666	0,01594	0,031405	0,042485	0,037889	0,034323	0,048953	0,081658	0,178065	0,134516	0,050256
Unsicherheit Leistung in %	0,227967	0,238305	0,315427	0,320765	0,231028	0,175345	0,217833	0,349546	0,779238	0,706113	0,340017

## vii. Messdaten Windenergie: Versuch 1

### Messung 1

Winkel in °	0	15	30	45	60	75	90
Leerlaufspannung in mV	526	1214	1455	1941	3030	3716	4010
Kurzschlussstrom in mA	26,71	62,2	74,5	96,6	127,7	107,1	11,87

### Messung 2

Winkel in °	0	15	30	45	60	75	90
Leerlaufspannung in mV	541	1385	1709	2314	2946	3835	4150
Kurzschlussstrom in mA	28,2	70,7	88,4	110,5	124,2	93,2	39,2

### Messung 3

Winkel in °	0	15	30	45	60	75	90
Leerlaufspannung in mV	498	1054	1556	2127	2825	3639	4080
Kurzschlussstrom in mA	20,7	55,7	79,9	100,4	123,2	105,9	22,5

### Messung 4

Winkel in °	0	15	30	45	60	75	90
Leerlaufspannung in mV	511	1153	1541	2044	2646	3846	4070
Kurzschlussstrom in mA	29,3	59,2	78,8	100,1	118,1	95,7	30,5

### Messung 5

Winkel in °	0	15	30	45	60	75	90
Leerlaufspannung in mV	505	1059	1403	2016	2655	3694	4120
Kurzschlussstrom in mA	23,3	55,6	72,3	98,5	118,6	101,6	33,1

## Mittelwert

Mittelwert in mV	516,2	1173	1532,8	2088,4	2820,4	3746	4086
$(x_i - \bar{x})^2$	96,04	1681	6052,84	21726,76	43932,16	900	5776
	615,04	44944	31046,44	50895,36	15775,36	7921	4096
	331,24	14161	538,24	1489,96	21,16	11449	36
	27,04	400	67,24	1971,36	30415,36	10000	256
	125,44	12996	16848,04	5241,76	27357,16	2704	1156
Standartabweichung in mV	7,729166	60,90238	52,22681	63,76723	76,64894	40,60419	23,79075
Unsicherheit in mV	7,749166	60,92238	52,24681	63,78723	76,66894	40,62419	23,81075
Unsicherheit in %	1,501194	5,193724	3,408586	3,054359	2,718371	1,084468	0,58274
Mittelwert in mA	25,642	60,68	78,78	101,22	122,36	100,7	27,434
$(x_i - \bar{x})^2$	1,140624	2,3104	18,3184	21,3444	28,5156	40,96	242,2381
	6,543364	100,4004	92,5444	86,1184	3,3856	56,25	138,4388
	24,42336	24,8004	1,2544	0,6724	0,7056	27,04	24,34436
	13,38096	2,1904	0,0004	1,2544	18,1476	25	9,400356
	5,484964	25,8064	41,9904	7,3984	14,1376	0,81	32,10356
Standartabweichung in mA	1,596454	2,78844	2,77586	2,416485	1,801277	2,73916	4,725067
Unsicherheit in mA	1,616454	2,80844	2,79586	2,436485	1,821277	2,75916	4,745067
Unsicherheit in %	6,303929	4,62828	3,548947	2,407118	1,488458	2,739981	17,2963

## viii. Messdaten Windenergie: Versuch 2

### Messung 1

Windgeschwindigkeit in m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leerlaufspannung in mV	0	0	1361	1659	2108	2501	2848	3112	3505	3778
Kurzschlussstrom in mA	0	0	0	12,05	25,55	38,62	52,2	63,1	82,4	99,8

### Messung 2

Windgeschwindigkeit in m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leerlaufspannung in mV	0	0	1375	1693	2094	2496	2823	3118	3488	3816
Kurzschlussstrom in mA	0	0	0	13,31	25,78	39,4	51,4	64,2	81,6	105,5

### Messung 3

Windgeschwindigkeit in m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leerlaufspannung in mV	0	0	1362	1697	2091	2473	2877	3128	3510	3799
Kurzschlussstrom in mA	0	0	0	14,56	25,75	39,13	54,5	62,2	80,9	102,1

### Messung 4

Windgeschwindigkeit in m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leerlaufspannung in mV	0	0	1378	1691	2089	2456	2866	3119	3498	3801
Kurzschlussstrom in mA	0	0	0	13,3	25,55	38,9	54,4	63,6	83,4	102,5

### Messung 5

Windgeschwindigkeit in m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leerlaufspannung in mV	0	0	1369	1689	2101	2503	2841	3119	3491	3805
Kurzschlussstrom in mA	0	0	0	14,62	25,64	38,84	52,8	63,7	82,1	101,1

### Mittelwert

Mittelwert in mV	0	0	1369	1685,8	2096,6	2485,8	2851	3119,2	3498,4	3799,8
(xi - x)^2	0	0	64	718,24	129,96	231,04	9	51,84	43,56	475,24
	0	0	36	51,84	6,76	104,04	784	1,44	108,16	262,44
	0	0	49	125,44	31,36	163,84	676	77,44	134,56	0,64
	0	0	81	27,04	57,76	888,04	225	0,04	0,16	1,44
	0	0	0	10,24	19,36	295,84	100	0,04	54,76	27,04
Standartabweichung in mV	0	0	3,391165	6,829348	3,501428	9,172786	9,471008	2,557342	4,130375	6,19193
Unsicherheit in mV	0,02	0,02	3,411165	6,849348	3,521428	9,192786	9,491008	2,577342	4,150375	6,21193
Unsicherheit in %	#DIV/0!	#DIV/0!	0,249172	0,406297	0,167959	0,369812	0,332901	0,082628	0,118636	0,16348
Mittelwert in mA	0	0	0	13,568	25,654	38,978	53,06	63,36	82,08	102,2
(xi - x)^2	0	0	0	2,304324	0,010816	0,128164	0,7396	0,0676	0,1024	5,76
	0	0	0	0,066564	0,015876	0,178084	2,7556	0,7056	0,2304	10,89
	0	0	0	0,984064	0,009216	0,023104	2,0736	1,3456	1,3924	0,01
	0	0	0	0,071824	0,010816	0,006084	1,7956	0,0576	1,7424	0,09
	0	0	0	1,106704	0,000196	0,019044	0,0676	0,1156	0,0004	1,21
Standartabweichung in mA	0	0	0	0,476103	0,048436	0,133132	0,60959	0,338526	0,416413	0,947629
Unsicherheit in mA	0,02	0,02	0,02	0,496103	0,068436	0,153132	0,62959	0,358526	0,436413	0,967629
Unsicherheit in %	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	3,656419	0,266764	0,392867	1,186562	0,565856	0,531693	0,946799

### ix. Messdaten Windenergie: Versuch 3

#### Messung 1 – Hoch

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Strom in mA	96,1	104,4	120,6	123,6	123,1	120,2	113,6	109,6	99,1	90,4	82,1	72,3	62,6	52,5	41,6	31,05

## Messung 2 – Hoch

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Strom in mA	97,1	108,3	120,5	124,5	125,2	120,9	113,4	106,8	99,8	90,1	82,1	71,7	61,7	52,7	42,2	31,35

## Messung 3 – Hoch

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Strom in mA	98,1	105,3	120,4	124,6	123,6	120,8	114,2	107,7	97,3	90,4	81,6	71,8	61,2	52,7	41,8	31,27

## Messung 4 – Hoch

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Strom in mA	98,8	102,7	121,1	124,4	122,5	120,3	113,8	106,4	99,1	90,7	80,9	71,2	62,3	51,9	43,1	31,14

## Messung 5 – Hoch

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Strom in mA	97,7	102,9	120,5	124,5	125,1	120,1	112,9	108,8	97,8	90,1	83,1	72,3	61,2	52,7	43,1	31,15

## Mittelwert – Hoch

Mittelwert in mA	97,56	104,72	120,62	124,32	123,9	120,46	113,58	107,86	98,62	90,34	81,96	71,86	61,8	52,5	42,36	31,192
(xi - x)^2	2,1316	0,1024	0,0004	0,5184	0,64	0,0676	0,0004	3,0276	0,2304	0,0036	0,0196	0,1936	0,64	0	0,5776	0,020164
	0,2116	12,8164	0,0144	0,0324	1,69	0,1936	0,0324	1,1236	1,3924	0,0576	0,0196	0,0256	0,01	0,04	0,0256	0,024964
	0,2916	0,3364	0,0484	0,0784	0,09	0,1156	0,3844	0,0256	1,7424	0,0036	0,1296	0,0036	0,36	0,04	0,3136	0,006084
	1,5376	4,0804	0,2304	0,0064	1,96	0,0256	0,0484	2,1316	0,2304	0,1296	1,1236	0,4356	0,25	0,36	0,5476	0,002704
	0,0196	3,3124	0,0144	0,0324	1,44	0,1296	0,4624	0,8836	0,6724	0,0576	1,2996	0,1936	0,36	0,04	0,5476	0,001764
Standardabweichung in mA	0,457821	1,016071	0,124097	0,182757	0,539444	0,163095	0,215407	0,599667	0,461952	0,11225	0,36	0,206398	0,284605	0,154919	0,317175	0,052764
Unsicherheit in mA	0,477821	1,036071	0,144097	0,202757	0,559444	0,183095	0,235407	0,619667	0,481952	0,13225	0,38	0,226398	0,304605	0,174919	0,337175	0,072764
Unsicherheit in %	0,489771	0,989372	0,119463	0,163093	0,451529	0,151997	0,207261	0,57451	0,488696	0,146391	0,463641	0,315054	0,492888	0,33318	0,795975	0,233277
Widerstand in Ohm	2,050021	3,81971	4,974299	6,435006	8,071025	9,961813	12,32611	14,83404	18,25188	22,13859	26,84236	33,39827	42,0712	53,33333	70,82153	102,5904
Leistung in mW	19,512	41,888	72,372	99,456	123,9	144,552	159,012	172,576	177,516	180,68	180,312	172,464	160,68	147	127,08	99,8144
Unsicherheit Leistung in mW	0,095564	0,414428	0,086458	0,162205	0,559444	0,219714	0,329569	0,991467	0,867514	0,264499	0,836	0,543354	0,791973	0,489774	1,011525	0,232844
Unsicherheit Leistung in %	0,489771	0,989372	0,119463	0,163093	0,451529	0,151997	0,207261	0,57451	0,488696	0,146391	0,463641	0,315054	0,492888	0,33318	0,795975	0,233277

## Messung 1 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Strom in mA	38,4	39,5	43,3	49,2	49,9	46,6	42,2	35,29	28,11	20,18	11,79

## Messung 2 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Strom in mA	38,1	39,1	44,6	49,4	51,4	47,3	41,8	36,15	28,89	20,58	11,91

## Messung 3 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Strom in mA	39,7	39,2	43,7	50,7	50,4	47,4	42,1	35,78	28,19	19,91	11,89

## Messung 4 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Strom in mA	39,4	39,2	44,1	50,2	51,7	47,4	42,5	35,28	28,13	20,66	11,98

## Messung 5 – Mittel

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Strom in mA	39,7	40,1	43,6	50,8	51,4	47,2	41,8	35,82	28,22	20,26	11,79

## Mittelwert – Mittel

Mittelwert in mA	39,06	39,42	43,86	50,06	50,96	47,18	42,08	35,664	28,308	20,318	11,872
(xi - x)^2	0,4356	0,0064	0,3136	0,7396	1,1236	0,3364	0,0144	0,139876	0,039204	0,019044	0,006724
	0,9216	0,1024	0,5476	0,4356	0,1936	0,0144	0,0784	0,236196	0,338724	0,068644	0,001444
	0,4096	0,0484	0,0256	0,4096	0,3136	0,0484	0,0004	0,013456	0,013924	0,166464	0,000324
	0,1156	0,0484	0,0576	0,0196	0,5476	0,0484	0,1764	0,147456	0,031684	0,116964	0,011664
	0,4096	0,4624	0,0676	0,5476	0,1936	0,0004	0,0784	0,024336	0,007744	0,003364	0,006724
Standardabweichung in mA	0,338526	0,182757	0,224944	0,328024	0,344384	0,149666	0,131909	0,167529	0,146847	0,136836	0,036661
Unsicherheit in mA	0,358526	0,202757	0,244944	0,348024	0,364384	0,169666	0,151909	0,187529	0,166847	0,156836	0,056661
Unsicherheit in %	0,917886	0,51435	0,558469	0,695215	0,715038	0,359615	0,361001	0,525822	0,589398	0,771905	0,477263

Widerstand in Ohm	5,120328	10,14713	13,67989	15,98082	19,62323	25,43451	33,26996	44,86317	63,58627	98,43489	185,31
Leistung in mW	7,812	15,768	26,316	40,048	50,96	56,616	58,912	57,0624	50,9544	40,636	26,1184
Unsicherheit Leistung in mW	0,071705	0,081103	0,146967	0,27842	0,364384	0,2036	0,212673	0,300047	0,300324	0,313671	0,124653
Unsicherheit Leistung in %	0,917886	0,51435	0,558469	0,695215	0,715038	0,359615	0,361001	0,525822	0,589398	0,771905	0,477263

## Mittelwert – Niedrig

Windgeschwindigkeit ist zu niedrig, deshalb sind alle Werte auf null.

Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Widerstand in Ohm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leistung in mW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## x. Messdaten Windenergie: Versuch 4

## Messung 1

Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	117,3	122,4	128	127,5	124,2	120,3	111,6	106,7	95,9	81,5
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Spannung in mV	196,8	394	601	799	1000	1197	1402	1498	1598	1696
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Strom in mA	84,1	77,5	78,8	76,6	71,3	65,5	54,1	48,1	36,4	20,2
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	499	699	919	1112	1307	1499	1690	1773	1845	1905
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	78,3	77,8	77,7	77,5	77,4	77,2	75,6	72,5	65,5	53,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	378,3	584	808	997	1192	1385	1577	1665	1747	1824
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	39	44,6	50,3	50	46,8	43,1	36	34,2	30,4	28,2

## Messung 2

Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	115,7	120,5	127,7	124,1	123,2	118,7	111,1	104,9	92,8	77,5
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Spannung in mV	197,3	394	593	811	1014	1202	1396	1489	1596	1693
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Strom in mA	83,1	74,7	77,8	74,5	72	64	53,9	46	33,1	16,3
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	490	684	886	1105	1306	1506	1674	1757	1839	1890
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	78,1	76,4	75,5	77,3	76,7	76,6	74,7	70,8	62,7	50,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	381	584	771	998	1202	1371	1577	1653	1738	1808
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	37,6	44,1	52,2	46,8	46,5	42,1	36,4	34,1	30,1	27,2

## Messung 3

Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	115,4	121	128,3	127	123,1	118	110,4	102,5	91,3	77,2
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Spannung in mV	198,6	401	595	791	994	1195	1402	1497	1595	1681
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Strom in mA	81,8	75,9	79,6	76,4	70,5	63,1	52,9	43,9	31,4	16,2
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	485	701	907	1103	1298	1499	1688	1767	1830	1878
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	76,8	76,7	76,6	76,3	76,2	76	73,5	69,2	60,8	50,2
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	372,8	588	799	990	1189	1380	1573	1658	1739	1803
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	38,6	44,3	51,7	50,7	46,9	42	36,9	33,3	30,5	27

## Messung 4

Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	117,2	120,8	129,1	128,5	125,2	119,5	111,9	107,1	97,3	80,3
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Spannung in mV	198,4	402	601	804	998	1193	1394	1498	1601	1699
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Strom in mA	84,8	75,6	79,3	76,5	73,5	64,8	55,1	47,2	35,1	18,9
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	493	705	911	1115	1306	1495	1682	1778	1850	1907
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	77,4	77,2	77,3	77,1	77	76,7	75,8	72,5	63,9	52,4
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	380	585	793	1005	1185	1383	1581	1655	1755	1839
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	39,8	43,6	51,8	51,4	48,2	42,8	36,1	34,6	33,4	27,9

## Messung 5

Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1700
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	117,3	120,5	128,1	127,5	125,8	119,3	112	106,1	95,1	79,8
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Spannung in mV	197,6	403	594	807	992	1189	1395	1498	1600	1700
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Strom in mA	84,3	75,2	79,3	76,7	73,1	64,5	54,6	47,5	34,8	18,5
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	493	702	908	1118	1303	1491	1682	1770	1844	1903
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	77,6	77,5	77,4	77,2	77,1	76,9	75,3	71,8	63,9	51,5
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	378	580	795	1004	1190	1377	1571	1662	1748	1826
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	39,7	43	50,7	50,3	48,7	42,4	36,7	34,3	31,2	28,3

# Mittelwert

Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mA	116,58	121,04	128,24	126,92	124,3	119,16	111,4	105,46	94,48	79,26
	(xi - x)^2	0,5184	1,8496	0,0576	0,3364	0,01	1,2996	0,04	1,5376	2,0164	5,0176
		0,7744	0,2916	0,2916	7,9524	1,21	0,2116	0,09	0,3136	2,8224	3,0976
		1,3924	0,0016	0,0036	0,0064	1,44	1,3456	1	8,7616	10,1124	4,2436
		0,3844	0,0576	0,7396	2,4964	0,81	0,1156	0,25	2,6896	7,9524	1,0816
		0,5184	0,2916	0,0196	0,3364	2,25	0,0196	0,36	0,4096	0,3844	0,2916
	Standartabweichung in mA	0,423556	0,352987	0,235797	0,745922	0,53479	0,386782	0,294958	0,82801	1,079074	0,828613
	Unsicherheit in mA	0,443556	0,372987	0,255797	0,765922	0,55479	0,406782	0,314958	0,84801	1,099074	0,848613
	Unsicherheit in %	0,380474	0,308152	0,199467	0,603469	0,446331	0,341374	0,282727	0,804106	1,163287	1,07067
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Mittelwert in mV	197,74	398,8	596,8	802,4	999,6	1195,2	1397,8	1496	1598	1693,8
	(xi - x)^2	0,8836	23,04	17,64	11,56	0,16	3,24	17,64	4	0	4,84
		0,1936	23,04	14,44	73,96	207,36	46,24	3,24	49	4	0,64
		0,7396	4,84	3,24	129,96	31,36	0,04	17,64	1	9	163,84
		0,4356	10,24	17,64	2,56	2,56	4,84	14,44	4	9	27,04
		0,0196	17,64	7,84	21,16	57,76	38,44	7,84	4	4	38,44
	Standartabweichung in mV	0,337046	1,984943	1,74356	3,458323	3,867816	2,154066	1,74356	1,760682	1,140175	3,426368
	Unsicherheit in mV	0,357046	2,004943	1,76356	3,478323	3,887816	2,174066	1,76356	1,780682	1,160175	3,446368
	Unsicherheit in %	0,180563	0,502744	0,295503	0,43349	0,388937	0,1819	0,126167	0,11903	0,072602	0,20347
Gerät 2 - Einstellbarer Last	Mittelwert in mA	83,62	75,78	78,96	76,14	72,08	64,38	54,12	46,54	34,16	18,02
	(xi - x)^2	0,2304	2,9584	0,0256	0,2116	0,6084	1,2544	0,0004	2,4336	5,0176	4,7524
		0,2704	1,1664	1,3456	2,6896	0,0064	0,1444	0,0484	0,2916	1,1236	2,9584
		3,3124	0,0144	0,4096	0,0676	2,4964	1,6384	1,4884	6,9696	7,6176	3,3124
		1,3924	0,0324	0,1156	0,1296	2,0164	0,1764	0,9604	0,4356	0,8836	0,7744
		0,4624	0,3364	0,1156	0,3136	1,0404	0,0144	0,2304	0,9216	0,4096	0,2304
	Standartabweichung in mA	0,532353	0,474763	0,317175	0,413038	0,555338	0,401746	0,369324	0,743371	0,867525	0,7755
	Unsicherheit in mA	0,552353	0,494763	0,337175	0,433038	0,575338	0,421746	0,389324	0,763371	0,887525	0,7955
	Unsicherheit in %	0,660552	0,652894	0,42702	0,568739	0,798193	0,655089	0,719371	1,640246	2,598142	4,414539
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mV	492	698,2	906,2	1110,6	1304	1498	1683,2	1769	1841,6	1896,6
	(xi - x)^2	49	0,64	163,84	1,96	9	1	46,24	16	11,56	70,56
		4	201,64	408,04	31,36	4	64	84,64	144	6,76	43,56
		49	7,84	0,64	57,76	36	1	23,04	4	134,56	345,96
		1	46,24	23,04	19,36	4	9	1,44	81	70,56	108,16
		1	14,44	3,24	54,76	1	49	1,44	1	5,76	40,96
	Standartabweichung in mV	2,280351	3,679674	5,471746	2,874022	1,643168	2,48998	2,8	3,507136	3,385262	5,519058
	Unsicherheit in mV	2,300351	3,699674	5,491746	2,894022	1,663168	2,50998	2,82	3,527136	3,405262	5,539058
	Unsicherheit in %	0,467551	0,529887	0,606019	0,260582	0,127544	0,167555	0,167538	0,199386	0,184908	0,292052
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mA	77,64	77,12	76,9	77,08	76,88	76,68	74,98	71,36	63,36	51,54
	(xi - x)^2	0,4356	0,4624	0,64	0,1764	0,2704	0,2704	0,3844	1,2996	4,5796	3,0976
		0,2116	0,5184	1,96	0,0484	0,0324	0,0064	0,0784	0,3136	0,4356	1,5376
		0,7056	0,1764	0,09	0,6084	0,4624	0,4624	2,1904	4,6656	6,5536	1,7956
		0,0576	0,0064	0,16	0,0004	0,0144	0,0004	0,6724	1,2996	0,2916	0,7396
		0,0016	0,1444	0,25	0,0144	0,0484	0,0484	0,1024	0,1936	0,2916	0,0016
	Standartabweichung in mA	0,265707	0,255734	0,3937	0,205913	0,20347	0,198494	0,414005	0,623378	0,779487	0,598832
	Unsicherheit in mA	0,285707	0,275734	0,4137	0,225913	0,22347	0,218494	0,434005	0,643378	0,799487	0,618832
	Unsicherheit in %	0,367989	0,357539	0,537972	0,293088	0,290674	0,284943	0,578827	0,901595	1,261817	1,200683
Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mV	378,02	584,2	793,2	998,8	1191,6	1379,2	1575,8	1658,6	1745,4	1820
	(xi - x)^2	0,0784	0,04	219,04	3,24	0,16	33,64	1,44	40,96	2,56	16
		8,8804	0,4	492,84	0,64	108,16	67,24	1,44	31,36	54,76	144
		27,2484	14,44	33,64	77,44	6,76	0,64	7,84	0,36	40,96	289
		3,9204	0,64	0,04	38,44	43,56	14,44	27,04	12,96	92,16	361
		0,0004	17,64	3,24	27,04	2,56	4,84	23,04	11,56	6,76	36
	Standartabweichung in mV	1,416474	1,280625	6,118823	2,709243	2,839014	2,457641	1,74356	2,204541	3,140064	6,503845
	Unsicherheit in mV	1,436474	1,300625	6,138823	2,729243	2,859014	2,477641	1,76356	2,224541	3,160064	6,523845
	Unsicherheit in %	0,38	0,222633	0,773931	0,273252	0,239931	0,179643	0,111915	0,134122	0,181051	0,358453

Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mA	38,94	43,92	51,34	49,84	47,42	42,48	36,42	34,1	31,12	27,72
	$(x_i - \bar{x})^2$	0,0036	0,4624	1,0816	0,0256	0,3844	0,3844	0,1764	0,01	0,5184	0,2304
		1,7956	0,0324	0,7396	9,2416	0,8464	0,1444	0,0004	5,05E-29	1,0404	0,2704
		0,1156	0,1444	0,1296	0,7396	0,2704	0,2304	0,2304	0,64	0,3844	0,5184
		0,7396	0,1024	0,2116	2,4336	0,6084	0,1024	0,1024	0,25	5,1984	0,0324
		0,5776	0,8464	0,4096	0,2116	1,6384	0,0064	0,0784	0,04	0,0064	0,3364
	Standardabweichung in mA	0,401995	0,28178	0,358608	0,795362	0,432897	0,208327	0,171464	0,216795	0,597829	0,263439
	Unsicherheit in mA	0,421995	0,30178	0,378608	0,815362	0,452897	0,228327	0,191464	0,236795	0,617829	0,283439
	Unsicherheit in %	1,083706	0,687113	0,737453	1,635958	0,955076	0,537492	0,525712	0,694413	1,985313	1,022506

## Ergebniss

Verbraucher	Leistung in mW	23,316	48,416	76,944	101,536	124,3	142,992	155,96	158,19	151,168	134,742
	Unsicherheit Leistung in mW	0,088711	0,149195	0,153478	0,612738	0,55479	0,488138	0,440941	1,272014	1,758518	1,442643
	Unsicherheit Leistung in %	0,380474	0,308152	0,199467	0,603469	0,446331	0,341374	0,282727	0,804106	1,163287	1,07067
Last	Leistung in mW	16,53502	30,22106	47,12333	61,09474	72,05117	76,94698	75,64894	69,62384	54,58768	30,52228
	Unsicherheit Leistung in mW	0,109222	0,197312	0,201226	0,347469	0,575108	0,504071	0,544197	1,142003	1,418265	1,347418
	Unsicherheit Leistung in %	0,660552	0,652894	0,42702	0,568739	0,798193	0,655089	0,719371	1,640246	2,598142	4,414539
Solar	Leistung in mW	38,19888	53,84518	69,68678	85,60505	100,2515	114,8666	126,2063	126,2358	116,6838	97,75076
	Unsicherheit Leistung in mW	0,140568	0,192518	0,374895	0,250899	0,291405	0,327305	0,730517	1,138135	1,472335	1,173677
	Unsicherheit Leistung in %	0,367989	0,357539	0,537972	0,293088	0,290674	0,284943	0,578827	0,901595	1,261817	1,200683
Wind	Leistung in mW	14,7201	25,65806	40,72289	49,78019	56,50567	58,58842	57,39064	56,55826	54,31685	50,4504
	Unsicherheit Leistung in mW	0,159523	0,1763	0,300312	0,814383	0,539672	0,314908	0,301709	0,392748	1,078359	0,515859
	Unsicherheit Leistung in %	1,083706	0,687113	0,737453	1,635958	0,955076	0,537492	0,525712	0,694413	1,985313	1,022506
Lampen	Leistung in mW	6,780981	18,19494	29,82067	40,44126	52,24883	66,04502	80,31106	88,56616	96,58032	104,2197
Energiekonsum	Leistung in mW	23,316	48,416	76,944	101,536	124,3	142,992	155,96	158,19	151,168	134,742
Energieerzeugung	Leistung in mW	52,91898	79,50325	110,4097	135,3852	156,7572	173,4551	183,597	182,7941	171,0006	148,2012

## xi. Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 1

### Bestimmung von Energie- und Faraday-Wirkungsgrad des Elektrolyseurs

#### Messung 1

Spannung in mV	586	607	628	668	726
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	10	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	10	7	4

#### Messung 2

Spannung in mV	580	610	619	689	752
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	11	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	9	7	4

#### Messung 3

Spannung in mV	591	615	624	675	721
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	6	8	10	12	16
$\Delta V$ in ml	14	12	10	8	4

#### Messung 4

Spannung in mV	585	620	626	669	715
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	10	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	10	7	4

## Messung 5

Spannung in mV	590	617	631	675	720
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	10	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	10	7	4

## Mittelwert

Mittelwert in mV	586,4	613,8	625,6	675,2	726,8
$(x_i - \bar{x})^2$	0,16	46,24	5,76	51,84	0,64
	40,96	14,44	43,56	190,44	635,04
	21,16	1,44	2,56	0,04	33,64
	1,96	38,44	0,16	38,44	139,24
	12,96	10,24	29,16	0,04	46,24
Standartabweichung in mV	1,96468827	2,35372046	2,014944	3,746999	6,537584
Unsicherheit in mV	1,98468827	2,37372046	2,034944	3,766999	6,557584
Unsicherheit in %	0,33845298	0,38672539	0,325279	0,557909	0,902254

Mittelwert in ml	14,8	12	9,8	7,2	4
$(x_i - \bar{x})^2$	0,04	0	0,04	0,04	0
	0,04	0	0,64	0,04	0
	0,64	0	0,04	0,64	0
	0,04	0	0,04	0,04	0
	0,04	0	0,04	0,04	0
Standartabweichung in ml	0,2	0	0,2	0,2	0
Unsicherheit in ml	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4
Unsicherheit in %	4,05405405	3,33333333	6,122449	8,333333	10

## Ergebniss

Leistung in mW	293,2	245,52	187,68	135,04	72,68
Gaskonsum in ml/min	4,93333333	4	3,266667	2,4	1,333333
Elektrische Energie in J	52,776	44,1936	33,7824	24,3072	13,0824
Chemische Energie in J	173,375932	140,57508	114,803	84,34505	46,85836
Energiewirkungsgrad in %	30,4402113	31,43772	29,42641	28,81876	27,91903
Theoretisch herstellbare Gasmenge in ml	11,3864188	9,109135	6,831851	4,554568	2,277284
Faraday-Wirkungsgrad in %	76,9352619	75,9094584	69,71277	63,25788	56,93209

## Spannung-Strom-Kennlinie des Elektrolyseurs

### Messung 1

Spannung in mV	950	800	700	599	520	450	390	313	220
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 2

Spannung in mV	920	800	725	630	540	480	400	320	250
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 3

Spannung in mV	920	815	710	600	515	450	400	320	215
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 4

Spannung in mV	940	830	700	595	525	455	390	322	210
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 5

Spannung in mV	910	820	720	605	530	450	400	320	220
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

## Mittelwert

Mittelwert in mV	928	813	711	605,8	526	457	396	319	223
$(x_i - \bar{x})^2$	484	169	121	46,24	36	49	36	36	9
	64	169	196	585,64	196	529	16	1	729
	64	4	1	33,64	121	49	16	1	64
	144	289	121	116,64	1	4	36	9	169
	324	49	81	0,64	16	49	16	1	9
Standardabweichung in mV	7,348469	5,830952	5,09902	6,256197	4,301163	5,830952	2,44949	1,549193	7
Unsicherheit in mV	7,368469	5,850952	5,11902	6,276197	4,321163	5,850952	2,46949	1,569193	7,02
Unsicherheit in %	0,794016	0,719674	0,719975	1,036018	0,821514	1,280296	0,623609	0,49191	3,147982
Widerstand in Ohm	#DIV/0!	8,13	3,555	1,5145	0,876667	0,57125	0,396	0,265833	0,159286
Leistung in mW	0	81,3	142,2	242,32	315,6	365,6	396	382,8	312,2
Unsicherheit Leistung in mW	0	0,585095	1,023804	2,510479	2,592698	4,680762	2,46949	1,883032	9,828
Unsicherheit Leistung in %	#DIV/0!	0,719674	0,719975	1,036018	0,821514	1,280296	0,623609	0,49191	3,147982

## xii. Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 2

### Bestimmung von MPP Solar

#### Messung 1

Gerät 1 - Last		Spannung in mV	200	240	280	320	360	400	440	480	520	540
Gerät 1 - Last		Strom in mA	76,13	74,41	75,2	70,2	64,1	55,9	45,1	32,7	14,14	5,67
Gerät 2 - Elektrolyseur		Spannung in mV	1511	1510	1507	1506	1504	1501	1496	1489	1478	1459

#### Messung 2

Gerät 1 - Last		Spannung in mV	200	240	280	320	360	400	440	480	520	540
Gerät 1 - Last		Strom in mA	76,51	76,5	73,9	68,5	61,4	53,7	41,9	28,32	10,14	5,55
Gerät 2 - Elektrolyseur		Spannung in mV	1511	1510	1510	1507	1505	1499	1494	1484	1470	1460

#### Messung 3

Gerät 1 - Last		Spannung in mV	200	240	280	320	360	400	440	480	520	540
Gerät 1 - Last		Strom in mA	77,9	75,5	72,2	66,6	59	49,2	36,42	22,62	9,61	5,14
Gerät 2 - Elektrolyseur		Spannung in mV	1511	1510	1508	1507	1505	1499	1494	1484	1478	1459

#### Messung 4

Gerät 1 - Last		Spannung in mV	200	240	280	320	360	400	440	480	520	540
Gerät 1 - Last		Strom in mA	76,4	75,3	71,3	65,8	57,6	48,8	36,65	22,83	10,19	5,61
Gerät 2 - Elektrolyseur		Spannung in mV	1511	1510	1508	1507	1504	1499	1495	1484	1472	1459

## Messung 5

Gerät 1 - Last	Spannung in mV	200	240	280	320	360	400	440	480	520	540
Gerät 1 - Last	Strom in mA	77,6	75	71,1	65,2	55,8	46,1	33,99	19,72	9,98	5,21
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1511	1510	1509	1507	1505	1499	1494	1484	1475	1459

## Mittelwert

Gerät 1 - Last	Mittelwert in mA	76,908	75,342	72,74	67,26	59,58	50,74	38,812	25,238	10,812	5,436
	$(x_i - x)^2$	0,605284	0,868624	6,0516	8,6436	20,4304	26,6256	39,53894	55,68144	11,07558	0,054756
		0,158404	1,340964	1,3456	1,5376	3,3124	8,7616	9,535744	9,498724	0,451584	0,012996
		0,984064	0,024964	0,2916	0,4356	0,3364	2,3716	5,721664	6,853924	1,444804	0,087616
		0,258064	0,001764	2,0736	2,1316	3,9204	3,7636	4,674244	5,798464	0,386884	0,030276
		0,478864	0,116964	2,6896	4,2436	14,2884	21,5296	23,25168	30,44832	0,692224	0,051076
	Standardabweichung in mA	0,352468	0,343022	0,78905	0,921737	1,454098	1,775556	2,033744	2,32681	0,838185	0,108793
	Unsicherheit in mA	0,372468	0,363022	0,80905	0,941737	1,474098	1,795556	2,053744	2,34681	0,858185	0,128793
Unsicherheit in %	0,484304	0,481832	1,112249	1,400145	2,474148	3,538739	5,291518	9,298716	7,937338	2,369268	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mV	1511	1510	1508,4	1506,8	1504,6	1499,4	1494,6	1485	1474,6	1459,2
	$(x_i - x)^2$	0	0	1,96	0,64	0,36	2,56	1,96	16	11,56	0,04
		0	0	2,56	0,04	0,16	0,16	0,36	1	21,16	0,64
		0	0	0,16	0,04	0,16	0,16	0,36	1	11,56	0,04
		0	0	0,16	0,04	0,36	0,16	0,16	1	6,76	0,04
		0	0	0,36	0,04	0,16	0,16	0,36	1	0,16	0,04
	Standardabweichung in mV	0	0	0,509902	0,2	0,244949	0,4	0,4	1	1,6	0,2
	Unsicherheit in mV	0,02	0,02	0,529902	0,22	0,264949	0,42	0,42	1,02	1,62	0,22
Unsicherheit in %	0,001324	0,001325	0,03513	0,0146	0,017609	0,028011	0,028101	0,068687	0,10986	0,015077	

## Ergebniss

Last	Leistung in mW	15,3816	18,08208	20,3672	21,5232	21,4488	20,296	17,07728	12,11424	5,62224	2,93544
	Unsicherheit Leistung in mW	0,074494	0,087125	0,226534	0,301356	0,530675	0,718223	0,903647	1,126469	0,446256	0,069548
	Unsicherheit Leistung in %	0,484304	0,481832	1,112249	1,400145	2,474148	3,538739	5,291518	9,298716	7,937338	2,369268
Elektrolyseur	Leistung in mW	116,208	113,7664	109,721	101,3474	89,64407	76,07956	58,00842	37,47843	15,94338	7,932211
	Unsicherheit Leistung in mW	0,001538	0,001507	0,038545	0,014797	0,015786	0,021311	0,016301	0,025743	0,017515	0,001196
	Unsicherheit Leistung in %	0,001324	0,001325	0,03513	0,0146	0,017609	0,028011	0,028101	0,068687	0,10986	0,015077
Ganze System	Leistung in mW	131,5896	131,8485	130,0882	122,8706	111,0929	96,37556	75,0857	49,59267	21,56562	10,86765

# Bestimmung von Gasmenge

## Messung

Einstrahlung in W/m <sup>2</sup>	MPP Strom in mA	MPP Spannung in mV	Betriebszeit t in min	Volum H2 in ml				Volum O2 in ml			
				Start	Ende	$\Delta V$ in ml	$\Delta V/t$ in ml/min	Start	Ende	$\Delta V$ in ml	$\Delta V/t$ in ml/min
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35
200	76,908	1511	10	0	7	7	0,7	0	3,5	3,5	0,35

## Mittelwert

Mittelwert in ml	0,7			Mittelwert in ml	0,35	
$(x_i - x)^2$	1,2326E-32			$(x_i - x)^2$	3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
	1,2326E-32				3,08149E-33	
Standartabweichung in ml	3,70074E-17			Standartabweichung in ml	1,85037E-17	
Unsicherheit in ml	0,2			Unsicherheit in ml	0,2	
Unsicherheit in %	28,57142857			Unsicherheit in %	57,14285714	
Ergebniss:	0,7	ml/min H2		Ergebniss:	0,35	ml/min O2

### xiii. Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 3

## Bestimmung von MPP Wind

### Messung 1

Gerät 1 - Last	Spannung in mV	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720
Gerät 1 - Last	Strom in mA	36,49	35,16	33,28	32,05	30,92	29,98	28,45	26,61	25,56	23,49	21,52	20,42	18,78	17,06	15,38	13,78	12,49
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1493	1492	1491	1490	1489	1489	1488	1487	1486	1485	1483	1482	1480	1479	1477	1475	1473

### Messung 2

Gerät 1 - Last	Spannung in mV	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720
Gerät 1 - Last	Strom in mA	36,6	35,55	34,76	31,98	30,26	29,44	27,81	27,01	25,46	22,98	22,24	20,17	18,95	16,97	15,78	13,65	12,88
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1485	1486	1485	1485	1485	1484	1483	1482	1480	1480	1479	1477	1476	1475	1473	1471	1469

## Messung 3

Gerät 1 - Last	Spannung in mV	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720
Gerät 1 - Last	Strom in mA	37,7	36,18	33,76	32,64	31,12	29,57	27,85	26,93	25,76	23,53	22,42	20,63	18,87	16,81	15,98	13,67	12,54
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1490	1489	1488	1487	1487	1486	1485	1483	1482	1482	1481	1479	1478	1477	1475	1472	1470

## Messung 4

Gerät 1 - Last	Spannung in mV	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720
Gerät 1 - Last	Strom in mA	37,3	36,07	33,28	32,54	30,86	29,43	28,53	26,85	25,85	23,87	22,23	20,27	19,44	17,03	15,26	13,59	12,65
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1491	1490	1489	1489	1487	1487	1486	1485	1483	1482	1481	1479	1477	1476	1475	1472	1470

## Messung 5

Gerät 1 - Last	Spannung in mV	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720
Gerät 1 - Last	Strom in mA	36,17	35,33	34,13	32,76	30,27	30,27	28,53	26,32	25,33	22,93	21,89	20,79	18,91	17,14	15,57	13,98	12,51
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1491	1490	1489	1489	1488	1487	1486	1484	1483	1482	1480	1479	1477	1477	1474	1473	1471

## Mittelwert

Gerät 1 - Last	Mittelwert in mA	36,852	35,658	33,842	32,394	30,686	29,738	28,234	26,744	25,592	23,36	22,06	20,456	18,99	17,002	15,594	13,734	12,614
	(xi - x)^2	0,131044	0,248004	0,315844	0,118336	0,054756	0,058564	0,046656	0,017956	0,001024	0,0169	0,2916	0,001296	0,0441	0,003364	0,045796	0,002116	0,015376
		0,063504	0,011664	0,842724	0,171396	0,181476	0,088804	0,179776	0,070756	0,017424	0,1444	0,0324	0,081796	0,0016	0,001024	0,034596	0,007056	0,070756
		0,719104	0,272484	0,006724	0,060516	0,188356	0,028224	0,147456	0,034596	0,028224	0,0289	0,1296	0,030276	0,0144	0,036864	0,148896	0,004096	0,005476
		0,200704	0,169744	0,315844	0,021316	0,030276	0,094864	0,087616	0,011236	0,066564	0,2601	0,0289	0,034596	0,2025	0,000784	0,111556	0,020736	0,001296
		0,465124	0,107584	0,082944	0,133956	0,173056	0,283024	0,087616	0,179776	0,068644	0,1849	0,0289	0,111556	0,0064	0,019044	0,000576	0,060516	0,010816
	Standardabweichung in mA	0,281023	0,201182	0,27965	0,158984	0,177189	0,166355	0,165699	0,125363	0,095362	0,178213	0,159906	0,113912	0,115974	0,055263	0,130675	0,068746	0,072014
	Unsicherheit in mA	0,301023	0,221182	0,29965	0,178984	0,197189	0,186355	0,185699	0,145363	0,115362	0,198213	0,179906	0,133912	0,135974	0,075263	0,150675	0,088746	0,092014
	Unsicherheit in %	0,816843	0,620286	0,885438	0,552523	0,642603	0,626656	0,657712	0,543537	0,450776	0,848516	0,815531	0,654636	0,71603	0,442671	0,966238	0,646177	0,729458
	Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mV	1490	1489,4	1488,4	1488	1487,2	1486,6	1485,6	1484,2	1482,8	1482,2	1480,8	1479,2	1477,6	1476,8	1474,8	1472,6
(xi - x)^2		9	6,76	6,76	4	3,24	5,76	5,76	7,84	10,24	7,84	4,84	7,84	5,76	4,84	4,84	5,76	5,76
		25	11,56	11,56	9	4,84	6,76	6,76	4,84	8,4	4,84	3,24	4,84	2,56	3,24	3,24	2,56	2,56
		0	0,16	0,16	1	0,04	0,36	0,36	1,44	0,64	0,04	0,04	0,04	0,16	0,04	0,04	0,36	0,36
		1	0,36	0,36	1	0,04	0,16	0,16	0,64	0,04	0,04	0,04	0,04	0,36	0,64	0,04	0,36	0,36
		1	0,36	0,36	1	0,64	0,16	0,16	0,04	0,04	0,04	0,64	0,04	0,36	0,04	0,64	0,16	0,16
Standardabweichung in mV		1,341641	0,979796	0,979796	0,894427	0,663325	0,812404	0,812404	0,860233	0,969536	0,8	0,663325	0,8	0,678233	0,663325	0,663325	0,678233	0,678233
Unsicherheit in mV		1,361641	0,999796	0,999796	0,914427	0,683325	0,832404	0,832404	0,880233	0,989536	0,82	0,683325	0,82	0,698233	0,683325	0,683325	0,698233	0,698233
Unsicherheit in %		0,091385	0,067127	0,067173	0,061453	0,045947	0,055994	0,056031	0,059307	0,066734	0,055323	0,046146	0,055435	0,047255	0,046271	0,046333	0,047415	0,047479

## Ergebniss

Last	Leistung in mW	2,94816	4,27896	5,41472	6,4788	7,36464	8,32664	9,03488	9,62784	10,2368	10,2784	10,5888	10,63712	10,6344	10,2012	9,98016	9,33912	9,08208
	Unsicherheit Leistung in mW	0,024082	0,026542	0,047944	0,035797	0,047325	0,052179	0,059424	0,052331	0,046145	0,087214	0,086355	0,069634	0,076146	0,045158	0,096432	0,060347	0,06625
	Unsicherheit Leistung in %	0,816843	0,620286	0,885438	0,552523	0,642603	0,626656	0,657712	0,543537	0,450776	0,848516	0,815531	0,654636	0,71603	0,442671	0,966238	0,646177	0,729458
Elektrolyseur	Leistung in mW	54,90948	53,10903	50,37043	48,20227	45,63622	44,20851	41,94443	39,69344	37,94782	34,62419	32,66645	30,25852	28,05962	25,10855	22,99803	20,22469	18,55015
	Unsicherheit Leistung in mW	0,050179	0,035651	0,033835	0,029622	0,020969	0,024754	0,023502	0,023541	0,025324	0,019155	0,015074	0,016774	0,013259	0,011618	0,010656	0,00959	0,008808
	Unsicherheit Leistung in %	0,091385	0,067127	0,067173	0,061453	0,045947	0,055994	0,056031	0,059307	0,066734	0,055323	0,046146	0,055435	0,047255	0,046271	0,046333	0,047415	0,047479
Ganze System	Leistung in mW	57,85764	57,38799	55,78515	54,68107	53,00086	52,53515	50,97931	49,32128	48,18462	44,90259	43,25525	40,89564	38,69402	35,30975	32,97819	29,56381	27,63223

## Bestimmung von Gasmenge

### Messung

Windgeschwindigkeit in m/s	MPP Strom in mA	MPP Spannung in mV	Betriebszeit t in min	Volum H2 in ml				Volum O2 in ml			
				Start	Ende	$\Delta V$ in ml	$\Delta V/t$ in ml/min	Start	Ende	$\Delta V$ in ml	$\Delta V/t$ in ml/min
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667
6	36,852	1491	15	0	5	5	0,333333	0	2,5	2,5	0,166667

# Mittelwert

Mittelwert in ml	0,33333333		Mittelwert in ml	0,16666667	
(xi - x)^2	3,08149E-33		(xi - x)^2	7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
	3,08149E-33			7,70372E-34	
Standartabweichung in ml	1,85037E-17		Standartabweichung in ml	9,25186E-18	
Unsicherheit in ml	0,2		Unsicherheit in ml	0,2	
Unsicherheit in %	60		Unsicherheit in %	120	
Ergebniss:	0,33333333	ml/min H2	Ergebniss:	0,16666667	ml/min O2

## xiv. Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 4

### Bestimmung von MPP Solar und MPP Wind

#### Messung 1

Gerät 1 - Wind Last	Spannung in mV	60	100	140	180	220	260	300	340	380	420	460	500	540	580	620
Gerät 1 - Wind Last	Strom in mA	33,84	33,42	31,54	30,84	28,97	28,78	27,78	24,34	23,47	22,69	20,86	18,76	17,91	16,58	14,82
Gerät 2 - Solar Last	Spannung in mV	252	258	257,3	257	259,6	258,9	300	340	380	420	460	500	510	510	511
Gerät 2 - Solar Last	Strom in mA	73,6	75,7	75,6	75,5	75,3	75,4	69,6	61,8	51,5	38,7	23,94	7,95	4,88	4,89	4,9
Gerät 3 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1522	1521	1521	1520	1520	1520	1518	1515	1511	1505	1498	1487	1484	1482	1481
Gerechnet - Elektrolyseur	Strom in mA	107,44	109,12	107,14	106,34	104,27	104,18	97,38	86,14	74,97	61,39	44,8	26,71	22,79	21,47	19,72

#### Messung 2

Gerät 1 - Wind Last	Spannung in mV	60	100	140	180	220	260	300	340	380	420	460	500	540	580	620
Gerät 1 - Wind Last	Strom in mA	34,42	33,84	31,55	32,02	28,77	27,53	27,15	26,11	23,42	22,71	21,05	19,43	17,17	16,41	14,61
Gerät 2 - Solar Last	Spannung in mV	251,3	249	248,7	248,1	246,3	260	300	340	380	420	460	500	510	511	511
Gerät 2 - Solar Last	Strom in mA	72,2	71,7	73,6	73,1	72,5	71,5	68,4	60,3	52,4	39,11	25,32	8,19	4,53	4,89	4,91
Gerät 3 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1518	1515	1512	1505	1499	1489	1483	1482	1481
Gerechnet - Elektrolyseur	Strom in mA	106,62	105,54	105,15	105,12	101,27	99,03	95,55	86,41	75,82	61,82	46,37	27,62	21,7	21,3	19,52

#### Messung 3

Gerät 1 - Wind Last	Spannung in mV	60	100	140	180	220	260	300	340	380	420	460	500	540	580	620
Gerät 1 - Wind Last	Strom in mA	36,48	34,12	32,91	31,48	29,95	27,61	26,95	25,16	23,886	22,28	20,53	19,72	17,29	16,82	14,73
Gerät 2 - Solar Last	Spannung in mV	243,7	239,8	240,7	239,7	240,2	260	300	340	380	420	460	500	518	517	518
Gerät 2 - Solar Last	Strom in mA	72,3	70,9	71,1	70,9	71	70,1	66,1	60,4	51,9	41,2	27,04	11,96	4,96	4,96	4,97
Gerät 3 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1516	1513	1510	1506	1499	1490	1483	1482	1481
Gerechnet - Elektrolyseur	Strom in mA	108,78	105,02	104,01	102,38	100,95	97,71	93,05	85,56	75,786	63,48	47,57	31,68	22,25	21,78	19,7

#### Messung 4

Gerät 1 - Wind Last	Spannung in mV	60	100	140	180	220	260	300	340	380	420	460	500	540	580	620
Gerät 1 - Wind Last	Strom in mA	35,24	33,36	32,13	30,41	29,29	26,96	26,35	25,01	24,47	21,77	21,64	20,13	18,37	17,87	15,75
Gerät 2 - Solar Last	Spannung in mV	238,6	238,7	238,7	238,8	238,8	260	300	340	380	420	460	500	507	508	508
Gerät 2 - Solar Last	Strom in mA	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	68,7	63,7	56,9	48,1	36,4	22,21	7,14	4,86	4,87	4,88
Gerät 3 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1520	1520	1520	1520	1519	1518	1516	1514	1510	1505	1498	1488	1485	1484	1483
Gerechnet - Elektrolyseur	Strom in mA	105,84	103,96	102,73	101,01	99,89	95,66	90,05	81,91	72,57	58,17	43,85	27,27	23,23	22,74	20,63

# Messung 5

Gerät 1 - Wind Last	Spannung in mV	60	100	140	180	220	260	300	340	380	420	460	500	540	580	620
Gerät 1 - Wind Last	Strom in mA	34,12	33,54	33,16	31,4	29,45	25,73	25,24	24,96	24,23	22,31	20,96	20,21	17,52	17,01	15,73
Gerät 2 - Solar Last	Spannung in mV	239,1	238,9	238,8	238,7	238,7	260	300	340	380	420	460	500	508	508	509
Gerät 2 - Solar Last	Strom in mA	70,7	70,6	70,6	70,6	70,6	69,4	64,1	56,7	48,2	36,4	22,32	8,43	4,52	4,52	4,53
Gerät 3 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1520	1520	1520	1520	1519	1518	1516	1515	1511	1505	1499	1487	1483	1483	1482
Gerechnet - Elektrolyseur	Strom in mA	104,82	104,14	103,76	102	100,05	95,13	89,34	81,66	72,43	58,71	43,28	28,64	22,04	21,53	20,26

## Mittelwert

Gerät 1 - Wind Last	Mittelwert in mA	34,82	33,656	32,258	31,23	29,286	27,322	26,694	25,116	23,8952	22,352	21,008	19,65	17,652	16,938	15,128
	(xi - x) <sup>2</sup>	0,9604	0,055696	0,515524	0,1521	0,099856	2,125764	1,179396	0,602176	0,180795	0,114244	0,021904	0,7921	0,066564	0,128164	0,094864
		0,16	0,033856	0,501264	0,6241	0,266256	0,043264	0,207936	0,988036	0,225815	0,128164	0,001764	0,0484	0,232324	0,278784	0,268324
		2,7556	0,215296	0,425104	0,0625	0,440896	0,082944	0,065536	0,001936	8,46E-05	0,005184	0,228484	0,0049	0,131044	0,013924	0,158404
		0,1764	0,087616	0,016384	0,6724	1,6E-05	0,131044	0,118336	0,011236	0,330395	0,338724	0,399424	0,2304	0,515524	0,868624	0,386884
		0,49	0,013456	0,813604	0,0289	0,026896	2,534464	2,114116	0,024336	0,112091	0,001764	0,002304	0,3136	0,017424	0,005184	0,362404
	Standartabweichung in mA	0,476571	0,142464	0,337037	0,277489	0,204196	0,495857	0,429262	0,285282	0,206056	0,171476	0,180815	0,263572	0,219417	0,254429	0,252079
Unsicherheit in mA	0,496571	0,162464	0,357037	0,297489	0,224196	0,515857	0,449262	0,305282	0,226056	0,191476	0,200815	0,283572	0,239417	0,274429	0,272079	
Unsicherheit in %	1,426109	0,482719	1,106817	0,952574	0,76554	1,888064	1,683008	1,215489	0,946031	0,856639	0,955897	1,443113	1,356319	1,620196	1,798515	
Gerät 2 - Solar Last	Mittelwert in mV	244,94	244,88	244,84	244,46	244,72	259,78	300	340	380	420	460	500	510,6	510,8	511,4
	(xi - x) <sup>2</sup>	49,8436	172,1344	155,2516	157,2516	221,4144	0,7744	0	0	0	0	0	0	0,36	0,64	0,16
		40,4496	16,9744	14,8996	13,2496	2,4964	0,0484	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0,64
		1,5376	25,8064	17,1396	22,6576	20,4304	0,0484	0	0	0	0	0	0	54,76	38,44	43,56
		40,1956	38,1924	37,6996	32,0356	35,0464	0,0484	0	0	0	0	0	0	12,96	7,84	11,56
		34,1056	35,7604	36,4816	33,1776	36,2404	0,0484	0	0	0	0	0	0	6,76	7,84	5,76
	Standartabweichung in mV	2,882117	3,800447	3,615743	3,594245	3,972581	0,22	0	0	0	0	0	0	1,939072	1,655295	1,749286
Unsicherheit in mV	2,902117	3,820447	3,635743	3,614245	3,992581	0,24	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	1,959072	1,675295	1,769286	
Unsicherheit in %	1,184828	1,56013	1,484947	1,478461	1,631489	0,092386	0,006667	0,005882	0,005263	0,004762	0,004348	0,004	0,38368	0,327975	0,345969	
Gerät 2 - Solar Last	Mittelwert in mA	71,88	71,9	72,3	72,14	72	71,02	66,38	59,22	50,42	38,362	24,166	8,734	4,75	4,826	4,838
	(xi - x) <sup>2</sup>	2,9584	14,44	10,89	11,2896	10,89	19,1844	10,3684	6,6564	1,1664	0,114244	0,051076	0,614656	0,0169	0,004096	0,003844
		0,1024	0,04	1,69	0,9216	0,25	0,2304	4,0804	1,1664	3,9204	0,559504	1,331716	0,295936	0,0484	0,004096	0,005184
		0,1764	1	1,44	1,5376	1	0,8464	0,0784	1,3924	2,1904	8,054244	8,259876	10,40708	0,0441	0,017956	0,017424
		1,6384	1,69	2,89	2,3716	1,96	5,3824	7,1824	5,3824	5,3824	3,849444	3,825936	2,540836	0,0121	0,001936	0,001764
		1,3924	1,69	2,89	2,3716	1,96	2,6244	5,1984	6,3504	4,9284	3,849444	3,407716	0,092416	0,0529	0,093636	0,094864
	Standartabweichung in mA	0,559821	0,971082	0,994987	0,961561	0,896103	1,188865	1,159914	1,023426	0,937763	0,90628	0,918595	0,835192	0,093381	0,078013	0,078447
Unsicherheit in mA	0,579821	0,991082	1,014987	0,981561	0,916103	1,208865	1,179914	1,043426	0,957763	0,92628	0,938595	0,855192	0,113381	0,098013	0,098447	
Unsicherheit in %	0,806652	1,378417	1,403855	1,360634	1,272365	1,702147	1,777514	1,761948	1,89957	2,414578	3,883947	9,79153	2,386967	2,030933	2,034879	
Gerät 3 - Elektrolyseur	Mittelwert in mV	1520	1519,8	1519,8	1519,6	1519,2	1518,8	1516,8	1514,4	1510,8	1505,2	1498,6	1488,2	1483,6	1482,6	1481,6
	(xi - x) <sup>2</sup>	4	1,44	1,44	0,16	0,64	1,44	1,44	0,36	0,04	0,04	0,36	1,44	0,16	0,36	0,36
		0	0,04	0,04	0,16	0,64	1,44	1,44	0,36	1,44	0,04	0,16	0,64	0,36	0,36	0,36
		4	3,24	3,24	2,56	1,44	0,64	0,64	1,96	0,64	0,64	0,16	3,24	0,36	0,36	0,36
		0	0,04	0,04	0,16	0,04	0,64	0,64	0,16	0,64	0,04	0,36	0,04	1,96	1,96	1,96
		0	0,04	0,04	0,16	0,04	0,64	0,64	0,36	0,04	0,04	0,16	1,44	0,36	0,16	0,16
	Standartabweichung in mV	0,632456	0,489898	0,489898	0,4	0,374166	0,489898	0,489898	0,4	0,374166	0,2	0,244949	0,583095	0,4	0,4	0,4
Unsicherheit in mV	0,652456	0,509898	0,509898	0,42	0,394166	0,509898	0,509898	0,42	0,394166	0,22	0,264949	0,603095	0,42	0,42	0,42	
Unsicherheit in %	0,042925	0,03355	0,03355	0,027639	0,025946	0,033572	0,033617	0,027734	0,02609	0,014616	0,01768	0,040525	0,02831	0,028329	0,028348	
Gerechnet - Elektrolyseur	Mittelwert in mA	106,7	105,556	104,558	103,37	101,286	98,342	93,074	84,336	74,3152	60,714	45,174	28,384	22,402	21,764	19,966
	(xi - x) <sup>2</sup>	0,5476	12,7021	6,666724	8,8209	8,904256	34,08224	18,54164	3,254416	0,428763	0,456976	0,139876	2,802276	0,150544	0,086436	0,060516
		0,0064	0,000256	0,350464	0,30625	0,000256	0,473344	6,130576	4,301476	2,264423	1,223236	1,430416	0,583696	0,492804	0,215296	0,198916
		4,3264	0,287296	0,300304	0,9801	0,112896	0,399424	0,000576	1,498176	2,163253	7,650756	5,740816	10,86362	0,023104	0,000256	0,070756
		0,7396	2,547216	3,341584	5,5696	1,948816	7,193124	9,144576	5,885476	3,045723	6,471936	1,752976	1,240996	0,685584	0,952576	0,440896
		3,5344	2,005056	0,636804	1,8769	1,527696	10,31694	13,94276	7,160976	3,553979	4,016016	3,587236	0,065536	0,131044	0,054756	0,086436
	Standartabweichung in mA	0,67655	0,936534	0,751528	1,00772	0,790377	1,619646	1,545317	1,051202	0,75684	0,995463	0,79534	0,881933	0,272312	0,255863	0,207065
Unsicherheit in mA	0,69655	0,956534	0,771528	1,02772	0,810377	1,639646	1,565317	1,071202	0,77684	1,015463	0,81534	0,901933	0,292312	0,275863	0,227065	
Unsicherheit in %	0,652812	0,906186	0,737895	0,994215	0,800088	1,66729	1,681799	1,27016	1,045331	1,672535	1,804888	3,177611	1,304849	1,267521	1,137259	

# Ergebniss

	Leistung in mW	2,0892	3,3656	4,51612	5,6214	6,44292	7,10372	8,0082	8,53944	9,080176	9,38784	9,66368	9,825	9,53208	9,82404	9,37936
Wind Last	Unsicherheit	0,029794	0,016246	0,049985	0,053548	0,049323	0,134123	0,134779	0,103796	0,085901	0,08042	0,092375	0,141786	0,129285	0,159169	0,168689
	Leistung in mW	1,426109	0,482719	1,106817	0,952574	0,76554	1,888064	1,683008	1,215489	0,946031	0,856639	0,955897	1,443113	1,356319	1,620196	1,798515
	Unsicherheit Leistung in %															
Solar Last	Leistung in mW	17,60629	17,60687	17,70193	17,63534	17,61984	18,44958	19,914	20,1348	19,1596	16,11204	11,11636	4,367	2,42535	2,465121	2,474153
	Unsicherheit Leistung in mW	0,142021	0,242696	0,24851	0,239952	0,224189	0,314039	0,353974	0,354765	0,36395	0,389038	0,431754	0,427596	0,057892	0,050065	0,050346
	Unsicherheit Leistung in %	0,806652	1,378417	1,403855	1,360634	1,272365	1,702147	1,777514	1,761948	1,89957	2,414578	3,883947	9,79153	2,386967	2,030933	2,034879
Elektrolyseur	Leistung in mW	162,184	160,424	158,9072	157,0811	153,8737	149,3618	141,1746	127,7184	112,2754	91,38671	67,69776	42,24107	33,23561	32,26731	29,58163
	Unsicherheit Leistung in mW	1,058756	1,45374	1,172568	1,561724	1,231125	2,490295	2,374273	1,622229	1,17365	1,528474	1,221869	1,342257	0,433675	0,408995	0,33642
	Unsicherheit Leistung in %	0,652812	0,906186	0,737895	0,994215	0,800088	1,66729	1,681799	1,27016	1,045331	1,672535	1,804888	3,177611	1,304849	1,267521	1,137259
GANZE SYSTEM	Leistung in mW	181,8795	181,3965	181,1253	180,3378	177,9365	174,9151	169,0968	156,3927	140,5152	116,8866	88,4778	56,43307	45,19304	44,55647	41,43514

## Bestimmung von Gasmenge

### Messung

Windgeschwindigkeit in m/s	Einstrahlungssstärke in W/m <sup>2</sup>	MPP Strom in mA	MPP Spannung in mV	Betriebszeit t in min	Volum H2 in ml				Volum O2 in ml			
					Start	Ende	ΔV in ml	ΔV/t in ml/min	Start	Ende	ΔV in ml	ΔV/t in ml/min
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5
6	200	106,7	1520	10	0	10	10	1	0	5	5	0,5

### Mittelwert

Mittelwert in ml	1		Mittelwert in ml	0,5	
(xi - x)^2	0		(xi - x)^2	0	
	0			0	
	0			0	
	0			0	
	0			0	
	0			0	
	0			0	
	0			0	
	0			0	
Standartabweichung in ml	0		Standartabweichung in ml	0	
Unsicherheit in ml	0		Unsicherheit in ml	0	
Unsicherheit in %	0		Unsicherheit in %	0	
Ergebniss:	1	ml/min H2	Ergebniss:	0,5	ml/min O2

## xv. Messdaten Brennstoffzelle: Versuch 5

# Bestimmung von Energie- und Faraday-Wirkungsgrad der Brennstoffzelle

## Messung 1

Spannung in mV	586	607	628	668	726
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	10	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	10	7	4

## Messung 2

Spannung in mV	580	610	619	689	752
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	11	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	9	7	4

## Messung 3

Spannung in mV	591	615	624	675	721
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	6	8	10	12	16
$\Delta V$ in ml	14	12	10	8	4

## Messung 4

Spannung in mV	585	620	626	669	715
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	10	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	10	7	4

## Messung 5

Spannung in mV	590	617	631	675	720
Strom in mA	500	400	300	200	100
Zeit t in min	3	3	3	3	3
Volume H2 in ml Start	20	20	20	20	20
Volume H2 in ml Ende	5	8	10	13	16
$\Delta V$ in ml	15	12	10	7	4

## Mittelwert

Mittelwert in mV	586,4	613,8	625,6	675,2	726,8
$(x_i - \bar{x})^2$	0,16	46,24	5,76	51,84	0,64
	40,96	14,44	43,56	190,44	635,04
	21,16	1,44	2,56	0,04	33,64
	1,96	38,44	0,16	38,44	139,24
	12,96	10,24	29,16	0,04	46,24
Standardabweichung in mV	1,96468827	2,35372046	2,014944	3,746999	6,537584
Unsicherheit in mV	1,98468827	2,37372046	2,034944	3,766999	6,557584
Unsicherheit in %	0,33845298	0,38672539	0,325279	0,557909	0,902254
Mittelwert in ml	14,8	12	9,8	7,2	4
$(x_i - \bar{x})^2$	0,04	0	0,04	0,04	0
	0,04	0	0,64	0,04	0
	0,64	0	0,04	0,64	0
	0,04	0	0,04	0,04	0
	0,04	0	0,04	0,04	0
Standardabweichung in ml	0,2	0	0,2	0,2	0
Unsicherheit in ml	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4
Unsicherheit in %	4,05405405	3,33333333	6,122449	8,333333	10

## Ergebniss

Leistung in mW	293,2	245,52	187,68	135,04	72,68
Gaskonsum in ml/min	4,93333333	4	3,266667	2,4	1,333333
Elektrische Energie in J	52,776	44,1936	33,7824	24,3072	13,0824
Chemische Energie in J	173,375932	140,57508	114,803	84,34505	46,85836
Energiewirkungsgrad in %	30,4402113	31,43772	29,42641	28,81876	27,91903
Theoretisch herstellbare Gasmenge in ml	11,3864188	9,109135	6,831851	4,554568	2,277284
Faraday-Wirkungsgrad in %	76,9352619	75,9094584	69,71277	63,25788	56,93209

## Strom-Spannungs-Kennlinie der Brennstoffzelle

### Messung 1

Spannung in mV	950	800	700	599	520	450	390	313	220
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 2

Spannung in mV	920	800	725	630	540	480	400	320	250
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 3

Spannung in mV	920	815	710	600	515	450	400	320	215
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 4

Spannung in mV	940	830	700	595	525	455	390	322	210
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

### Messung 5

Spannung in mV	910	820	720	605	530	450	400	320	220
Strom in mA	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1400

## Mittelwert

Mittelwert in mV	928	813	711	605,8	526	457	396	319	223
$(x_i - \bar{x})^2$	484	169	121	46,24	36	49	36	36	9
	64	169	196	585,64	196	529	16	1	729
	64	4	1	33,64	121	49	16	1	64
	144	289	121	116,64	1	4	36	9	169
	324	49	81	0,64	16	49	16	1	9
Standardabweichung in mV	7,348469	5,830952	5,09902	6,256197	4,301163	5,830952	2,44949	1,549193	7
Unsicherheit in mV	7,368469	5,850952	5,11902	6,276197	4,321163	5,850952	2,46949	1,569193	7,02
Unsicherheit in %	0,794016	0,719674	0,719975	1,036018	0,821514	1,280296	0,623609	0,49191	3,147982
Widerstand in Ohm	#DIV/0!	8,13	3,555	1,5145	0,876667	0,57125	0,396	0,265833	0,159286
Leistung in mW	0	81,3	142,2	242,32	315,6	365,6	396	382,8	312,2
Unsicherheit Leistung in mW	0	0,585095	1,023804	2,510479	2,592698	4,680762	2,46949	1,883032	9,828
Unsicherheit Leistung in %	#DIV/0!	0,719674	0,719975	1,036018	0,821514	1,280296	0,623609	0,49191	3,147982

## xvi. Messdaten Szenario 1

### Messung 1

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1650	1643	1648	1644	1648	1643	1650	1647	1647	1644	1646	1647	1648	1650	1647	1644	1644	1648	1647	1650	1646
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	60,6	60,4	60,4	60,6	60,5	60,4	60,4	60,4	60,4	60,5	60,4	60,6	60,5	60,5	60,5	60,4	60,4	60,4	60,4	60,6	60,5
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1650	1643	1648	1644	1648	1643	1650	1647	1647	1644	1646	1647	1648	1650	1647	1644	1644	1648	1647	1650	1646
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	47,7	46,9	47,2	47,4	46,6	46,1	45,7	47,1	46,3	46,9	46,1	46,7	46,3	45,9	46,3	46,8	45,6	47,1	45,7	46,6	45,8
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1761	1758	1759	1755	1759	1757	1757	1755	1756	1758	1756	1757	1757	1755	1756	1759	1755	1756	1756	1759	1756
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	73,6	73,5	73,2	73,5	73,5	72,4	73,2	72,4	73	73,1	73,5	73,5	73,2	73,2	72,4	73,1	73,5	73,1	72,4	73,2	72,4
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1651	1648	1648	1647	1648	1644	1647	1648	1647	1648	1646	1644	1644	1647	1647	1648	1644	1648	1644	1644	1647
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	34,7	33,8	34,4	34,5	33,6	34,1	32,9	35,1	33,7	34,3	33,6	33,8	33,6	33,2	34,4	34,1	32,5	34,4	33,7	34	33,9
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4	4

### Messung 2

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1644	1650	1645	1647	1648	1644	1648	1644	1645	1646	1646	1647	1648	1650	1648	1647	1644	1647	1644	1645	1650
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	60,5	60,4	60,4	60,5	60,5	60,6	60,4	60,6	60,4	60,4	60,5	60,4	60,4	60,5	60,5	60,6	60,5	60,4	60,4	60,5	60,4
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1644	1650	1645	1647	1648	1644	1648	1644	1645	1646	1646	1647	1648	1650	1648	1647	1644	1647	1644	1645	1650
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	46,3	45,7	47,1	46,5	46,3	46,3	46,3	47,2	46,3	45,7	46,3	47,1	46,3	45,8	46,7	46,5	46,3	47,3	46,8	46,6	46,3
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1757	1759	1757	1757	1755	1755	1757	1759	1757	1757	1758	1755	1755	1757	1759	1757	1757	1755	1759	1759	1755
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	73,5	73,2	73,4	73,4	73,5	73,3	73,5	73,2	73,2	73,2	73,4	73,3	73,2	73,3	73,4	73,4	73,2	73,3	73,5	73,5	73,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1644	1650	1645	1646	1650	1650	1649	1649	1650	1644	1648	1648	1650	1647	1650	1650	1649	1649	1647	1645	1647
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	33,3	32,9	34,1	33,6	33,3	33,6	33,2	34,6	33,5	32,9	33,4	34,2	33,5	33	33,9	33,7	33,4	34,5	33,9	33,6	33,4
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4	4

## Messung 3

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1646	1649	1644	1644	1648	1647	1644	1646	1648	1649	1644	1648	1650	1644	1645	1649	1646	1645	1650	1644	1649
	Strom in mA	60,5	60,5	60,4	60,6	60,5	60,6	60,4	60,5	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,5	60,6	60,5	60,4	60,4	60,5	60,5
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1646	1649	1644	1644	1648	1647	1644	1646	1648	1649	1644	1648	1650	1644	1645	1649	1646	1645	1650	1644	1649
	Strom in mA	46,5	45,7	47,1	46,5	46,5	46,8	46,3	47,2	46,3	45,7	46,5	46,3	46,3	46,5	46,7	46,5	46,3	46,5	46,8	46,3	46,8
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1755	1757	1758	1758	1758	1756	1755	1758	1756	1756	1757	1755	1758	1755	1759	1756	1757	1756	1756	1755	1755
	Strom in mA	73,5	73,2	73,3	73,4	73,5	73,3	73,3	73,2	73,2	73,3	73,5	73,3	73,3	73,2	73,5	73,4	73,4	73,2	73,2	73,5	73,2
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1647	1649	1647	1647	1650	1646	1649	1644	1650	1649	1644	1647	1650	1647	1644	1648	1646	1645	1650	1648	1645
	Strom in mA	33,5	33	34,2	33,7	33,5	34,1	33,4	34,5	33,5	32,8	33,4	33,4	33,4	33,7	33,7	33,7	33,4	33,7	34	33,3	34,1
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4

## Messung 4

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1647	1650	1644	1647	1650	1645	1649	1646	1644	1649	1648	1647	1650	1644	1650	1645	1644	1645	1648	1647	1649
	Strom in mA	60,5	60,6	60,4	60,4	60,4	60,6	60,5	60,5	60,5	60,5	60,4	60,6	60,5	60,5	60,6	60,4	60,5	60,4	60,5	60,6	60,4
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1647	1650	1644	1647	1650	1645	1649	1646	1644	1649	1648	1647	1650	1644	1650	1645	1644	1645	1648	1647	1649
	Strom in mA	46,1	46,9	46,1	47,1	46,6	46,1	46,1	47,1	46,3	46,9	46,1	46,1	46,3	46,3	46,3	46,8	47,1	47,2	45,7	45,6	45,8
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1755	1755	1756	1756	1757	1758	1757	1759	1758	1756	1756	1759	1756	1757	1756	1758	1758	1758	1756	1759	1759
	Strom in mA	73,4	73,3	73,4	73,5	73,3	73,3	73,3	73,2	73,2	73,4	73,5	73,3	73,3	73,2	73,5	73,2	73,2	73,3	73,5	73,4	73,2
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1647	1650	1650	1645	1648	1646	1650	1644	1649	1644	1646	1648	1645	1646	1649	1650	1645	1645	1648	1645	1650
	Strom in mA	33,2	34,2	33,1	34	33,7	33,4	33,3	34,4	33,6	34	33	33,4	33,5	33,6	33,4	34	34,4	34,3	32,7	32,8	33
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4	4

# Messung 5

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1648	1647	1650	1649	1649	1645	1645	1650	1648	1646	1650	1644	1647	1650	1650	1649	1649	1650	1649	1644	1646
	Strom in mA	60,4	60,5	60,4	60,4	60,5	60,5	60,6	60,4	60,5	60,6	60,4	60,4	60,4	60,6	60,4	60,6	60,4	60,5	60,5	60,5	60,4
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1648	1647	1650	1649	1649	1645	1645	1650	1648	1646	1650	1644	1647	1650	1650	1649	1649	1650	1649	1644	1646
	Strom in mA	45,9	46,9	45,9	47,4	46,6	46,1	47,2	47,1	46,3	45,9	46,3	45,9	46,3	45,9	46,3	46,8	47,2	47,1	45,6	46,6	46,3
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1757	1759	1755	1759	1759	1757	1759	1756	1755	1758	1757	1758	1756	1755	1758	1757	1757	1758	1755	1758	1756
	Strom in mA	73,3	73,4	73,5	73,5	73,3	73,3	73,5	73,4	73,4	73,5	73,4	73,3	73,4	73,5	73,4	73,3	73,5	73,4	73,5	73,3	73,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1644	1645	1648	1647	1649	1650	1646	1647	1650	1646	1650	1649	1650	1647	1650	1648	1647	1646	1649	1649	1644
	Strom in mA	33	34	32,8	34,3	33,8	33,3	34,3	34,1	33,4	33	33,3	33	33,3	33	33,3	34,1	34,1	34,2	32,6	33,8	33,4
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4	4

## Mittelwert

Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mA	60,5	60,48	60,4	60,5	60,48	60,54	60,46	60,5	60,44	60,48	60,42	60,48	60,44	60,5	60,5	60,52	60,46	60,42	60,44	60,54	60,44	
	(xi - x)^2	0,01	0,0064	0	0,01	0,0004	0,0196	0,0036	0,01	0,0016	0,0004	0,0004	0,0144	0,0036	0	0	0,0144	0,0036	0,0004	0,0016	0,0036	0,0036	0,0036
		0	0,0064	0	0	0,0004	0,0036	0,0036	0,01	0,0016	0,0064	0,0064	0,0064	0,0016	0	0	0,0064	0,0016	0,0004	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016
		0	0,0004	0	0,01	0,0004	0,0036	0,0036	0,01	0,0016	0,0064	0,0004	0,0064	0,0016	0,01	0	0,0064	0,0016	0,0004	0,0016	0,0016	0,0016	0,0036
		0	0,0144	0	0,01	0,0064	0,0036	0,0016	0	0,0036	0,0004	0,0004	0,0144	0,0036	0	0,01	0,0144	0,0016	0,0004	0,0036	0,0036	0,0016	0,0016
		0,01	0,0004	0	0,01	0,0004	0,0016	0,0196	0,01	0,0036	0,0144	0,0004	0,0064	0,0016	0,01	0,01	0,0064	0,0036	0,0064	0,0036	0,0016	0,0016	0,0016
	Standartabweichung in mA	0,031623	0,037417	0	0,044721	0,02	0,04	0,04	0,044721	0,024495	0,037417	0,02	0,04899	0,024495	0,031623	0,031623	0,04899	0,024495	0,02	0,024495	0,024495	0,024495	0,024495
	Unsicherheit in mA	0,051623	0,057417	0,02	0,064721	0,04	0,06	0,06	0,064721	0,044495	0,057417	0,04	0,06899	0,044495	0,051623	0,051623	0,06899	0,044495	0,04	0,044495	0,044495	0,044495	0,044495
Unsicherheit in %	0,085327	0,094935	0,033113	0,106977	0,066138	0,099108	0,099239	0,106977	0,073618	0,094935	0,066203	0,11407	0,073618	0,085327	0,085327	0,113995	0,073594	0,066203	0,073618	0,073497	0,073618		
Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mV	1647	1647,8	1646,2	1646,2	1648,6	1644,8	1647,2	1646,6	1646,4	1646,8	1646,8	1646,6	1648,6	1647,6	1648	1646,8	1645,4	1647	1647,6	1646	1648	
	(xi - x)^2	9	23,04	3,24	4,84	0,36	3,24	7,84	0,16	0,36	7,84	0,64	0,16	0,36	5,76	1	7,84	1,96	1	0,36	16	4	
		9	4,84	1,44	0,64	0,36	0,64	0,64	6,76	1,96	0,64	0,64	0,16	0,36	5,76	0	0,04	1,96	0	12,96	1	4	
		1	1,44	4,84	4,84	0,36	4,84	10,24	0,36	2,56	4,84	7,84	1,96	4,84	12,96	9	4,84	0,36	4	5,76	4	1	
		0	4,84	4,84	0,64	1,96	0,04	3,24	0,36	5,76	4,84	1,44	0,16	1,96	12,96	4	3,24	1,96	4	0,16	1	1	
		1	0,64	14,44	7,84	0,16	0,04	4,84	11,56	2,56	0,64	10,24	6,76	2,56	5,76	4	4,84	12,96	9	1,96	4	4	
	Standartabweichung in mV	1	1,319091	1,2	0,969536	0,4	0,663325	1,157584	0,979796	0,812404	0,969536	1,019804	0,678233	0,6	1,469694	0,948683	1,019804	0,979796	0,948683	1,029563	1,140175	0,83666	
	Unsicherheit in mV	1,02	1,339091	1,22	0,989536	0,42	0,683325	1,177584	0,999796	0,832404	0,989536	1,039804	0,698233	0,62	1,489694	0,968683	1,039804	0,999796	0,968683	1,049563	1,160175	0,85666	
Unsicherheit in %	0,061931	0,081265	0,07411	0,06011	0,025476	0,041545	0,07149	0,060719	0,050559	0,060088	0,063141	0,042405	0,037608	0,090416	0,058779	0,063141	0,060763	0,058815	0,063703	0,070485	0,051982		

Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mA	46,5	46,42	46,68	46,98	46,52	46,28	46,32	47,14	46,3	46,22	46,26	46,42	46,3	46,08	46,46	46,68	46,5	47,04	46,12	46,34	46,2
	(xi - x)^2	1,44	0,2304	0,2704	0,1764	0,0064	0,0324	0,3844	0,0016	0	0,4624	0,0256	0,0784	0	0,0324	0,0256	0,0144	0,81	0,0036	0,1764	0,0676	0,16
		0,04	0,5184	0,1764	0,2304	0,0484	0,0004	0,0004	0,0036	0	0,2704	0,0016	0,4624	0	0,0784	0,0576	0,0324	0,04	0,0676	0,4624	0,0676	0,01
		0	0,5184	0,1764	0,2304	0,0004	0,2704	0,0004	0,0036	0	0,2704	0,0576	0,0144	0	0,1764	0,0576	0,0324	0,04	0,2916	0,4624	0,0016	0,36
		0,16	0,2304	0,3364	0,0144	0,0064	0,0324	0,0484	0,0016	0	0,4624	0,0256	0,1024	0	0,0484	0,0256	0,0144	0,36	0,0256	0,1764	0,5476	0,16
		0,36	0,2304	0,6084	0,1764	0,0064	0,0324	0,7744	0,0016	0	0,1024	0,0016	0,2704	0	0,0324	0,0256	0,0144	0,49	0,0036	0,2704	0,0676	0,01
	Standartabweichung in mA	0,316228	0,293939	0,28	0,20347	0,05831	0,135647	0,245764	0,024495	0	0,28	0,074833	0,215407	0	0,135647	0,09798	0,073485	0,294958	0,14	0,278209	0,193907	0,187083
Unsicherheit in mA	0,336228	0,313939	0,3	0,22347	0,07831	0,155647	0,265764	0,044495	0,02	0,3	0,094833	0,235407	0,02	0,155647	0,11798	0,093485	0,314958	0,16	0,298209	0,213907	0,207083	
Unsicherheit in %	0,72307	0,676301	0,642674	0,47567	0,168335	0,336315	0,573757	0,094389	0,043197	0,64907	0,205	0,507123	0,043197	0,337775	0,253938	0,200267	0,677328	0,340136	0,646593	0,461604	0,448231	
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mV	1757	1757,6	1757	1757	1757,6	1756,6	1757	1757,4	1756,4	1757	1756,8	1756,8	1756,4	1755,8	1757,6	1757,4	1756,8	1756,6	1756,4	1758	1756,2
	(xi - x)^2	16	0,16	4	4	1,96	0,16	0	5,76	0,16	1	0,64	0,04	0,36	0,64	2,56	2,56	3,24	0,36	0,16	1	0,04
		0	1,96	0	0	6,76	2,56	0	2,56	0,36	0	1,44	3,24	1,96	1,44	1,96	0,16	0,04	2,56	6,76	1	1,44
		4	0,36	1	1	0,16	0,36	4	0,36	0,16	1	0,04	3,24	2,56	0,64	1,96	1,96	0,04	0,36	0,16	9	1,44
		4	6,76	1	1	0,36	1,96	0	2,56	2,56	1	0,64	4,84	0,16	1,44	2,56	0,36	1,44	1,96	0,16	1	7,84
		0	1,96	4	4	1,96	0,16	4	1,96	1,96	1	0,04	1,44	0,16	0,64	0,16	0,16	0,04	1,96	1,96	0	0,04
	Standartabweichung in mV	1,095445	0,748331	0,707107	0,707107	0,748331	0,509902	0,632456	0,812404	0,509902	0,447214	0,374166	0,8	0,509902	0,489898	0,678233	0,509902	0,489898	0,6	0,678233	0,774597	0,734847
Unsicherheit in mV	1,115445	0,768331	0,727107	0,727107	0,768331	0,529902	0,652456	0,832404	0,529902	0,467214	0,394166	0,82	0,529902	0,509898	0,698233	0,529902	0,509898	0,62	0,698233	0,794597	0,754847	
Unsicherheit in %	0,063486	0,043715	0,041383	0,041383	0,043715	0,030166	0,037135	0,047366	0,03017	0,026592	0,022437	0,046676	0,03017	0,029041	0,039727	0,030153	0,029024	0,035295	0,039754	0,045199	0,042982	
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mA	73,46	73,32	73,36	73,46	73,42	73,12	73,36	73,08	73,2	73,3	73,46	73,34	73,28	73,22	73,28	73,4	73,24	73,18	73,38	73,08	
	(xi - x)^2	0,0196	0,0324	0,0256	0,0016	0,0064	0,5184	0,0256	0,4624	0,04	0,04	0,0016	0,0256	0,0064	0,0064	0,6724	0,0324	0,01	0,0196	0,6084	0,0324	0,4624
		0,0016	0,0144	0,0016	0,0036	0,0064	0,0324	0,0196	0,0144	0	0,01	0,0036	0,0016	0,0064	0,0004	0,0064	0,0144	0	0,0016	0,0144	0,0144	0,0484
		0,0016	0,0144	0,0036	0,0036	0,0064	0,0324	0,0036	0,0144	0	0	0,0016	0,0016	0,0004	0,0064	0,0784	0,0144	0	0,0016	0,0004	0,0144	0,0144
		0,0036	0,0004	0,0016	0,0016	0,0144	0,0324	0,0036	0,0144	0	0,01	0,0016	0,0016	0,0004	0,0064	0,0784	0,0064	0,04	0,0036	0,1024	0,0004	0,0144
		0,0256	0,0064	0,0196	0,0016	0,0144	0,0324	0,0196	0,1024	0,04	0,04	0,0036	0,0016	0,0144	0,0484	0,0324	0,0004	0,01	0,0256	0,1024	0,0064	0,0484
	Standartabweichung in mA	0,05099	0,05831	0,05099	0,024495	0,04899	0,18	0,06	0,174356	0,063246	0,070711	0,024495	0,04	0,037417	0,05831	0,208327	0,05831	0,054772	0,05099	0,20347	0,05831	0,171464
Unsicherheit in mA	0,07099	0,07831	0,07099	0,044495	0,06899	0,2	0,08	0,194356	0,083246	0,090711	0,044495	0,06	0,057417	0,07831	0,228327	0,07831	0,074772	0,07099	0,22347	0,07831	0,191464	
Unsicherheit in %	0,096638	0,106805	0,09677	0,06057	0,093966	0,273523	0,109051	0,26595	0,113723	0,123753	0,06057	0,081811	0,078352	0,106863	0,311836	0,106863	0,10187	0,096928	0,30537	0,106718	0,261993	
Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mV	1646,6	1648,4	1647,6	1646,4	1649	1647,2	1648,2	1646,4	1649,2	1646,2	1646,8	1647,2	1647,8	1646,8	1648	1648,8	1646,2	1646,6	1647,6	1646,2	1646,6
	(xi - x)^2	19,36	0,16	0,16	0,36	1	10,24	1,44	2,56	4,84	3,24	0,64	10,24	14,44	0,04	1	0,64	4,84	1,96	12,96	4,84	0,16
		6,76	2,56	6,76	0,16	1	7,84	0,64	6,76	0,64	4,84	1,44	0,64	4,84	0,04	4	1,44	7,84	5,76	0,36	1,44	0,16
		0,16	0,36	0,36	0,36	1	1,44	0,64	5,76	0,64	7,84	7,84	0,04	4,84	0,04	16	0,64	0,04	2,56	5,76	3,24	2,56
		0,16	2,56	5,76	1,96	1	1,44	3,24	5,76	0,04	4,84	0,64	0,64	7,84	0,64	1	1,44	1,44	2,56	0,16	1,44	11,56
		6,76	11,56	0,16	0,36	0	7,84	4,84	0,36	0,64	0,04	10,24	3,24	4,84	0,04	4	0,64	0,64	0,36	1,96	7,84	6,76
	Standartabweichung in mV	1,28841	0,927362	0,812404	0,4	0,447214	1,2	0,734847	1,029563	0,583095	1,019804	1,019804	0,860233	1,356466	0,2	1,140175	0,489898	0,860233	0,812404	1,029563	0,969536	1,029563
Unsicherheit in mV	1,30841	0,947362	0,832404	0,42	0,467214	1,22	0,754847	1,049563	0,603095	1,039804	1,039804	0,880233	1,376466	0,22	1,160175	0,509898	0,880233	0,832404	1,049563	0,989536	1,049563	
Unsicherheit in %	0,079461	0,057472	0,050522	0,02551	0,028333	0,074065	0,045798	0,063749	0,036569	0,063164	0,063141	0,053438	0,083534	0,013359	0,070399	0,030925	0,053471	0,050553	0,063703	0,06011	0,063741	

Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mA	33,54	33,58	33,72	34,02	33,58	33,7	33,42	34,54	33,54	33,4	33,34	33,56	33,46	33,3	33,74	33,92	33,56	34,22	33,38	33,5	33,56
	(xi - x)^2	1,3456	0,0484	0,4624	0,2304	0,0004	0,16	0,2704	0,3136	0,0256	0,81	0,0676	0,0576	0,0196	0,01	0,4356	0,0324	1,1236	0,0324	0,1024	0,25	0,1156
		0,0576	0,4624	0,1444	0,1764	0,0784	0,01	0,0484	0,0036	0,0016	0,25	0,0036	0,4096	0,0016	0,09	0,0256	0,0484	0,0256	0,0784	0,2704	0,01	0,0256
		0,0016	0,3364	0,2304	0,1024	0,0064	0,16	0,0004	0,0016	0,0016	0,36	0,0036	0,0256	0,0036	0,16	0,0016	0,0484	0,0256	0,2704	0,3844	0,04	0,2916
		0,1156	0,3844	0,3844	0,0004	0,0144	0,09	0,0144	0,0196	0,0036	0,36	0,1156	0,0256	0,0016	0,09	0,1156	0,0064	0,7056	0,0064	0,4624	0,49	0,3136
		0,2916	0,1764	0,8464	0,0784	0,0484	0,16	0,7744	0,1936	0,0196	0,16	0,0016	0,3136	0,0256	0,09	0,1936	0,0324	0,2916	0,0004	0,6084	0,09	0,0256
	Standartabweichung in mA	0,300998	0,26533	0,321559	0,171464	0,086023	0,170294	0,235372	0,163095	0,05099	0,311448	0,09798	0,203961	0,05099	0,148324	0,196469	0,091652	0,329545	0,139284	0,302324	0,209762	0,196469
	Unsicherheit in mA	0,320998	0,28533	0,341559	0,191464	0,106023	0,190294	0,255372	0,183095	0,07099	0,331448	0,11798	0,223961	0,07099	0,168324	0,216469	0,111652	0,349545	0,159284	0,322324	0,229762	0,216469
	Unsicherheit in %	0,957061	0,849702	1,012926	0,562799	0,315733	0,56467	0,764129	0,530096	0,211658	0,99236	0,353868	0,667344	0,212164	0,505477	0,641579	0,329161	1,041553	0,46547	0,965621	0,685856	0,64502
Gasspeicher	Mittelwert in ml	0	0	0,4	0,5	0,9	1	1	1,4	1,5	1,9	2	2	2,4	2,5	2,9	3	3	3,4	3,5	3,9	4
	(xi - x)^2	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0
		0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0
		0	0	0,16	0	0,16	0	0	0,16	0	0,16	0	0	0,16	0	0,16	0	0	0,16	0	0,16	0
		0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0
		0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0
	Standartabweichung in ml	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0
	Unsicherheit in ml	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4
	Unsicherheit in %	#DIV/0!	#DIV/0!	125	80	55,55556	40	40	35,71429	26,66667	26,31579	20	20	20,83333	16	17,24138	13,33333	13,33333	14,70588	11,42857	12,82051	10

# Ergebniss

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1647	1647,8	1646,2	1646,2	1648,6	1644,8	1647,2	1646,6	1646,4	1646,8	1646,8	1646,6	1648,6	1647,6	1648	1646,8	1645,4	1647	1647,6	1646	1648
	Strom in mA	60,5	60,48	60,4	60,5	60,48	60,54	60,46	60,5	60,44	60,48	60,42	60,48	60,44	60,5	60,5	60,52	60,46	60,42	60,44	60,54	60,44
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1647	1647,8	1646,2	1646,2	1648,6	1644,8	1647,2	1646,6	1646,4	1646,8	1646,8	1646,6	1648,6	1647,6	1648	1646,8	1645,4	1647	1647,6	1646	1648
	Strom in mA	46,5	46,42	46,68	46,98	46,52	46,28	46,32	47,14	46,3	46,22	46,26	46,42	46,3	46,08	46,46	46,68	46,5	47,04	46,12	46,34	46,2
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1757	1757,6	1757	1757	1757,6	1756,6	1757	1757,4	1756,4	1757	1756,8	1756,8	1756,4	1755,8	1757,6	1757,4	1756,8	1756,6	1756,4	1758	1756,2
	Strom in mA	73,46	73,32	73,36	73,46	73,42	73,12	73,36	73,08	73,2	73,3	73,46	73,34	73,28	73,28	73,22	73,28	73,4	73,24	73,18	73,38	73,08
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1646,6	1648,4	1647,6	1646,4	1649	1647,2	1648,2	1646,4	1649,2	1646,2	1646,8	1647,2	1647,8	1646,8	1648	1648,8	1646,2	1646,6	1647,6	1646,2	1646,6
	Strom in mA	33,54	33,58	33,72	34,02	33,58	33,7	33,42	34,54	33,54	33,4	33,34	33,56	33,46	33,3	33,74	33,92	33,56	34,22	33,38	33,5	33,56
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0,4	0,5	0,9	1	1	1,4	1,5	1,9	2	2	2,4	2,5	2,9	3	3	3,4	3,5	3,9	4
Verbraucher	Leistung in mW	99,6435	99,65894	99,43048	99,5951	99,70733	99,57619	99,58971	99,6193	99,50842	99,59846	99,49966	99,58637	99,64138	99,6798	99,704	99,66434	99,48088	99,51174	99,58094	99,64884	99,60512
	Unsicherheit Leistung in mW	0,085023	0,094611	0,032924	0,106544	0,065944	0,098688	0,098832	0,10657	0,073256	0,094554	0,065872	0,113599	0,073354	0,085054	0,085074	0,113612	0,073212	0,06588	0,07331	0,073239	0,073328
	Unsicherheit Leistung in %	0,085327	0,094935	0,033113	0,106977	0,066138	0,099108	0,099239	0,106977	0,073618	0,094935	0,066203	0,11407	0,073618	0,085327	0,085327	0,113995	0,073594	0,066203	0,073618	0,073497	0,073618
Elektrolyseur	Leistung in mW	76,5855	76,49088	76,84462	77,33848	76,69287	76,12134	76,2983	77,62072	76,22832	76,1151	76,18097	76,43517	76,33018	75,92141	76,56608	76,87262	76,5111	77,47488	75,98731	76,27564	76,1376
	Unsicherheit Leistung in mW	0,553767	0,517308	0,49386	0,367876	0,129101	0,256008	0,437767	0,073265	0,032928	0,49404	0,156171	0,38762	0,032972	0,256443	0,19443	0,153951	0,518231	0,26352	0,491328	0,352091	0,341273
	Unsicherheit Leistung in %	0,72307	0,676301	0,642674	0,47567	0,168335	0,336315	0,573757	0,094389	0,043197	0,64907	0,205	0,507123	0,043197	0,337775	0,253938	0,200267	0,677328	0,340136	0,646593	0,461604	0,448231
Solar	Leistung in mW	129,0692	128,8672	128,8935	129,0692	129,043	128,4426	128,8935	128,4308	128,5685	128,7881	129,0545	128,8437	128,709	128,665	128,6915	128,7823	128,9491	128,6534	128,5334	129,002	128,3431
	Unsicherheit Leistung in mW	0,12473	0,137637	0,12473	0,078178	0,121256	0,35132	0,14056	0,341561	0,146212	0,159379	0,078169	0,105408	0,100846	0,137496	0,401307	0,137621	0,13136	0,124701	0,392503	0,137668	0,33625
	Unsicherheit Leistung in %	0,096638	0,106805	0,09677	0,06057	0,093966	0,273523	0,109051	0,26595	0,113723	0,123753	0,06057	0,081811	0,078352	0,106863	0,311836	0,106863	0,10187	0,096928	0,30537	0,106718	0,261993
Wind	Leistung in mW	55,22696	55,35327	55,55707	56,01053	55,37342	55,51064	55,08284	56,86666	55,31417	54,98308	54,90431	55,28003	55,13539	54,83844	55,60352	55,9273	55,24647	56,34665	54,99689	55,1477	55,2599
	Unsicherheit Leistung in mW	528,5559	470,3379	562,7521	315,2268	174,8323	313,4521	420,9042	301,4477	117,077	545,6301	194,2888	368,9082	116,9776	277,1959	356,7406	184,091	575,4212	262,2768	531,0616	378,2338	356,4376
	Unsicherheit Leistung in %	957,0612	849,7022	1012,926	562,7992	315,7333	564,6702	764,1294	530,0957	211,6583	992,36	353,868	667,3444	212,1644	505,4774	641,5792	329,1613	1041,553	465,4701	965,6211	685,856	645,0203
Energiekonsum	Leistung in mW	176,229	176,1498	176,2751	176,9336	176,4002	175,6975	175,888	177,24	175,7367	175,7136	175,6806	176,0215	175,9716	175,6012	176,2701	176,537	175,992	176,9866	175,5683	175,9245	175,7427
	Leistung in mW	184,2962	184,2205	184,4506	185,0797	184,4164	183,9532	183,9764	185,2974	183,8826	183,7712	183,9588	184,1237	183,8444	183,5035	184,295	184,7096	184,1956	185	183,5302	184,1497	183,603

## xvii. Messdaten Szenario 2

### Messung 1

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1744	1742	1745	1747	1744	1745	1747	1748	1748	1746	1707	732	744	740	733	728	725	722	720	717	715
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	86,2	86,1	86,2	86,2	86,2	86,1	86,2	86,2	86,2	86,2	88	204,2	200,3	199,4	206,1	207,3	206,7	206,1	205,4	204,8	204,1
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	72,31	72,32	72,3	72,35	72,36	72,33	72,37	72,2	72,47	72,32	72,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1851	1851	1853	1855	1853	1853	1855	1856	1853	1851	1819	866	866	863	856	850	847	844	842	839	837
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	66,1	66,9	66,8	67,2	67,2	66,8	67	66,8	65,1	65,3	65,1	76,5	81,3	81,3	81,2	81,2	81,2	81,2	81,2	81,2	81,2
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1894	1893	1896	1897	1895	1896	1897	1898	1898	1896	1897	723	723	723	723	723	723	723	723	723	723
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	92,31	92,32	92,3	92,35	92,36	92,33	92,37	92,2	92,47	92,32	92,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	751	755	751	743	739	736	733	731	729	726
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	118	117	120	125	124	124	123	123	122
Gasspeicher	Gasmenge in ml	20	20	20	20,5	20,5	21	21	21,5	21,5	22	22	22,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5

### Messung 2

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1756	1759	1763	1758	1756	1756	1759	1754	1756	1754	1755	732	730	723	721	719	717	715	713	712	710
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	85,3	85,4	85,5	85,4	85,2	85,3	85,4	85,2	85,3	85,2	85,3	204,2	203,6	209	208,7	208,2	207,7	207,1	206,7	204,6	204,3
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	72,3	73,2	74,2	73	72	72,3	73,3	72,2	72,7	72,2	72,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1851	1856	1858	1853	1850	1852	1855	1849	1851	1850	1850	855	852	845	843	841	839	837	836	835	833
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	65,4	71,5	65,8	65,2	65,1	66,4	66	65,4	64,8	65,3	65,3	81,9	82	81,8	81,9	81,9	81,9	81,9	82,2	82	81,9
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1900	1903	1910	1904	1900	1899	1904	1896	1899	1895	1895	732	732	732	732	732	732	732	732	732	732
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	91,7	91,5	93,5	73	91,7	90,8	92,1	91,5	92,9	91,8	92,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	743	741	734	732	730	728	726	724	723	721
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	120	126	125	125	125	124	123	121	121
Gasspeicher	Gasmenge in ml	20	20	20,5	20,5	21	21	21,5	21,5	22	22	22	21,5	21	20	19	18,5	18	17	16	15	14

## Messung 3

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1750	1748	1751	1748	1745	1748	1746	1748	1749	1751	1754	736	731	729	727	722	721	719	717	716	714
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	86	86	86	85,9	85,9	85,9	86	86	86	86	86,1	204,6	205,7	205,1	204,6	207,9	207,5	207	206,6	206,2	205,8
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1511	1512	1512	1512	1512	1512	1512	1512	1512	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	71,5	71	71,8	70,7	70,3	70,2	69,8	70,5	70,7	71	71,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1844	1843	1845	1842	1842	1842	1842	1843	1844	1845	1847	862	857	855	853	848	847	845	843	841	840
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	64,2	64,5	64,5	64,5	65,1	64,9	65,1	65	64,7	64,7	64,1	84,3	84,4	84,3	84,2	84,3	84,3	84,4	84,4	84,4	84,4
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1895	1891	1896	1890	1888	1895	1890	1891	1892	1894	1898	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	92,8	92	92,8	91,8	90,7	90,8	90,4	91,2	91,8	91,8	93,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	746	747	739	737	733	731	730	728	726	724
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	120	120	119	122	122	121	121	121	120
Gasspeicher	Gasmenge in ml	20	20	20	20,5	20,5	21	21	21,5	21,5	22	22	21	20	19	18	17,5	17	16	15	14,5	14

## Messung 4

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1752	1752	1753	1750	1747	1750	1749	1753	1753	1750	1749	715	710	711	732	725	726	724	722	720	720
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	86,2	86,2	86,3	86,2	86,1	86,2	86,1	86,2	86,3	86,1	86,1	207,3	205,8	206,1	207,5	207,3	206,8	206,2	205,8	205,4	203,6
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1511	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	71,5	71,7	71,9	71,1	70,2	71,2	70,7	71,8	71,7	70,8	70,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1851	1847	1848	1845	1843	1846	1844	1848	1848	1845	1844	842	836	838	859	856	853	851	849	847	847
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	65,4	64,5	65,1	64,9	65,3	65,1	65,1	64,7	64,6	65,3	65,4	84,8	84,7	84,7	84,9	85,1	85	85,1	85	85,1	85
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1893	1892	1893	1889	1884	1889	1887	1893	1893	1887	1885	714	714	714	714	714	714	714	714	714	714
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	92,5	93,1	92,5	91,7	90,6	91,8	91,1	92,7	93,1	91,3	90,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	725	720	721	742	739	736	734	732	730	730
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	120	120	121	121	121	120	120	119	115
Gasspeicher	Gasmenge in ml	20	20	20	20,5	20,5	21	21	21,5	21,5	22	22	21	20	19	18	17,5	17	16	15	14,5	14

# Messung 5

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1752	1750	1753	1754	1748	1752	1750	1748	1750	1750	1751	712	707	731	730	727	725	723	721	719	718
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	86,2	86,2	86,3	86,3	86,1	86,2	86,1	86,1	86,2	86,2	86,2	206,5	205	212	207,4	207	206,5	206,1	205,6	205,2	204,9
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	71,7	71	71,8	72,1	70,4	71,5	70,8	70,3	70,9	70,9	71,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1846	1845	1848	1848	1844	1847	1846	1844	1845	1845	1846	839	834	858	857	855	852	851	848	847	845
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	64,7	64,8	64,6	64,3	65,2	64,7	64,8	65,3	65,2	65,3	65,1	85	84,9	84,9	84,9	85,4	84,9	85,3	84,9	85,1	85,1
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1892	1889	1894	1895	1885	1891	1887	1884	1888	1888	1889	708	708	708	708	708	708	708	708	708	708
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	92,6	92	93,2	93,5	91,1	92,5	92	90,7	91,3	91,2	91,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	723	717	742	740	738	735	733	731	730	728
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	119	126	121	121	120	120	119	119	119
Gasspeicher	Gasmenge in ml	20	20	20	20,5	20,5	20,5	21	21	21	21,5	21,5	20	19	18,5	18	17	16	15	14	13,5	13

# Mittelwert

Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mV	1750,8	1750,2	1753	1751,4	1748	1750,2	1750,2	1750,2	1751,2	1750,2	1743,2	725,4	724,4	726,8	728,6	724,2	722,8	720,6	718,6	716,8	715,4
	(xi - x)^2	46,24	67,24	64	19,36	16	27,04	10,24	4,84	10,24	17,64	1310,44	43,56	384,16	174,24	19,36	14,44	4,84	1,96	1,96	0,04	0,16
		27,04	77,44	100	43,56	64	33,64	77,44	14,44	23,04	14,44	139,24	43,56	31,36	14,44	57,76	27,04	33,64	31,36	31,36	23,04	29,16
		0,64	4,84	4	11,56	9	4,84	17,64	4,84	4,84	0,64	116,64	112,36	43,56	4,84	2,56	4,84	3,24	2,56	2,56	0,64	1,96
		1,44	3,24	0	1,96	1	0,04	1,44	7,84	3,24	0,04	33,64	108,16	207,36	249,64	11,56	0,64	10,24	11,56	11,56	10,24	21,16
		1,44	0,04	0	6,76	0	3,24	0,04	4,84	1,44	0,04	60,84	179,56	302,76	17,64	1,96	7,84	4,84	5,76	5,76	4,84	6,76
	Standartabweichung in mV	1,959592	2,764055	2,898275	2,039608	2,12132	1,854724	2,310844	1,356466	1,462874	1,280625	9,112629	4,935585	6,961322	4,8	2,158703	1,655295	1,68523	1,630951	1,630951	1,392839	1,720465
	Unsicherheit in mV	1,979592	2,784055	2,918275	2,059608	2,14132	1,874724	2,330844	1,376466	1,482874	1,300625	9,132629	4,955585	6,981322	4,82	2,178703	1,675295	1,70523	1,650951	1,650951	1,412839	1,740465
	Unsicherheit in %	0,113068	0,159071	0,166473	0,117598	0,122501	0,107115	0,133176	0,078646	0,084678	0,074313	0,5239	0,683152	0,963739	0,663181	0,299026	0,23133	0,23592	0,229108	0,229745	0,197104	0,243286
Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mA	85,98	85,98	86,06	86	85,9	85,94	85,96	85,92	86	85,94	86,34	205,36	204,08	206,32	206,86	207,54	207,04	206,5	206,02	205,24	204,54
	(xi - x)^2	0,0484	0,0144	0,0196	0,04	0,09	0,0256	0,0576	0,0784	0,04	0,0676	2,7556	1,3456	14,2884	47,8864	0,5776	0,0576	0,1156	0,16	0,3844	0,1936	0,1936
		0,4624	0,3364	0,3136	0,36	0,49	0,4096	0,3136	0,5184	0,49	0,5476	1,0816	1,3456	0,2304	7,1824	3,3856	0,4356	0,4356	0,36	0,4624	0,4096	0,0576
		0,0004	0,0004	0,0036	0,01	0	0,0016	0,0016	0,0004	0	0,0036	0,0576	0,5776	2,6244	1,4884	5,1076	0,1296	0,2116	0,25	0,3364	0,9216	1,5876
		0,0484	0,0484	0,0576	0,04	0,04	0,0676	0,0196	0,0784	0,09	0,0256	0,0576	3,7636	2,9584	0,0484	0,4096	0,0576	0,0576	0,09	0,0484	0,0256	0,8836
		0,0484	0,0484	0,0576	0,09	0,04	0,0676	0,0196	0,0324	0,04	0,0676	0,0196	1,2996	0,8464	32,2624	0,2916	0,2916	0,2916	0,16	0,1764	0,0016	0,1296
	Standartabweichung in mA	0,174356	0,149666	0,150333	0,164317	0,181659	0,169115	0,143527	0,188149	0,181659	0,18868	0,445646	0,645446	1,023426	2,107937	0,698999	0,220454	0,235797	0,225832	0,26533	0,278568	0,377624
	Unsicherheit in mA	0,194356	0,169666	0,170333	0,184317	0,201659	0,189115	0,163527	0,208149	0,201659	0,20868	0,465646	0,665446	1,043426	2,127937	0,718999	0,240454	0,255797	0,245832	0,28533	0,298568	0,397624
	Unsicherheit in %	0,226048	0,197332	0,197923	0,214322	0,23476	0,220055	0,190236	0,242259	0,234487	0,24282	0,539316	0,324039	0,511283	1,031377	0,347578	0,115859	0,123549	0,119047	0,138496	0,145473	0,194399

Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mV	1512,2	1512,8	1512,8	1512,8	1512,8	1512,8	1513	1513	1513	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	
	(xi - x)^2	0,64	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0	0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		0,64	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	1	1	1	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
		1,44	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	1	1	1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		1,44	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0	0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		0,64	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0	0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	Standartabweichung in mV	0,489898	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,316228	0,316228	0,316228	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Unsicherheit in mV	0,509898	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,336228	0,336228	0,336228	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
Unsicherheit in %	0,033719	0,014543	0,014543	0,014543	0,014543	0,014543	0,022223	0,022223	0,022223	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	0,014539	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mA	71,862	71,844	72,4	71,85	71,052	71,506	71,394	71,4	71,694	71,444	71,738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	(xi - x)^2	0,200704	0,226576	0,01	0,25	1,710864	0,678976	0,952576	0,64	0,602176	0,767376	0,304704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,191844	1,838736	3,24	1,3225	0,898704	0,630436	3,632836	0,64	1,012036	0,571536	0,925444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,131044	0,712336	0,36	1,3225	0,565504	1,705636	2,540836	0,81	0,988036	0,197136	0,026244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,131044	0,020736	0,25	0,5625	0,725904	0,093636	0,481636	0,16	3,6E-05	0,414736	1,295044	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,026244	0,712336	0,36	0,0625	0,425104	3,6E-05	0,352836	1,21	0,630436	0,295936	0,289444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Standartabweichung in mA	0,18451	0,41897	0,459347	0,419524	0,465085	0,394254	0,630901	0,415933	0,40204	0,335166	0,376887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Unsicherheit in mA	0,20451	0,43897	0,479347	0,439524	0,485085	0,414254	0,650901	0,435933	0,42204	0,355166	0,396887	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		
Unsicherheit in %	0,284587	0,611005	0,662082	0,611724	0,682718	0,579327	0,911703	0,61055	0,588668	0,497125	0,553245	#DIV/0!											
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mV	1848,6	1848,4	1850,4	1848,6	1846,4	1848	1848,4	1848	1848,2	1847,2	1841,2	852,8	849	851,8	853,6	850	847,6	845,6	843,6	841,8	840,4	
	(xi - x)^2	5,76	6,76	6,76	40,96	43,56	25	43,56	64	23,04	14,44	492,84	174,24	289	125,44	5,76	0	0,36	2,56	2,56	7,84	11,56	
		5,76	57,76	57,76	19,36	12,96	16	43,56	1	7,84	7,84	77,44	4,84	9	46,24	112,36	81	73,96	73,96	57,76	46,24	54,76	
		21,16	29,16	29,16	43,56	19,36	36	40,96	25	17,64	4,84	33,64	84,64	64	10,24	0,36	4	0,36	0,36	0,36	0,64	0,16	
		5,76	1,96	5,76	12,96	11,56	4	19,36	0	0,04	4,84	7,84	116,64	169	190,44	29,16	36	29,16	29,16	29,16	27,04	43,56	
		6,76	11,56	5,76	0,36	5,76	1	5,76	16	10,24	4,84	23,04	190,44	225	38,44	11,56	25	19,36	29,16	19,36	27,04	21,16	
	Standartabweichung in mV	1,50333	2,315167	2,293469	2,420744	2,158703	2,024846	2,767671	2,302173	1,714643	1,356466	5,633826	5,342284	6,14817	4,532108	2,821347	2,701851	2,481935	2,6	2,336664	2,332381	2,56125	
Unsicherheit in mV	1,52333	2,335167	2,313469	2,440744	2,178703	2,044846	2,787671	2,322173	1,734643	1,376466	5,653826	5,362284	6,16817	4,552108	2,841347	2,721851	2,501935	2,62	2,356664	2,352381	2,58125		
Unsicherheit in %	0,082405	0,126335	0,125025	0,132032	0,117997	0,110652	0,150815	0,125659	0,093856	0,074516	0,307073	0,628786	0,726522	0,53441	0,332866	0,320218	0,295179	0,309839	0,279358	0,279447	0,307145		
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mA	65,16	66,44	65,36	65,22	65,58	65,58	65,6	65,44	64,88	65,18	65	82,5	83,46	83,4	83,42	83,58	83,46	83,58	83,54	83,56	83,52	
	(xi - x)^2	0,8836	0,2116	2,0736	3,9204	2,6244	1,4884	1,96	1,8496	0,0484	0,0144	0,01	36	4,6656	4,41	4,9284	5,6644	5,1076	5,6644	5,4756	5,5696	5,3824	
		0,0576	25,6036	0,1936	0,0004	0,2304	0,6724	0,16	0,0016	0,0064	0,0144	0,09	0,36	2,1316	2,56	2,3104	2,8224	2,4336	2,8224	1,7956	2,4336	2,6244	
		0,9216	3,7636	0,7396	0,5184	0,2304	0,4624	0,25	0,1936	0,0324	0,2304	0,81	3,24	0,8836	0,81	0,6084	0,5184	0,7056	0,6724	0,7396	0,7056	0,7744	
		0,0576	3,7636	0,0676	0,1024	0,0784	0,2304	0,25	0,5476	0,0784	0,0144	0,16	5,29	1,5376	1,69	2,1904	2,3104	2,3716	2,3104	2,1316	2,3716	2,1904	
		0,2116	2,6896	0,5776	0,8464	0,1444	0,7744	0,64	0,0196	0,1024	0,0144	0,01	6,25	2,0736	2,25	2,1904	3,3124	2,0736	2,9584	1,8496	2,3716	2,4964	
	Standartabweichung in mA	0,326497	1,342237	0,427317	0,519038	0,406694	0,425911	0,403733	0,361386	0,115758	0,12	0,232379	1,599062	0,751399	0,765506	0,781921	0,855219	0,796618	0,849353	0,774338	0,820122	0,82061	
Unsicherheit in mA	0,346497	1,362237	0,447317	0,539038	0,426694	0,445911	0,423733	0,381386	0,135758	0,14	0,252379	1,619062	0,771399	0,785506	0,801921	0,875219	0,816618	0,869353	0,794338	0,840122	0,84061		
Unsicherheit in %	0,531763	2,050327	0,68439	0,826491	0,650647	0,679949	0,645934	0,582803	0,209245	0,21479	0,388275	1,9625	0,924274	0,941854	0,961305	1,047164	0,978454	1,040144	0,950848	1,005412	1,006477		

Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mV	1894,8	1893,6	1897,8	1895	1890,4	1894	1893	1892,4	1894	1892	1892,8	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	
	(xi - x)^2	0,64	0,36	3,24	4	21,16	4	16	31,36	16	16	17,64	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
		27,04	88,36	148,84	81	92,16	25	121	12,96	25	9	4,84	92,16	92,16	92,16	92,16	92,16	92,16	92,16	92,16	92,16	92,16	
		0,04	6,76	3,24	25	5,76	1	9	1,96	4	4	27,04	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	
		3,24	2,56	23,04	36	40,96	25	36	0,36	1	25	60,84	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	70,56	
		7,84	21,16	14,44	0	29,16	9	36	70,56	36	16	14,44	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	
	Standartabweichung in mV	1,392839	2,441311	3,104835	2,701851	3,075711	1,788854	3,301515	2,420744	2,024846	1,870829	2,497999	5,143928	5,143928	5,143928	5,143928	5,143928	5,143928	5,143928	5,143928	5,143928	5,143928	
	Unsicherheit in mV	1,412839	2,461311	3,124835	2,721851	3,095711	1,808854	3,321515	2,440744	2,044846	1,890829	2,517999	5,163928	5,163928	5,163928	5,163928	5,163928	5,163928	5,163928	5,163928	5,163928	5,163928	
	Unsicherheit in %	0,074564	0,129981	0,164656	0,143633	0,16376	0,095504	0,175463	0,128976	0,107964	0,099938	0,13303	0,71483	0,71483	0,71483	0,71483	0,71483	0,71483	0,71483	0,71483	0,71483	0,71483	
Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mA	92,382	92,184	92,86	88,47	91,292	91,646	91,594	91,66	92,314	91,684	92,198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	(xi - x)^2	0,005184	0,018496	0,3136	15,0544	1,140624	0,467856	0,602176	0,2916	0,024336	0,404496	0,008464	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,465124	0,467856	0,4096	239,3209	0,166464	0,715716	0,256036	0,0256	0,343396	0,013456	0,492804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,174724	0,033856	0,0036	11,0889	0,350464	0,715716	1,425636	0,2116	0,264196	0,013456	1,004004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,013924	0,839056	0,1296	10,4329	0,478864	0,023716	0,244036	1,0816	0,617796	0,147456	1,954404	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0,047524	0,033856	0,1156	25,3009	0,036864	0,729316	0,164836	0,9216	1,028196	0,234256	0,158404	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Standartabweichung in mA	0,187947	0,263924	0,220454	3,880709	0,329642	0,364165	0,366928	0,355809	0,337485	0,201633	0,425328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Unsicherheit in mA	0,207947	0,283924	0,240454	3,900709	0,349642	0,384165	0,386928	0,375809	0,357485	0,221633	0,445328	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
	Unsicherheit in %	0,225094	0,307997	0,258943	4,409075	0,382993	0,419183	0,422438	0,410003	0,387249	0,241736	0,483013	#DIV/0!										
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Mittelwert in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	737,6	736	737,4	738,8	735,8	733,2	731,2	729,2	727,6	725,8	
	(xi - x)^2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179,56	361	184,96	17,64	10,24	7,84	3,24	3,24	1,96	0,04	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,16	25	11,56	46,24	33,64	27,04	27,04	21,16	23,04		
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70,56	121	2,56	3,24	7,84	4,84	1,44	1,44	2,56	3,24	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158,76	256	268,96	10,24	10,24	7,84	7,84	7,84	5,76	17,64	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213,16	361	21,16	1,44	4,84	3,24	3,24	3,24	5,76	4,84	
	Standartabweichung in mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,706137	7,496666	4,945705	1,984943	1,827567	1,593738	1,462874	1,462874	1,363818	1,56205	
	Unsicherheit in mV	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	5,726137	7,516666	4,965705	2,004943	1,847567	1,613738	1,482874	1,482874	1,383818	1,58205	
	Unsicherheit in %	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,77632	1,021286	0,673407	0,271378	0,251096	0,220095	0,2028	0,203356	0,190189	0,217973	
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Mittelwert in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119,8	119,4	121,8	121,2	122,8	122,4	121,8	121,2	120,6	119,4	
	(xi - x)^2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,24	1,96	23,04	1,44	4,84	2,56	4,84	3,24	5,76	6,76	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,44	0,36	17,64	14,44	4,84	6,76	4,84	3,24	0,16	2,56	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,24	0,36	3,24	4,84	0,64	0,16	0,64	0,04	0,16	0,36	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,44	0,36	3,24	0,04	3,24	1,96	3,24	1,44	2,56	19,36	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,44	0,16	17,64	0,04	3,24	5,76	3,24	4,84	2,56	0,16	
	Standartabweichung in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,734847	0,4	1,8	1,019804	0,916515	0,927362	0,916515	0,8	0,748331	1,208305	
	Unsicherheit in mA	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,754847	0,42	1,82	1,039804	0,936515	0,947362	0,936515	0,82	0,768331	1,228305	
	Unsicherheit in %	#DIV/0!	0,630089	0,351759	1,494253	0,857924	0,762634	0,773988	0,768896	0,676568	0,637091	1,028731											

Gasspeicher	Mittelwert in ml	20	20	20,1	20,5	20,6	20,9	21,1	21,4	21,5	21,9	21,9	21,2	20,5	19,6	18,7	18	17,3	16,3	15,3	14,6	13,9	
	(xi - x)^2	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	1,69	4	3,61	3,24	2,25	1,44	1,44	1,44	0,81	0,36	
		0	0	0,16	0	0,16	0,01	0,16	0,01	0,01	0,25	0,01	0,01	0,09	0,25	0,16	0,09	0,25	0,49	0,49	0,49	0,16	0,01
		0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,04	0,25	0,36	0,49	0,25	0,09	0,09	0,09	0,01	0,01	
		0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,04	0,25	0,36	0,49	0,25	0,09	0,09	0,09	0,01	0,01	
		0	0	0,01	0	0,01	0,16	0,01	0,16	0,25	0,16	0,16	1,44	2,25	1,21	0,49	1	1,69	1,69	1,69	1,21	0,81	
	Standartabweichung in ml	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,158114	0,1	0,1	0,406202	0,591608	0,533854	0,489898	0,447214	0,43589	0,43589	0,331662	0,244949	
	Unsicherheit in ml	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,558114	0,5	0,5	0,806202	0,991608	0,933854	0,889898	0,847214	0,83589	0,83589	0,731662	0,644949	
Unsicherheit in %	2	2	2,487562	1,95122	2,427184	2,392344	2,369668	2,336449	2,595879	2,283105	2,283105	3,802839	4,837112	4,764561	4,758813	4,706742	4,831733	5,128159	5,463333	5,011387	4,639921		

## Ergebniss

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1750,8	1750,2	1753	1751,4	1748	1750,2	1750,2	1750,2	1751,2	1750,2	1743,2	725,4	724,4	726,8	728,6	724,2	722,8	720,6	718,6	716,8	715,4
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	85,98	85,98	86,06	86	85,9	85,94	85,96	85,92	86	85,94	86,34	205,36	204,08	206,32	206,86	207,54	207,04	206,5	206,02	205,24	204,54
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1512,2	1512,8	1512,8	1512,8	1512,8	1513	1513	1513	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2	1513,2
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	71,862	71,844	72,4	71,85	71,052	71,506	71,394	71,4	71,694	71,444	71,738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1848,6	1848,4	1850,4	1848,6	1846,4	1848	1848,4	1848	1848,2	1847,2	1841,2	852,8	849	851,8	853,6	850	847,6	845,6	843,6	841,8	840,4
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	65,16	66,44	65,36	65,22	65,58	65,58	65,6	65,44	64,88	65,18	65	82,5	83,46	83,4	83,42	83,58	83,46	83,58	83,54	83,56	83,52
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1894,8	1893,6	1897,8	1895	1890,4	1894	1893	1892,4	1894	1892	1892,8	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4	722,4
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	92,382	92,184	92,86	88,47	91,292	91,646	91,594	91,66	92,314	91,684	92,198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	737,6	736	737,4	738,8	735,8	733,2	731,2	729,2	727,6	725,8
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119,8	119,4	121,8	121,2	122,8	122,4	121,8	121,2	120,6	119,4
Gasspeicher	Gasmenge in ml	20	20	20,1	20,5	20,6	20,9	21,1	21,4	21,5	21,9	21,9	21,2	20,5	19,6	18,7	18	17,3	16,3	15,3	14,6	13,9

Verbraucher	Leistung in mW	150,5338	150,4822	150,8632	150,6204	150,1532	150,4122	150,4472	150,3772	150,6032	150,4122	150,5079	148,9681	147,8356	149,9534	150,7182	150,3005	149,6485	148,8039	148,046	147,116	146,3279
	Unsicherheit Leistung in mW	0,340278	0,29695	0,298594	0,322812	0,3525	0,33099	0,286205	0,364302	0,353145	0,365231	0,811713	0,482714	0,755858	1,546585	0,523863	0,174137	0,18489	0,177146	0,205038	0,214013	0,28446
	Unsicherheit Leistung in %	0,226048	0,197332	0,197923	0,214322	0,23476	0,220055	0,190236	0,242259	0,234487	0,24282	0,539316	0,324039	0,511283	1,031377	0,347578	0,115859	0,123549	0,119047	0,138496	0,145473	0,194399
Elektrolyseur	Leistung in mW	108,6697	108,6856	109,5267	108,6947	107,4875	108,1743	108,0191	108,0282	108,473	108,1091	108,5539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unsicherheit Leistung in mW	0,30926	0,664074	0,725157	0,664911	0,733836	0,626683	0,984813	0,659566	0,638546	0,537437	0,60057	0,030264	0,030264	0,030264	0,030264	0,030264	0,030264	0,030264	0,030264	0,030264	0,030264
	Unsicherheit Leistung in %	0,284587	0,611005	0,662082	0,611724	0,682718	0,579327	0,911703	0,61055	0,588668	0,497125	0,553245	#DIV/0!									
Solar	Leistung in mW	120,4548	122,8077	120,9421	120,5657	121,0869	121,1918	121,255	120,9331	119,9112	120,4005	119,678	70,356	70,85754	71,04012	71,20731	71,043	70,7407	70,67525	70,47434	70,34081	70,19021
	Unsicherheit Leistung in mW	0,640534	2,517959	0,827716	0,996465	0,787848	0,824043	0,783227	0,704802	0,250909	0,258608	0,46468	1,380736	0,654917	0,669094	0,68452	0,743936	0,692165	0,735125	0,670104	0,707215	0,706448
	Unsicherheit Leistung in %	0,531763	2,050327	0,68439	0,826491	0,650647	0,679949	0,645934	0,582803	0,209245	0,21479	0,388275	1,9625	0,924274	0,941854	0,961305	1,047164	0,978454	1,040144	0,950848	1,005412	1,006477
Wind	Leistung in mW	175,0454	174,5596	176,2297	167,6507	172,5784	173,5775	173,3874	173,4574	174,8427	173,4661	174,5124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unsicherheit Leistung in mW	394,0176	537,6389	456,3337	7391,843	660,9637	727,6081	732,4543	711,1808	677,0762	419,3303	842,917	14,448	14,448	14,448	14,448	14,448	14,448	14,448	14,448	14,448	14,448
	Unsicherheit Leistung in %	225,0945	307,9973	258,9426	4409,075	382,9933	419,1834	422,4379	410,0032	387,2488	241,7361	483,0128	#DIV/0!									
Brennstoffzelle	Leistung in mW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88,36448	87,8784	89,81532	89,54256	90,35624	89,74368	89,06016	88,37904	87,74856	86,66052
	Unsicherheit Leistung in mW	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,556775	0,30912	1,342068	0,768207	0,689088	0,694606	0,68478	0,597944	0,559038	0,891503
	Unsicherheit Leistung in %	#DIV/0!	0,630089	0,351759	1,494253	0,857924	0,762634	0,773988	0,768896	0,676568	0,637091	1,028731										
Energiekonsum Energieerzeugung	Leistung in mW	259,2035	259,1678	260,3899	259,3151	257,6407	258,5865	258,4663	258,4054	259,0762	258,5212	259,0618	148,9681	147,8356	149,9534	150,7182	150,3005	149,6485	148,8039	148,046	147,116	146,3279
	Leistung in mW	295,5002	297,3673	297,1719	288,2163	293,6653	294,7694	294,6425	294,3905	294,7539	293,8666	294,1904	158,7205	158,7359	160,8554	160,7499	161,3992	160,4844	159,7354	158,8534	158,0894	156,8507

## xviii. Messdaten Szenario 3

### Messung 1

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	777	753	766	1646	1646	1527	1527	1754	1752	1754	1750	1749	1751	1752	1752	1555	1553	1659	1661	732	740
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	70,4	69,4	69,9	61,4	61,4	98,2	98,3	57,2	57	57,1	57	57	57,1	57,1	57	96,4	96,3	60,8	60,8	70,3	71,2
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1131	1125	1119	1498	1438	1476	1476	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1485	1484	1503	1503	1377	1362
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	0	0	0	44,6	44,4	14,6	14,7	72,7	72,3	72,7	72,5	72,7	72,3	72,4	72	20,6	20,1	47,4	47,9	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	801	777	790	1756	1755	1643	1642	1908	1905	1906	1904	1902	1903	1903	1902	1677	1675	1774	1776	749	767
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	16,5	16,7	16,7	73,5	73,4	76,9	76,9	102,1	102,3	101,6	102,1	102	101,1	100,7	100,8	81,9	81,9	76,6	76,5	18,3	18,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	859	835	847	1694	1694	1582	1580	1797	1792	1797	1791	1789	1793	1795	1794	1608	1606	1707	1709	803	823
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	53,7	52,5	53	31,9	32,4	36,2	35,4	28,2	26,9	27,9	26,8	26,8	28,5	27,9	27,5	34,7	34,3	30,6	32,2	51,9	52,8
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3

### Messung 2

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	770	770	770	1642	1642	1526	1527	1754	1753	1754	1751	1752	1751	1750	1750	1553	1554	1657	1659	735	728
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	69,8	69,8	70,1	61,3	61,3	98,4	98,3	57,1	57,1	57,1	57	57,1	57	57	57,1	96,3	96,4	60,8	60,8	71	70,6
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1128	1128	1122	1497	1497	1476	1476	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1514	1513	1484	1485	1502	1503	1383	1370
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	0	0	0	43,5	43,5	14,5	14,6	72,3	72,3	72,5	72,4	72,3	72	72,1	71,8	20,4	20,4	47,2	47,4	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	793	793	794	1753	1752	1641	1642	1908	1907	1907	1904	1904	1903	1902	1901	1676	1677	1773	1774	761	755
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	16,6	16,6	16,7	73,7	73,7	77	76,9	102,4	102	101,7	102,1	101,5	101,5	101,3	101	81,8	81,8	76,7	76,6	18,3	18,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	849	849	852	1689	1687	1578	1581	1797	1796	1798	1792	1794	1793	1791	1791	1606	1608	1706	1706	816	810
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	53,1	53,1	53,2	31,3	30,7	35,3	35,6	27,66	27,4	28,1	26	27,2	26,4	27,4	28,1	34,6	34,9	31,1	31,1	52,5	52,2
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3

## Messung 3

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	
	Modus	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	730	744	725	1657	1660	1544	1544	1757	1756	1756	1756	1753	1754	1751	1753	1554	1556	1656	1656	745	730	
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	70,7	71,4	70,5	60,6	60,7	97,9	97,9	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,4	57,5	96,7	96,7	61,8	61	70,6	70,5	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1325	1312	1300	1500	1501	1482	1482	1513	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1486	1486	1503	1504	1419	1396	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	0	0	0	47,3	48,1	18	18,9	73,9	73,6	73,3	73,2	72,4	72,6	72	72,5	19,9	20,6	46	46,2	0	0	
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	757	771	752	1773	1775	1665	1665	1913	1911	1909	1909	1906	1906	1904	1905	1676	1677	1770	1770	771	756	
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	18,3	18,3	18,3	77,2	76,7	80,9	80,9	103,6	103,4	102,8	102,3	102,5	102	102,2	101,4	81,7	81,7	76,4	76,5	18,3	18,3	
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	812	828	808	1704	1709	1598	1598	1799	1797	1798	1798	1793	1795	1792	1795	1607	1610	1704	1702	823	808	
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	52,2	53	51,9	30,5	32	34,5	35,7	27,3	26,6	27,1	27,4	26,4	27,6	26,7	27,7	34,3	35,4	32,3	30,5	52,2	52	
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	2,5	3	

## Messung 4

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	731	729	750	1656	1656	1542	1545	1758	1756	1753	1754	1752	1750	1752	1753	1555	1555	1658	1658	700	712
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	70,7	70,6	71,8	61,3	60,6	98,1	97,9	57,5	57,5	57,5	57,9	57,4	57,4	57,4	57,5	96,7	96,7	61,2	61,1	68,9	70,1
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1325	1319	1306	1500	1501	1482	1481	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1486	1486	1504	1504	1402	1389
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	0	0	0	47,2	47	17,7	18,9	73,9	73,3	72,7	72,7	72,2	71,6	72,1	72,2	20,4	20,2	46,5	46,6	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	758	756	776	1773	1772	1664	1667	1912	1910	1908	1906	1904	1902	1903	1903	1677	1677	1773	1773	729	739
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	18,3	18,3	18,3	77,4	76,9	80,9	80,9	103,4	103,2	103,1	102,1	101,8	101,8	101,3	100,8	81,7	81,5	76,3	76,2	18,3	18,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	812	812	835	1705	1703	1597	1599	1799	1796	1794	1795	1793	1791	1794	1796	1608	1608	1705	1706	772	792
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	52,2	52,2	53,5	31,3	30,5	34,5	35,7	27,1	27,4	26,6	28,2	27,4	26,8	27,1	28,3	35,1	34,8	32,3	31,8	50,4	51,6
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3

# Messung 5

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	
	Modus	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	777	759	743	1642	1643	1522	1525	1754	1753	1754	1751	1752	1752	1750	1748	1553	1553	1659	1661	729	755	
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	70,4	69,5	68,7	61,3	61,3	98,2	98,2	57,1	57,1	57,1	57,1	57,1	57,1	57,1	57	96,3	96,3	60,7	60,8	70,6	71,9	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1127	1127	1121	1497	1497	1475	1476	1513	1513	1513	1513	1513	1513	1514	1514	1484	1484	1502	1503	1381	1367	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	0	0	0	47,2	47,5	18	18,5	73,9	73,9	73,5	73,9	73,2	73,9	73,9	73,9	20,1	20,7	47,3	47,8	0	0	
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	790	783	767	1752	1753	1637	1640	1908	1907	1906	1904	1903	1903	1902	1900	1675	1675	1774	1775	755	782	
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	16,5	16,6	16,71	73,7	73,7	76,9	76,9	102,4	102,1	101,8	101,9	101,5	101,2	101,4	101,5	81,8	81,9	76,7	76,5	18,3	18,3	
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	859	847	824	1688	1688	1573	1577	1797	1795	1796	1793	1793	1794	1791	1788	1606	1605	1707	1709	810	840	
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	52,6	52,8	51,9	31,1	31,3	34,5	35,2	27,1	26,7	28,5	28	27	28,2	27,7	26,3	34,3	34,5	30,8	31,6	52,1	53,6	
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3	

# Mittelwert

Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mV	757	751	750,8	1648,6	1649,4	1532,2	1533,6	1755,4	1754	1754,2	1752,4	1751,6	1751,6	1751	1751,2	1554	1554,2	1657,8	1659	728,2	733
	(xi - x)^2	400	4	231,04	6,76	11,56	27,04	43,56	1,96	4	0,04	5,76	6,76	0,36	1	0,64	1	1,44	1,44	4	14,44	49
		169	361	368,64	43,56	54,76	38,44	43,56	1,96	1	0,04	1,96	0,16	0,36	1	1,44	1	0,04	0,64	0	46,24	25
		729	49	665,64	70,56	112,36	139,24	108,16	2,56	4	3,24	12,96	1,96	5,76	0	3,24	0	3,24	3,24	9	282,24	9
		676	484	0,64	54,76	43,56	96,04	129,96	6,76	4	1,44	2,56	0,16	2,56	1	3,24	1	0,64	0,04	1	795,24	441
		400	64	60,84	43,56	40,96	104,04	73,96	1,96	1	0,04	1,96	0,16	0,16	1	10,24	1	1,44	1,44	4	0,64	484
	Standartabweichung in mV	10,89495	6,935416	8,144937	3,310589	3,627671	4,498889	4,467662	0,87178	0,83666	0,489898	1,122497	0,678233	0,678233	0,447214	0,969536	0,447214	0,583095	0,583095	0,948683	7,54586	7,099296
	Unsicherheit in mV	10,91495	6,955416	8,164937	3,330589	3,647671	4,518889	4,487662	0,89178	0,85666	0,509898	1,142497	0,698233	0,698233	0,467214	0,989536	0,467214	0,603095	0,603095	0,968683	7,56586	7,119296
	Unsicherheit in %	1,44187	0,926154	1,087498	0,202025	0,221151	0,294928	0,292623	0,050802	0,04884	0,029067	0,065196	0,039863	0,039863	0,026683	0,056506	0,030065	0,038804	0,036379	0,05839	1,038981	0,971255
Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mA	70,4	70,14	70,2	61,18	61,06	98,16	98,12	57,9	57,24	57,26	57,3	57,22	57,22	57,2	57,22	96,48	96,48	61,06	60,9	70,28	70,86
	(xi - x)^2	0	0,5476	0,09	0,0484	0,1156	0,0016	0,0324	0,49	0,0576	0,0256	0,09	0,0484	0,0144	0,01	0,0484	0,0064	0,0324	0,0676	0,01	0,0004	0,1156
		0,36	0,1156	0,01	0,0144	0,0576	0,0576	0,0324	0,64	0,0196	0,0256	0,09	0,0144	0,0484	0,04	0,0144	0,0324	0,0064	0,0676	0,01	0,5184	0,0676
		0,09	1,5876	0,09	0,3364	0,1296	0,0676	0,0484	7,29	0,0676	0,0576	0,04	0,0784	0,0784	0,04	0,0784	0,0484	0,0484	0,5476	0,01	0,1024	0,1296
		0,09	0,2116	2,56	0,0144	0,2116	0,0036	0,0484	0,16	0,0676	0,0576	0,36	0,0324	0,0324	0,04	0,0784	0,0484	0,0484	0,0196	0,04	1,9044	0,5776
		0	0,4096	2,25	0,0144	0,0576	0,0016	0,0064	0,64	0,0196	0,0256	0,04	0,0144	0,0144	0,01	0,0484	0,0324	0,0324	0,1296	0,01	0,1024	1,0816
	Standartabweichung in mA	0,164317	0,378946	0,5	0,146287	0,169115	0,08124	0,091652	0,67897	0,107703	0,09798	0,176068	0,096954	0,096954	0,083666	0,115758	0,091652	0,091652	0,203961	0,063246	0,362491	0,314006
	Unsicherheit in mA	0,184317	0,398946	0,52	0,166287	0,189115	0,10124	0,111652	0,69897	0,127703	0,11798	0,196068	0,116954	0,116954	0,103666	0,135758	0,111652	0,111652	0,223961	0,083246	0,382491	0,334006
	Unsicherheit in %	0,261814	0,568785	0,740741	0,2718	0,309721	0,103138	0,113791	1,207202	0,223101	0,206042	0,342178	0,204393	0,204393	0,181234	0,237257	0,115725	0,115725	0,366788	0,136692	0,544239	0,471361

Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mV	1207,2	1202,2	1193,6	1498,4	1486,8	1478,2	1478,2	1513,2	1513,4	1513,4	1513,4	1513,4	1513,4	1513,8	1513,6	1485	1485	1502,8	1503,4	1392,4	1376,8
	(xi - x)^2	5806,44	5959,84	5565,16	0,16	2381,44	4,84	4,84	0,04	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,64	0,36	0	1	0,04	0,16	237,16	219,04
		6272,64	5505,64	5126,56	1,96	104,04	4,84	4,84	0,04	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,04	0,36	1	0	0,64	0,16	88,36	46,24
		13876,84	12056,04	11320,96	2,56	201,64	14,44	14,44	0,04	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,04	0,16	1	1	0,04	0,36	707,56	368,64
		13876,84	13642,24	12633,76	2,56	201,64	14,44	14,44	7,84	0,64	0,36	0,36	0,36	0,36	0,04	0,16	1	1	1,44	0,36	92,16	148,84
		6432,04	5655,04	5270,76	1,96	104,04	10,24	4,84	0,04	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,04	0,16	1	1	0,64	0,16	129,96	96,04
	Standartabweichung in mV	48,09615	46,27029	44,67505	0,678233	12,23274	1,56205	1,356466	0,2	0,244949	0,244949	0,244949	0,244949	0,244949	0,2	0,244949	0,447214	0,447214	0,374166	0,244949	7,922121	6,628725
Unsicherheit in mV	48,11615	46,29029	44,69505	0,698233	12,25274	1,58205	1,376466	0,22	0,264949	0,264949	0,264949	0,264949	0,264949	0,22	0,264949	0,467214	0,467214	0,394166	0,264949	7,942121	6,648725	
Unsicherheit in %	3,985765	3,850465	3,744558	0,046599	0,824102	0,107025	0,093118	0,014539	0,017507	0,017507	0,017507	0,017507	0,017507	0,014533	0,017505	0,031462	0,031462	0,026229	0,017623	0,570391	0,482911	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mA	0	0	0	45,96	46,1	16,56	17,12	73,34	73,08	72,94	72,94	72,56	72,48	72,5	72,48	20,28	20,4	46,88	47,18	0	0
	(xi - x)^2	0	0	0	1,8496	2,89	3,8416	5,8564	0,4096	0,6084	0,0576	0,1936	0,0196	0,0324	0,01	0,2304	0,1024	0,09	0,2704	0,5184	0	0
		0	0	0	6,0516	6,76	4,2436	6,3504	1,0816	0,6084	0,1936	0,2916	0,0676	0,2304	0,16	0,4624	0,0144	0	0,2704	0,0484	0	0
		0	0	0	1,7956	4	2,0736	3,1684	0,3136	0,2704	0,1296	0,0676	0,0256	0,0144	0,25	0,0004	0,1444	0,04	0,7744	0,9604	0	0
		0	0	0	1,5376	0,81	1,2996	3,1684	0,3136	0,0484	0,0576	0,0576	0,1296	0,7744	0,16	0,0784	0,0144	0,04	0,1444	0,3364	0	0
		0	0	0	1,5376	1,96	2,0736	1,9044	0,3136	0,6724	0,3136	0,9216	0,4096	2,0164	1,96	2,0164	0,0324	0,09	0,1764	0,3844	0	0
	Standartabweichung in mA	0	0	0	0,799125	0,906091	0,822557	1,011138	0,348712	0,332265	0,193907	0,276767	0,180555	0,391663	0,356371	0,373363	0,124097	0,114018	0,270924	0,335261	0	0
Unsicherheit in mA	0,02	0,02	0,02	0,819125	0,926091	0,842557	1,031138	0,368712	0,352265	0,213907	0,296767	0,200555	0,411663	0,376371	0,393363	0,144097	0,134018	0,290924	0,355261	0,02	0,02	
Unsicherheit in %	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1,782255	2,008873	5,087905	6,023002	0,502743	0,482026	0,293265	0,406865	0,276398	0,567968	0,519132	0,54272	0,710536	0,656949	0,620572	0,752991	#DIV/0!	#DIV/0!	
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mV	779,8	776	775,8	1761,4	1761,4	1650	1651,2	1909,8	1908	1907,2	1905,4	1904	1903,4	1902,8	1902,2	1676,2	1676,2	1772,8	1773,6	753	759,8
	(xi - x)^2	449,44	1	201,64	29,16	40,96	49	84,64	3,24	9	1,44	1,96	4	0,16	0,04	0,04	0,64	1,44	1,44	5,76	16	51,84
		174,24	289	331,24	70,56	88,36	81	84,64	3,24	1	0,04	1,96	0	0,16	0,64	1,44	0,04	0,64	0,04	0,64	64	23,04
		519,84	25	566,44	134,56	184,96	225	190,44	10,24	9	3,24	12,96	4	6,76	1,44	7,84	0,04	0,64	7,84	12,96	324	14,44
		475,24	400	0,04	134,56	112,36	196	249,64	4,84	4	0,64	0,36	0	1,96	0,04	0,64	0,64	0,64	0,04	0,36	576	432,64
		104,04	49	77,44	88,36	70,56	169	125,44	3,24	1	1,44	1,96	0	0,16	0,64	4,84	1,44	1,44	1,44	1,96	4	492,84
	Standartabweichung in mV	9,281164	6,180615	7,670724	4,781213	4,98598	6	6,061353	1,113553	1,095445	0,583095	0,979796	0,632456	0,678233	0,374166	0,860233	0,374166	0,489898	0,734847	1,029563	7,014271	7,123202
Unsicherheit in mV	9,301164	6,200615	7,690724	4,801213	5,00598	6,02	6,081353	1,133553	1,115445	0,603095	0,999796	0,652456	0,698233	0,394166	0,880233	0,394166	0,509898	0,754847	1,049563	7,034271	7,143202	
Unsicherheit in %	1,192763	0,799048	0,991328	0,272579	0,284205	0,364848	0,368299	0,059355	0,058461	0,031622	0,052472	0,034268	0,036683	0,020715	0,046274	0,023515	0,03042	0,042579	0,059177	0,934166	0,940142	
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mA	17,24	17,3	17,342	75,1	74,88	78,52	78,5	102,78	102,6	102,2	102,1	101,86	101,52	101,38	101,1	81,78	81,76	76,54	76,46	18,3	18,3
	(xi - x)^2	0,5476	0,36	0,412164	2,56	2,1904	2,6244	2,56	0,4624	0,09	0,36	0	0,0196	0,1764	0,4624	0,09	0,0144	0,0196	0,0036	0,0016	0	0
		0,4096	0,49	0,412164	1,96	1,3924	2,3104	2,56	0,1444	0,36	0,25	0	0,1296	0,0004	0,0064	0,01	0,0004	0,0016	0,0256	0,0196	0	0
		1,1236	1	0,917764	4,41	3,3124	5,6644	5,76	0,6724	0,64	0,36	0,04	0,4096	0,2304	0,6724	0,09	0,0064	0,0036	0,0196	0,0016	0	0
		1,1236	1	0,917764	5,29	4,0804	5,6644	5,76	0,3844	0,36	0,81	0	0,0036	0,0784	0,0064	0,09	0,0064	0,0676	0,0576	0,0676	0	0
		0,5476	0,49	0,399424	1,96	1,3924	2,6244	2,56	0,1444	0,25	0,16	0,04	0,1296	0,1024	0,0004	0,16	0,0004	0,0196	0,0256	0,0016	0	0
	Standartabweichung in mA	0,433128	0,408656	0,391106	0,899444	0,786384	0,971802	0,979796	0,300666	0,291548	0,311448	0,063246	0,186011	0,171464	0,239583	0,148324	0,037417	0,074833	0,08124	0,067823	0	0
Unsicherheit in mA	0,453128	0,428656	0,411106	0,919444	0,806384	0,991802	0,999796	0,320666	0,311548	0,331448	0,083246	0,206011	0,191464	0,259583	0,168324	0,057417	0,094833	0,10124	0,087823	0,02	0,02	
Unsicherheit in %	2,628354	2,477782	2,370581	1,224293	1,076902	1,263121	1,273625	0,311993	0,303653	0,324313	0,081533	0,202249	0,188598	0,256049	0,166493	0,070209	0,11599	0,132271	0,114862	0,10929	0,10929	

Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mV	838,2	834,2	833,2	1696	1696,2	1585,6	1587	1797,8	1795,2	1796,6	1793,8	1792,4	1793,2	1792,6	1792,8	1607	1607,4	1705,8	1706,4	804,8	814,6
	(xi - x)^2	432,64	0,64	190,44	4	4,84	12,96	49	0,64	10,24	0,16	7,84	11,56	0,04	5,76	1,44	1	1,96	1,44	6,76	3,24	70,56
		116,64	219,04	353,44	49	84,64	57,76	36	0,64	0,64	1,96	3,24	2,56	0,04	2,56	3,24	1	0,36	0,04	0,16	125,44	21,16
		686,44	38,44	635,04	64	163,84	153,76	121	1,44	3,24	1,96	17,64	0,36	3,24	0,36	4,84	0	6,76	3,24	19,36	331,24	43,56
		686,44	492,84	3,24	81	46,24	129,96	144	1,44	0,64	6,76	1,44	0,36	4,84	1,96	10,24	1	0,36	0,64	0,16	1075,84	510,76
		432,64	163,84	84,64	64	67,24	158,76	100	0,64	0,04	0,36	0,64	0,36	0,64	2,56	23,04	1	5,76	1,44	6,76	27,04	645,16
	Standartabweichung in mV	10,85081	6,763135	7,958643	3,619392	4,282523	5,06557	4,743416	0,489898	0,860233	0,748331	1,240967	0,87178	0,663325	0,812404	1,462874	0,447214	0,87178	0,583095	1,28841	8,839683	8,034924
	Unsicherheit in mV	10,87081	6,783135	7,978643	3,639392	4,302523	5,08557	4,763416	0,509898	0,880233	0,768331	1,260967	0,89178	0,683325	0,832404	1,482874	0,467214	0,89178	0,603095	1,30841	8,859683	8,054924
	Unsicherheit in %	1,296923	0,813131	0,95759	0,214587	0,253657	0,320735	0,300152	0,028362	0,049033	0,042766	0,070296	0,049753	0,038106	0,046436	0,082713	0,029074	0,05548	0,035356	0,076677	1,100855	0,98882
Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mA	52,76	52,72	52,7	31,22	31,38	35	35,52	27,472	27	27,64	27,28	26,96	27,5	27,36	27,58	34,6	34,78	31,42	31,44	51,82	52,44
	(xi - x)^2	0,8836	0,0484	0,09	0,4624	1,0404	1,44	0,0144	0,529984	0,01	0,0676	0,2304	0,0256	1	0,2916	0,0064	0,01	0,2304	0,6724	0,5776	0,0064	0,1296
		0,1156	0,1444	0,25	0,0064	0,4624	0,09	0,0064	0,035344	0,16	0,2116	1,6384	0,0576	1,21	0,0016	0,2704	0	0,0144	0,1024	0,1156	0,4624	0,0576
		0,3136	0,0784	0,64	0,5184	0,3844	0,25	0,0324	0,029584	0,16	0,2916	0,0144	0,3136	0,01	0,4356	0,0144	0,09	0,3844	0,7744	0,8836	0,1444	0,1936
		0,3136	0,2704	0,64	0,0064	0,7744	0,25	0,0324	0,138384	0,16	1,0816	0,8464	0,1936	0,49	0,0676	0,5184	0,25	0,0004	0,7744	0,1296	2,0164	0,7056
		0,0256	0,0064	0,64	0,0144	0,0064	0,25	0,1024	0,138384	0,09	0,7396	0,5184	0,0016	0,49	0,1156	1,6384	0,09	0,0784	0,3844	0,0256	0,0784	1,3456
	Standartabweichung in mA	0,287402	0,165529	0,336155	0,224499	0,36524	0,337639	0,096954	0,208768	0,170294	0,345832	0,402989	0,172047	0,4	0,213542	0,349857	0,148324	0,188149	0,367967	0,294279	0,367967	0,348712
	Unsicherheit in mA	0,307402	0,185529	0,356155	0,244499	0,38524	0,357639	0,116954	0,228768	0,190294	0,365832	0,422989	0,192047	0,42	0,233542	0,369857	0,168324	0,208149	0,387967	0,314279	0,387967	0,368712
	Unsicherheit in %	0,582642	0,351915	0,675815	0,78315	1,22766	1,021825	0,329261	0,832731	0,704792	1,323561	1,550546	0,712339	1,527273	0,853588	1,341034	0,486485	0,598473	1,234778	0,999614	0,748683	0,703112
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Mittelwert in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
	(xi - x)^2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Standartabweichung in mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unsicherheit in mV	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Unsicherheit in %	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Mittelwert in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(xi - x)^2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Standartabweichung in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unsicherheit in mA	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Unsicherheit in %	#DIV/0!																				

Gasspeicher	Mittelwert in ml	0	0	0	0,3	0,5	0,6	1	1	1,1	1,5	1,5	1,6	1,9	1,9	1,9	2,4	2,4	2,7	2,9	2,9	3
	(xi - x)^2	0	0	0	0,04	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0
		0	0	0	0,09	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0
		0	0	0	0,04	0	0,16	0	0	0,01	0	0	0,01	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,04	0,16	0,16	0
		0	0	0	0,09	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0
		0	0	0	0,04	0	0,01	0	0	0,16	0	0	0,16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0
	Standartabweichung in ml	0	0	0	0,122474	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,122474	0,1	0,1	0
Unsicherheit in ml	0,4	0,4	0,4	0,522474	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,522474	0,5	0,5	0,4	
Unsicherheit in %	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	174,1582	80	83,33333	40	40	45,45455	26,66667	26,66667	31,25	26,31579	26,31579	26,31579	20,83333	20,83333	19,35091	17,24138	17,24138	13,33333	

## Ergebniss

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	757	751	750,8	1648,6	1649,4	1532,2	1533,6	1755,4	1754	1754,2	1752,4	1751,6	1751,6	1751	1751,2	1554	1554,2	1657,8	1659	728,2	733
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	70,4	70,14	70,2	61,18	61,06	98,16	98,12	57,9	57,24	57,26	57,3	57,22	57,22	57,2	57,22	96,48	96,48	61,06	60,9	70,28	70,86
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1207,2	1202,2	1193,6	1498,4	1486,8	1478,2	1478,2	1513,2	1513,4	1513,4	1513,4	1513,4	1513,4	1513,8	1513,6	1485	1485	1502,8	1503,4	1392,4	1376,8
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	0	0	0	45,96	46,1	16,56	17,12	73,34	73,08	72,94	72,94	72,56	72,48	72,5	72,48	20,28	20,4	46,88	47,18	0	0
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	779,8	776	775,8	1761,4	1761,4	1650	1651,2	1909,8	1908	1907,2	1905,4	1904	1903,4	1902,8	1902,2	1676,2	1676,2	1772,8	1773,6	753	759,8
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	17,24	17,3	17,342	75,1	74,88	78,52	78,5	102,78	102,6	102,2	102,1	101,86	101,52	101,38	101,1	81,78	81,76	76,54	76,46	18,3	18,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	838,2	834,2	833,2	1696	1696,2	1585,6	1587	1797,8	1795,2	1796,6	1793,8	1792,4	1793,2	1792,6	1792,8	1607	1607,4	1705,8	1706,4	804,8	814,6
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	52,76	52,72	52,7	31,22	31,38	35	35,52	27,472	27	27,64	27,28	26,96	27,5	27,36	27,58	34,6	34,78	31,42	31,44	51,82	52,44
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	0	0	0	0,3	0,5	0,6	1	1	1,1	1,5	1,5	1,6	1,9	1,9	1,9	2,4	2,4	2,7	2,9	2,9	3

Verbraucher	Leistung in mW	53,2928	52,67514	52,70616	100,8613	100,7124	150,4008	150,4768	101,6377	100,399	100,4455	100,4125	100,2266	100,2266	100,1572	100,2037	149,9299	149,9492	101,2253	101,0331	51,1779	51,94038
	Unsicherheit Leistung in mW	0,139528	0,299608	0,390416	0,274141	0,311927	0,155121	0,171229	1,226972	0,223992	0,20696	0,34359	0,204856	0,204856	0,181519	0,23774	0,173506	0,173529	0,371282	0,138104	0,27853	0,244827
	Unsicherheit Leistung in %	0,261814	0,568785	0,740741	0,2718	0,309721	0,103138	0,113791	1,207202	0,223101	0,206042	0,342178	0,204393	0,204393	0,181234	0,237257	0,115725	0,115725	0,366788	0,136692	0,544239	0,471361
Elektrolyseur	Leistung in mW	0	0	0	68,86646	68,54148	24,47899	25,30678	110,9781	110,5993	110,3874	110,3874	109,8123	109,6912	109,7505	109,7057	30,1158	30,294	70,45126	70,93041	0	0
	Unsicherheit Leistung in mW	0,024144	0,024044	0,023872	1,227376	1,376911	1,245468	1,524228	0,557935	0,533118	0,323727	0,449127	0,303519	0,623011	0,56975	0,595394	0,213984	0,199016	0,437201	0,5341	0,027848	0,027536
	Unsicherheit Leistung in %	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1,782255	2,008873	5,087905	6,023002	0,502743	0,482026	0,293265	0,406865	0,276398	0,567968	0,519132	0,54272	0,710536	0,656949	0,620572	0,752991	#DIV/0!	#DIV/0!
Solar	Leistung in mW	13,44375	13,4248	13,45392	132,2811	131,8936	129,558	129,6192	196,2892	195,7608	194,9158	194,5413	193,9414	193,2332	192,9059	192,3124	137,0796	137,0461	135,6901	135,6095	13,7799	13,90434
	Unsicherheit Leistung in mW	0,353349	0,332637	0,318936	1,619509	1,420365	1,636474	1,650863	0,612408	0,594433	0,632138	0,158616	0,392244	0,364433	0,493934	0,320186	0,096242	0,158959	0,179479	0,155763	0,01506	0,015196
	Unsicherheit Leistung in %	2,628354	2,477782	2,370581	1,224293	1,076902	1,263121	1,273625	0,311993	0,303653	0,324313	0,081533	0,202249	0,188598	0,256049	0,166493	0,070209	0,11599	0,132271	0,114862	0,10929	0,10929
Wind	Leistung in mW	44,22343	43,97902	43,90964	52,94912	53,22676	55,496	56,37024	49,38916	48,4704	49,65802	48,93486	48,3231	49,313	49,04554	49,44542	55,6022	55,90537	53,59624	53,64922	41,70474	42,71762
	Unsicherheit Leistung in mW	257,6645	154,7687	296,7481	414,6711	653,4435	567,0722	185,6054	411,2788	341,6155	657,2544	758,7574	344,2242	753,144	418,6466	663,0798	270,4966	334,5785	661,7948	536,2853	312,2362	300,3527
	Unsicherheit Leistung in %	582,6425	351,9147	675,8154	783,15	1227,66	1021,825	329,2613	832,7308	704,7921	1323,561	1550,546	712,3387	1527,273	853,5876	1341,034	486,4855	598,4729	1234,778	999,6144	748,6827	703,112
Brennstoffzelle	Leistung in mW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unsicherheit Leistung in mW	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194
	Unsicherheit Leistung in %	#DIV/0!																				
Energiekonsum Energieerzeugung	Leistung in mW	53,2928	52,67514	52,70616	169,7278	169,2538	174,8797	175,7836	212,6157	210,9982	210,8329	210,7999	210,0389	209,9178	209,9077	209,9094	180,0457	180,2432	171,6765	171,9635	51,1779	51,94038
	Leistung in mW	57,66718	57,40382	57,36356	185,2303	185,1204	185,054	185,9894	245,6784	244,2312	244,5739	243,4762	242,2645	242,5462	241,9514	241,7578	192,6818	192,9515	189,2863	189,2587	55,48464	56,62196

## xix. Messdaten Szenario 4

### Messung 1

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1738	1740	1740	1655	1655	725	726	726	725	725	725	724	721	723	721	720	719	1647	1650	1736	1741
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	31,4	31,5	31,4	60,2	60,2	206,6	206,8	206,9	206,7	206,8	206,7	206,5	205,7	206,2	205,7	205,2	204,8	60,7	60,8	31,5	31,5
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1508	1508	1509	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1495	1496	1507	1508
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	68,7	69,2	69,4	46,1	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45,2	45,6	68,3	69,7
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1746	1749	1749	1668	1667	857	861	861	861	863	863	861	853	860	857	855	853	1662	1662	1742	1747
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	7,75	7,61	7,68	10,3	10,2	87,7	89,6	89,9	90,1	91,2	91,8	91,3	88,1	91,7	90,5	90	89,4	11,5	10,3	6,25	6
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1878	1883	1883	1802	1802	724	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	1799	1801	1882	1889
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	91,9	93	92,7	95,9	95,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94,1	95,9	93,1	94,9
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	735	736	736	735	735	735	735	735	735	730	730	728	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	118	116	116	115	114	114	114	114	114	114	114	114	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	15	15,5	16	16,5	17	16	15	14,5	14	13	12,5	11,5	11	10,5	9,5	9	8	8	8,5	9	9,5

### Messung 2

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1738	1737	1745	1655	1653	725	725	726	726	724	725	725	721	721	722	720	717	1651	1651	1734	1733
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	31,4	31,4	31,6	60,2	60,2	206,3	206,6	206,8	206,9	206,2	206,8	206,6	205,8	205,6	205,9	205,5	204,4	60,8	60,8	31,4	31,4
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1508	1508	1509	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1495	1495	1507	1507
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	68,7	68,4	70,5	46,3	45,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46,6	46,2	68	67,6
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1746	1745	1754	1669	1666	856	857	861	862	855	863	862	853	853	859	856	846	1666	1665	1740	1739
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	7,75	7,5	7,7	11,2	10,3	87,7	87,8	89,5	90,4	87,7	91,7	91,6	87,9	88	91,2	90,3	86,3	11,1	11,1	6,2	6,4
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1878	1877	1899	1801	1799	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	1801	1804	1880	1877
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	91,9	92	94,1	95,1	95,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96,1	95,6	92,7	92,2
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	735	735	736	736	734	735	734	731	731	731	730	727	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	118	117	116	115	117	114	114	117	116	114	114	117	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	15	15,5	16	16,5	17	16	15	14,5	14	13,5	12,5	12	11	10,5	9,5	8,5	8	8	8,5	9	9,5

## Messung 3

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1745	1748	1740	1651	1654	713	709	704	697	693	690	686	680	676	673	669	666	1664	1659	1740	1738
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	31,6	31,7	31,5	60	60	199,6	198,6	197,5	199,4	198,8	198	197,2	195,7	194,8	193,9	192,8	192,1	59,7	59,5	31,5	31,5
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1509	1510	1510	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1498	1498	1508	1508
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	70,5	71,2	68,8	44,9	45,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49,3	47,8	69,2	68,8
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1754	1756	1748	1664	1666	845	841	835	829	826	822	819	809	807	803	799	797	1676	1672	1746	1746
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	8,1	7,6	7,6	10,2	10,1	88,6	88,6	88,1	88,1	88,4	88,4	89,1	86,7	87,4	87,5	87,2	87,9	9,9	10,5	6,9	7,1
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1886	1891	1879	1793	1797	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	1819	1810	1886	1883
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	93,6	94,9	92,3	94,5	95,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	96,6	93,4	92,8
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	722	718	713	707	703	699	695	689	685	681	678	674	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	110	109	108	110	109	108	107	108	106	105	105	103	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	15	15,5	16	16,5	17	16	15	14,5	14	13,5	12,5	12	11	10,5	9,5	8,5	8	8	8,5	9	9,5

## Messung 4

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1745	1744	1741	1656	1656	715	711	707	702	696	692	688	690	678	675	671	667	1659	1656	1740	1736
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	31,6	31,5	31,6	60,2	60,2	200,3	199,1	198,1	197,1	199,3	198,6	197,5	198,4	195,3	194,4	193,3	192,3	59,6	59,5	31,5	31,4
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1509	1510	1510	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1494	1498	1508	1508
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	70,5	70,3	69	46,3	46,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,8	47	69,5	68,2
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1754	1754	1749	1669	1668	847	843	839	833	828	825	820	834	808	805	801	797	1671	1669	1747	1744
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	8,1	8,2	7,4	10,3	9,8	88,3	88,6	88,7	88,1	88,6	89	88,6	96,8	87,2	87,4	87,2	87,4	9,9	10,4	6,5	7,1
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1886	1886	1881	1801	1802	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	1811	1806	1884	1880
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	93,6	93,3	92,6	96	96,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97,4	96,1	93,2	92,1
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	725	720	716	711	705	701	697	698	687	684	679	676	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	111	109	108	108	109	108	108	101	107	106	105	104	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	15	15,5	16	16,5	17	16	15	14,5	14	13	12,5	11,5	11	10,5	9,5	9	8	8	8,5	9	9,5

# Messung 5

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1745	1736	1738	1654	1654	725	725	726	726	724	725	724	721	720	721	720	718	1659	1656	1739	1735
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	31,6	31,4	31,4	60,2	60,2	206,4	206,4	206,8	206,9	206,2	206,8	206,6	205,8	205,5	205,9	205,4	204,7	59,6	59,5	31,5	31,4
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1509	1508	1509	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1497	1498	1508	1508
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	70,5	68,6	68,6	45,7	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,9	47	69,3	67,9
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1754	1744	1747	1667	1666	856	856	860	862	855	863	862	853	852	858	855	851	1671	1669	1746	1743
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	8,1	7,4	7,9	10,8	10,3	87,6	87,5	89,4	90,6	87,6	91,7	91,6	88,2	87,7	90,9	90,2	88,3	9,9	10,4	6,7	7,3
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1886	1877	1879	1800	1801	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	724	1811	1807	1886	1878
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	93,6	91,8	91,9	95	95,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97,3	95,6	93,6	91,6
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	735	735	736	736	734	735	734	731	730	731	730	728	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	118	118	116	115	117	114	114	115	117	114	114	115	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	15	15,5	16	16,5	17	16	15	14,5	14	13	12,5	11,5	11	10,5	9,5	9	8	8	8,5	9	9,5

# Mittelwert

Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mV	1742,2	1741	1740,8	1654,2	1654,4	720,6	719,2	717,8	715,2	712,4	711,4	709,4	706,6	703,6	702,4	700	697,4	1656	1654,4	1737,8	1736,6	
	(xi - x)^2	17,64	1	0,64	0,64	0,36	19,36	46,24	67,24	96,04	158,76	184,96	213,16	207,36	376,36	345,96	400	466,56	81	19,36	3,24	19,36	
		17,64	16	17,64	0,64	1,96	19,36	33,64	67,24	116,64	134,56	184,96	243,36	207,36	302,76	384,16	400	384,16	25	11,56	14,44	12,96	
		7,84	49	0,64	10,24	0,16	57,76	104,04	190,44	331,24	376,36	457,96	547,56	707,56	761,76	864,36	961	985,96	64	21,16	4,84	1,96	
		7,84	9	0,04	3,24	2,56	31,36	67,24	116,64	174,24	268,96	376,36	457,96	275,56	655,36	750,76	841	924,16	9	2,56	4,84	0,36	
		7,84	25	7,84	0,04	0,16	19,36	33,64	67,24	116,64	134,56	184,96	213,16	207,36	268,96	345,96	400	424,36	9	2,56	1,44	2,56	
		Standartabweichung in mV	1,714643	2,236068	1,157584	0,860233	0,509902	2,712932	3,773592	5,043808	6,46065	7,325299	8,334267	9,152049	8,958795	10,87474	11,6	12,25153	12,61983	3,065942	1,691153	1,2	1,363818
		Unsicherheit in mV	1,734643	2,256068	1,177584	0,880233	0,529902	2,732932	3,793592	5,063808	6,48065	7,345299	8,354267	9,172049	8,978795	10,89474	11,62	12,27153	12,63983	3,085942	1,711153	1,22	1,383818
		Unsicherheit in %	0,099566	0,129585	0,067646	0,053212	0,03203	0,379258	0,527474	0,705462	0,906131	1,031064	1,174342	1,29293	1,270704	1,548428	1,654328	1,753076	1,812421	0,186349	0,10343	0,070204	0,079685
Gerät 1 - Verbraucher	Mittelwert in mA	31,52	31,5	31,5	60,16	60,16	203,84	203,5	203,22	203,4	203,46	203,38	202,88	202,28	201,48	201,16	200,44	199,66	60,08	60,02	31,48	31,44	
	(xi - x)^2	0,0144	0	0,01	0,0016	0,0016	7,6176	10,89	13,5424	10,89	11,1556	11,0224	13,1044	11,6964	22,2784	20,6116	22,6576	26,4196	0,3844	0,6084	0,0004	0,0036	
		0,0144	0,01	0,01	0,0016	0,0016	6,0516	9,61	12,8164	12,25	7,5076	11,6964	13,8384	12,3904	16,9744	22,4676	25,6036	22,4676	0,5184	0,6084	0,0064	0,0016	
		0,0064	0,04	0	0,0256	0,0256	17,9776	24,01	20511,97	16	21,7156	28,9444	32,2624	43,2964	44,6224	52,7076	58,3696	57,1536	0,1444	0,2704	0,0004	0,0036	
		0,0064	0	0,01	0,0016	0,0016	12,5316	19,36	26,2144	39,69	17,3056	22,8484	28,9444	15,0544	38,1924	45,6976	50,9796	54,1696	0,2304	0,2704	0,0004	0,0016	
		0,0064	0,01	0,01	0,0016	0,0016	6,5536	8,41	12,8164	12,25	7,5076	11,6964	13,8384	12,3904	16,1604	22,4676	24,6016	25,4016	0,2304	0,2704	0,0004	0,0016	
		Standartabweichung in mA	0,04899	0,054772	0,044721	0,04	0,04	1,592671	1,901052	32,07597	2,13401	1,805436	2,07615	2,258185	2,177476	2,628954	2,863145	3,018377	3,046408	0,274591	0,318434	0,02	0,024495
		Unsicherheit in mA	0,06899	0,074772	0,064721	0,06	0,06	1,612671	1,921052	32,09597	2,15401	1,825436	2,09615	2,278185	2,197476	2,648954	2,883145	3,038377	3,066408	0,294591	0,338434	0,04	0,044495
		Unsicherheit in %	0,218876	0,237372	0,205465	0,099734	0,099734	0,791145	0,944006	15,79371	1,059002	0,897197	1,030657	1,122922	1,086353	1,314748	1,43326	1,515854	1,535815	0,490331	0,563868	0,127065	0,141523

Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mV	1508,6	1508,8	1509,4	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1495,8	1497	1507,6	1507,8	
	(xi - x)^2	0,36	0,64	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,64	1	0,36	0,04
		0,36	0,64	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,64	4	0,36	0,64
		0,16	1,44	0,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,84	1	0,16	0,04
		0,16	1,44	0,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,24	1	0,16	0,04
		0,16	0,64	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,44	1	0,16	0,04
	Standartabweichung in mV	0,244949	0,489898	0,244949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,734847	0,632456	0,244949	0,2
Unsicherheit in mV	0,264949	0,509898	0,264949	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,754847	0,652456	0,264949	0,22	
Unsicherheit in %	0,017563	0,033795	0,017553	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,001333	0,050464	0,043584	0,017574	0,014591	
Gerät 2 - Elektrolyseur	Mittelwert in mA	69,78	69,54	69,26	45,86	45,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,36	46,72	68,86	68,44
	(xi - x)^2	1,1664	0,1156	0,0196	0,0576	0,0064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6656	1,2544	0,3136	1,5876
		1,1664	1,2996	1,5376	0,1936	0,0484	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5776	0,2704	0,7396	0,7056
		0,5184	2,7556	0,2116	0,9216	0,1764	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7636	1,1664	0,1156	0,1296
		0,5184	0,5776	0,0676	0,1936	0,2304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1936	0,0784	0,4096	0,0576
		0,5184	0,8836	0,4356	0,0256	0,0064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2916	0,0784	0,1936	0,2916
	Standartabweichung in mA	0,440908	0,53066	0,337046	0,263818	0,152971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,688912	0,377359	0,297658	0,37229
Unsicherheit in mA	0,460908	0,55066	0,357046	0,283818	0,172971	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,708912	0,397359	0,317658	0,39229	
Unsicherheit in %	0,660516	0,791861	0,515515	0,618879	0,376678	#DIV/0!	1,496859	0,850512	0,461309	0,573188													
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mV	1750,8	1749,6	1749,4	1667,4	1666,6	852,2	851,6	851,2	849,4	845,4	847,2	844,8	840,4	836	836,4	833,2	828,8	1669,2	1667,4	1744,2	1743,8	
	(xi - x)^2	23,04	0,36	0,16	0,36	0,16	23,04	88,36	96,04	134,56	309,76	249,64	262,44	158,76	576	424,36	475,24	585,64	51,84	29,16	4,84	10,24	
		23,04	21,16	21,16	2,56	0,36	14,44	29,16	96,04	158,76	92,16	249,64	295,84	158,76	289	510,76	519,84	295,84	10,24	5,76	17,64	23,04	
		10,24	40,96	1,96	11,56	0,36	51,84	112,36	262,44	416,16	376,36	635,04	665,64	985,96	841	1115,56	1169,64	1011,24	46,24	21,16	3,24	4,84	
		10,24	19,36	0,16	2,56	1,96	27,04	73,96	148,84	268,96	302,76	492,84	615,04	40,96	784	985,96	1036,84	1011,24	3,24	2,56	7,84	0,04	
		10,24	31,36	5,76	0,16	0,36	14,44	19,36	77,44	158,76	92,16	249,64	295,84	158,76	256	466,56	475,24	492,84	3,24	2,56	3,24	0,64	
	Standartabweichung in mV	1,959592	2,379075	1,208305	0,927362	0,4	2,557342	4,01995	5,834381	7,540557	7,658982	9,687105	10,33151	8,669487	11,71751	13,2348	13,55876	13,03227	2,39583	1,749286	1,356466	1,392839	
Unsicherheit in mV	1,979592	2,399075	1,228305	0,947362	0,42	2,577342	4,03995	5,854381	7,560557	7,678982	9,707105	10,35151	8,689487	11,73751	13,2548	13,57876	13,05227	2,41583	1,769286	1,376466	1,412839		
Unsicherheit in %	0,113068	0,137121	0,070213	0,056817	0,025201	0,302434	0,474395	0,68778	0,890106	0,908325	1,145787	1,22532	1,03397	1,404008	1,584744	1,629712	1,574839	0,14473	0,10611	0,078917	0,081021		
Gerät 3 - Solar	Mittelwert in mA	7,96	7,662	7,656	10,56	10,14	87,98	88,42	89,12	89,46	88,7	90,52	90,44	89,54	88,4	89,5	88,98	87,86	10,46	10,54	6,51	6,78	
	(xi - x)^2	0,0441	0,002704	0,000576	0,0676	0,0036	0,0784	1,3924	0,6084	0,4096	6,25	1,6384	0,7396	2,0736	10,89	1	1,0404	2,3716	1,0816	0,0576	0,0676	0,6084	
		0,0441	0,026244	0,001936	0,4096	0,0256	0,0784	0,3844	0,1444	0,8836	1	1,3924	1,3456	2,6896	0,16	2,89	1,7424	2,4336	0,4096	0,3136	0,0961	0,1444	
		0,0196	0,003844	0,003136	0,1296	0,0016	0,3844	0,0324	1,0404	1,8496	0,09	4,4944	1,7956	8,0656	1	4	3,1684	0,0016	0,3136	0,0016	0,1521	0,1024	
		0,0196	0,289444	0,065536	0,0676	0,1156	0,1024	0,0324	0,1764	1,8496	0,01	2,3104	3,3856	52,7076	1,44	4,41	3,1684	0,2116	0,3136	0,0196	0,0001	0,1024	
		0,0196	0,068644	0,059536	0,0576	0,0256	0,1444	0,8464	0,0784	1,2996	1,21	1,3924	1,3456	1,7956	0,49	1,96	1,4884	0,1936	0,3136	0,0196	0,0361	0,2704	
	Standartabweichung in mA	0,085732	0,1398	0,080846	0,191311	0,092736	0,198494	0,366606	0,32	0,560892	0,654217	0,749266	0,656201	1,83483	0,836062	0,844393	0,728286	0,51049	0,348712	0,143527	0,132665	0,24779	
Unsicherheit in mA	0,105732	0,1598	0,100846	0,211311	0,112736	0,218494	0,386606	0,34	0,580892	0,674217	0,769266	0,676201	1,85483	0,856062	0,864393	0,748286	0,53049	0,368712	0,163527	0,152665	0,26779		
Unsicherheit in %	1,328293	2,085615	1,317209	2,001054	1,111797	2,483345	0,437238	0,381508	0,649332	0,760109	0,84983	0,747679	2,07151	0,968396	0,965803	0,840959	0,60379	3,524971	1,55149	2,345084	3,949708		

Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mV	1882,8	1882,8	1884,2	1799,4	1800,2	724	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	1808,2	1805,6	1883,6	1881,4	
	(xi - x)^2	23,04	0,04	1,44	6,76	3,24	0	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	84,64	21,16	2,56	57,76	
		23,04	33,64	219,04	2,56	1,44	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	51,84	2,56	12,96	19,36
		10,24	67,24	27,04	40,96	10,24	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	116,64	19,36	5,76	2,56
		10,24	10,24	10,24	2,56	3,24	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	7,84	0,16	0,16	1,96
		10,24	33,64	27,04	0,36	0,64	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	7,84	1,96	5,76	11,56
	Standartabweichung in mV	1,959592	2,690725	3,773592	1,630951	0,969536	0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	3,666061	1,50333	1,16619	2,158703
	Unsicherheit in mV	1,979592	2,710725	3,793592	1,650951	0,989536	0,02	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	3,686061	1,52333	1,18619	2,178703
	Unsicherheit in %	0,105141	0,143973	0,201337	0,09175	0,054968	0,002762	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,057979	0,203852	0,084367	0,062975	0,115802
Gerät 4 - Wind	Mittelwert in mA	92,92	93	92,72	95,3	95,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96,78	95,96	93,2	92,72	
	(xi - x)^2	1,0404	0	0,0004	0,36	0,0196	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,1824	0,0036	0,01	4,7524	
		1,0404	1	1,9044	0,04	0,1296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4624	0,1296	0,25	0,2704	
		0,4624	3,61	0,1764	0,64	0,2116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,9284	0,4096	0,04	0,0064	
		0,4624	0,09	0,0144	0,49	0,7056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3844	0,0196	0	0,3844	
		0,4624	1,44	0,6724	0,09	0,0256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2704	0,1296	0,16	1,2544	
	Standartabweichung in mA	0,416413	0,554076	0,372022	0,284605	0,233666	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,813265	0,186011	0,151658	0,577408	
	Unsicherheit in mA	0,436413	0,574076	0,392022	0,304605	0,253666	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,833265	0,206011	0,171658	0,597408	
	Unsicherheit in %	0,469666	0,617286	0,422801	0,319627	0,264898	#DIV/0!	0,860989	0,214684	0,184182	0,644314												
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Mittelwert in mV	970	970	970	970	970	730,4	728,8	727,4	725	722,2	721	719	716,8	713,6	711,4	709,4	706,6	970	970	970	970	
	(xi - x)^2	0	0	0	0	0	21,16	51,84	73,96	100	163,84	196	256	331,24	457,96	345,96	424,36	457,96	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	21,16	38,44	73,96	121	139,24	196	225	201,64	302,76	384,16	424,36	416,16	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	70,56	116,64	207,36	324	368,64	484	576	772,84	817,96	924,16	985,96	1062,76	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	29,16	77,44	129,96	196	295,84	400	484	353,44	707,56	750,76	924,16	936,36	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	21,16	38,44	73,96	121	139,24	196	225	201,64	268,96	384,16	424,36	457,96	0	0	0	0	
	Standartabweichung in mV	0	0	0	0	0	2,856571	4,017462	5,287722	6,565059	7,439086	8,579044	9,396808	9,645724	11,3031	11,80932	12,61586	12,90581	0	0	0	0	
	Unsicherheit in mV	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	2,876571	4,037462	5,307722	6,585059	7,459086	8,599044	9,416808	9,665724	11,3231	11,82932	12,63586	12,92581	0,02	0,02	0,02	0,02	
	Unsicherheit in %	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	0,393835	0,553988	0,729684	0,908284	1,032828	1,192655	1,309709	1,348455	1,586757	1,662822	1,781204	1,829297	0,002062	0,002062	0,002062	0,002062	
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Mittelwert in mA	0	0	0	0	0	115	113,8	112,8	112,6	113,2	111,6	111,4	111	112	110,6	110,4	110,6	0	0	0	0	
	(xi - x)^2	0	0	0	0	0	9	4,84	10,24	5,76	0,64	5,76	6,76	9	4	11,56	12,96	11,56	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	9	10,24	10,24	5,76	14,44	5,76	6,76	36	16	11,56	12,96	40,96	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	25	23,04	23,04	6,76	17,64	12,96	19,36	9	36	31,36	29,16	57,76	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	16	23,04	23,04	21,16	17,64	12,96	11,56	100	25	21,16	29,16	43,56	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	9	17,64	10,24	5,76	14,44	5,76	6,76	16	25	11,56	12,96	19,36	0	0	0	0	
	Standartabweichung in mA	0	0	0	0	0	1,843909	1,984943	1,959592	1,50333	1,8	1,469694	1,6	2,915476	2,302173	2,088061	2,204541	2,942788	0	0	0	0	
	Unsicherheit in mA	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	1,863909	2,004943	1,979592	1,52333	1,82	1,489694	1,62	2,935476	2,322173	2,108061	2,224541	2,962788	0,02	0,02	0,02	0,02	
	Unsicherheit in %	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1,62079	1,761813	1,754957	1,352868	1,607774	1,334851	1,454219	2,644573	2,073369	1,906023	2,014983	2,678832	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

Gasspeicher	Mittelwert in ml	15	15,5	16	16,5	17	16	15	14,5	14	13,2	12,5	11,7	11	10,5	9,5	8,8	8	8	8,5	9	9,5
	(xi - x)^2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0,04	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0,09	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0,09	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0,04	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0,04	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0
	Standartabweichung in ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,122474	0	0,122474	0	0	0	0,122474	0	0	0	0	0
	Unsicherheit in ml	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,522474	0,4	0,522474	0,4	0,4	0,4	0,522474	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Unsicherheit in %	2,666667	2,580645	2,5	2,424242	2,352941	2,5	2,666667	2,758621	2,857143	3,95814	3,2	4,465594	3,636364	3,809524	4,210526	5,93721	5	5	4,705882	4,444444	4,210526	

## Ergebniss

	Zeitpunkt in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	Modus	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Gerät 1 - Verbraucher	Spannung in mV	1742,2	1741	1740,8	1654,2	1654,4	720,6	719,2	717,8	715,2	712,4	711,4	709,4	706,6	703,6	702,4	700	697,4	1656	1654,4	1737,8	1736,6
Gerät 1 - Verbraucher	Strom in mA	31,52	31,5	31,5	60,16	60,16	203,84	203,5	203,22	203,4	203,46	203,38	202,88	202,28	201,48	201,16	200,44	199,66	60,08	60,02	31,48	31,44
Gerät 2 - Elektrolyseur	Spannung in mV	1508,6	1508,8	1509,4	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1495,8	1497	1507,6	1507,8
Gerät 2 - Elektrolyseur	Strom in mA	69,78	69,54	69,26	45,86	45,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,36	46,72	68,86	68,44
Gerät 3 - Solar	Spannung in mV	1750,8	1749,6	1749,4	1667,4	1666,6	852,2	851,6	851,2	849,4	845,4	847,2	844,8	840,4	836	836,4	833,2	828,8	1669,2	1667,4	1744,2	1743,8
Gerät 3 - Solar	Strom in mA	7,96	7,662	7,656	10,56	10,14	87,98	88,42	89,12	89,46	88,7	90,52	90,44	89,54	88,4	89,5	88,98	87,86	10,46	10,54	6,51	6,78
Gerät 4 - Wind	Spannung in mV	1882,8	1882,8	1884,2	1799,4	1800,2	724	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	724,4	1808,2	1805,6	1883,6	1881,4
Gerät 4 - Wind	Strom in mA	92,92	93	92,72	95,3	95,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96,78	95,96	93,2	92,72
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Spannung in mV	970	970	970	970	970	730,4	728,8	727,4	725	722,2	721	719	716,8	713,6	711,4	709,4	706,6	970	970	970	970
Gerät 5 - Brennstoffzelle	Strom in mA	0	0	0	0	0	115	113,8	112,8	112,6	113,2	111,6	111,4	111	112	110,6	110,4	110,6	0	0	0	0
Gasspeicher	Gasmenge in ml	15	15,5	16	16,5	17	16	15	14,5	14	13,2	12,5	11,7	11	10,5	9,5	8,8	8	8	8,5	9	9,5

Verbraucher	Leistung in mW	54,91414	54,8415	54,8352	99,51667	99,5287	146,8871	146,3572	145,8713	145,4717	144,9449	144,6845	143,9231	142,931	141,7613	141,2948	140,308	139,2429	99,49248	99,29709	54,70594	54,5987
	Unsicherheit Leistung in mW	0,120194	0,130178	0,112667	0,099252	0,099264	1,162091	1,381621	23,03849	1,540548	1,300441	1,491201	1,616145	1,552736	1,863804	2,025121	2,126864	2,138513	0,487842	0,559905	0,069512	0,07727
	Unsicherheit Leistung in %	0,218876	0,237372	0,205465	0,099734	0,099734	0,791145	0,944006	15,79371	1,059002	0,897197	1,030657	1,122922	1,086353	1,314748	1,43326	1,515854	1,535815	0,490331	0,563868	0,127065	0,141523
Elektrolyseur	Leistung in mW	105,2701	104,922	104,541	68,79	68,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70,84109	69,93984	103,8133	103,1938
	Unsicherheit Leistung in mW	0,695326	0,830836	0,538925	0,425727	0,259456	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	1,060391	0,594847	0,4789	0,591495
	Unsicherheit Leistung in %	0,660516	0,791861	0,515515	0,618879	0,376678	#DIV/0!	1,496859	0,850512	0,461309												
Solar	Leistung in mW	13,93637	13,40544	13,39341	17,60774	16,89932	74,97656	75,29847	75,85894	75,98732	74,98698	76,68854	76,40371	75,24942	73,9024	74,8578	74,13814	72,81837	17,45983	17,5744	11,35474	11,82296
	Unsicherheit Leistung in mW	0,185116	0,279586	0,176419	0,35234	0,187886	0,186201	0,329234	0,289408	0,49341	0,569983	0,651722	0,571255	1,558799	0,715668	0,722979	0,623472	0,43967	0,615454	0,272665	0,266278	0,466973
	Unsicherheit Leistung in %	1,328293	2,085615	1,317209	2,001054	1,111797	0,248345	0,437238	0,381508	0,649332	0,760109	0,84983	0,747679	2,07151	0,968396	0,965803	0,840959	0,60379	3,524971	1,55149	2,345084	3,949708
Wind	Leistung in mW	174,9498	175,1004	174,703	171,4828	172,3872	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174,9976	173,2654	175,5515	174,4434
	Unsicherheit Leistung in mW	821,6789	1080,87	738,6469	548,1062	456,6503	14,48	14,488	14,488	14,488	14,488	14,488	14,488	14,488	14,488	14,488	14,488	14,488	1506,71	371,973	323,3341	1123,963
	Unsicherheit Leistung in %	469,6656	617,2858	422,8015	319,6275	264,8981	#DIV/0!	860,9889	214,684	184,1819												
Brennstoffzelle	Leistung in mW	0	0	0	0	0	83,996	82,93744	82,05072	81,635	81,75304	80,4636	80,0966	79,5648	79,9232	78,68084	78,31776	78,14996	0	0	0	0
	Unsicherheit Leistung in mW	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194	1,361399	1,461203	1,439955	1,104414	1,314404	1,074069	1,16478	2,104149	1,657103	1,499675	1,578089	2,093506	0,0194	0,0194	0,0194	0,0194
	Unsicherheit Leistung in %	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1,62079	1,761813	1,754957	1,352868	1,607774	1,334851	1,454219	2,644573	2,073369	1,906023	2,014983	2,678832	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Energiekonsum Energieerzeugung	Leistung in mW	160,1843	159,7635	159,3762	168,3067	168,4087	146,8871	146,3572	145,8713	145,4717	144,9449	144,6845	143,9231	142,931	141,7613	141,2948	140,308	139,2429	170,3336	169,2369	158,5193	157,7925
	Leistung in mW	188,8861	188,5058	188,0964	189,0906	189,2865	158,9726	158,2359	157,9097	157,6223	156,74	157,1521	156,5003	154,8142	153,8256	153,5386	152,4559	150,9683	192,4574	190,8398	186,9063	186,2664

## xx. Auswertung

### Anteil der Anlagen

Zeitpunkt in %	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Verbraucher	0,342819	0,343267	0,344061	0,591282	0,590995	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,584104	0,586734	0,345106	0,346016
Elektrolyseur	0,657181	0,656733	0,655939	0,408718	0,409005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,415896	0,413266	0,654894	0,653984
Solar	0,073782	0,071114	0,071205	0,093118	0,089279	0,471632	0,475862	0,480395	0,482085	0,478416	0,487989	0,488202	0,486063	0,48043	0,48755	0,486292	0,482342	0,09072	0,09209	0,060751	0,063473
Wind	0,926218	0,928886	0,928795	0,906882	0,910721	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,90928	0,90791	0,939249	0,936527
Brennstoffzelle	0	0	0	0	0	0,528368	0,524138	0,519605	0,517915	0,521584	0,512011	0,511798	0,513937	0,51957	0,51245	0,513708	0,517658	0	0	0	0

### Werte des skalierten Energiesystems

Zeitpunkt in %	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Verbraucher Leistung in kW	38,8243	38,77294	38,76849	70,35829	70,36679	103,8492	103,4745	103,131	102,8485	102,476	102,292	101,7536	101,0523	100,2253	99,89541	99,19776	98,44472	70,34118	70,20304	38,6771	38,60128
Elektrolyseur Leistung in kW	74,42597	74,17982	73,91052	48,63453	48,69816	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50,08465	49,44747	73,39603	72,95804
Energieaustausch in kW	113,2503	112,9528	112,679	118,9928	119,065	103,8492	103,4745	103,131	102,8485	102,476	102,292	101,7536	101,0523	100,2253	99,89541	99,19776	98,44472	120,4258	119,6505	112,0731	111,5593
Solar Leistung in kW	8,355813	8,032541	8,023309	11,08038	10,63001	48,97861	49,23961	49,54358	49,58169	49,02621	49,91737	49,67628	49,11773	48,1512	48,70403	48,23911	47,48402	10,92509	11,01859	6,808555	7,081052
Wind Leistung in kW	104,8945	104,9202	104,6557	107,9124	108,4349	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109,5007	108,6319	105,2646	104,4783
Brennstoffzelle Leistung in kW	0	0	0	0	0	54,87058	54,23493	53,58744	53,26679	53,44984	52,37459	52,07733	51,93452	52,07406	51,19138	50,95865	50,96069	0	0	0	0

## Werte des Gasspeichers für Wasserstoff

Zeitpunkt in %	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Gasfluss im Szenario in ml/s		0,016667	0,016667	0,016667	0,016667	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Gasfluss im Szenario in ml/%		0,1	0,1	0,1	0,1	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	0,075	0,075	0,075	0,075
Elektrolyseur Wirkungsgrad in ml/% pro W		0,953089	0,956562	1,4537	1,4518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,058708	1,07235	0,722451	0,726788
Brennstoffzelle Wirkungsgrad in ml/% pro W		0	0	0	0	1,785799	1,808592	1,828138	1,837447	1,834794	1,864197	1,872739	1,885256	1,876802	1,906436	1,915274	1,919387	0	0	0	0
Gasfluss in der Auswertung in m <sup>3</sup> /%		0,077923	0,07764	0,051089	0,051156	-0,10181	-0,10063	-0,09943	-0,09883	-0,09917	-0,09718	-0,09663	-0,09636	-0,09662	-0,09498	-0,09455	-0,09455	0,052612	0,051943	0,0771	0,07664

Zeitpunkt in %	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
In 5% der Zeit gespeicherte Gasmenge in m <sup>3</sup>	0	0,389615	0,388201	0,255444	0,255778	-0,50904	-0,50315	-0,49714	-0,49417	-0,49586	-0,48589	-0,48313	-0,48181	-0,4831	-0,47491	-0,47275	-0,47277	0,26306	0,259713	0,385499	0,383198
Vom Anfang des Tages gespeicherte Gasmenge in m <sup>3</sup>	0	0,389615	0,777816	1,03326	1,289037	0,779993	0,276846	-0,22029	-0,71446	-1,21032	-1,69621	-2,17934	-2,66115	-3,14425	-3,61916	-4,09191	-4,56468	-4,30162	-4,04191	-3,65641	-3,27321
gespeicherte Gasmenge in einem Tag in m <sup>3</sup>	4,564683	4,954298	5,342499	5,597943	5,853721	5,344676	4,841529	4,344389	3,850224	3,35436	2,868472	2,385341	1,903536	1,420435	0,945524	0,472771	0	0,26306	0,522773	0,908272	1,29147

Betriebstag des Systems	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
gespeicherte Gasmenge in m <sup>3</sup>	500	467,2679	434,5357	401,8036	369,0715	336,3393	303,6072	270,8751	238,143	205,4108	172,6787	139,9466	107,2144	74,4823	41,75017	9,01804	-23,7141
Gasniveau im Speicher in %	100	93,45357	86,90715	80,36072	73,8143	67,26787	60,72144	54,17502	47,62859	41,08216	34,53574	27,98931	21,44289	14,89646	8,350034	1,803608	-4,74282

## xxi. Technische Daten der Solarmodule

Sonnenstrom  
mit System



IBC EcoLine - Die sichere Wahl für stabile Erträge

IBC PolySol 235 DS, 240 DS, 245 DS, 250 DS

Solarmodule aus polykristallinem Silizium

Ob für Einfamilienhäuser, Industrieböden oder Freiflächen - die bewährten Solarmodule IBC PolySol sind ideal geeignet für alle mit hohen Ansprüchen an Qualität und Wirtschaftlichkeit. IBC SOLAR legt strengste Spezifikationen für die Komponenten fest, um Ihnen die besten Ergebnisse zu sichern. Durch die sauer dotierte Zelle wird das Licht noch besser absorbiert. Sie profitieren dank positiver Leistungstoleranz und linearer Leistungsgarantie von hohen Erträgen.

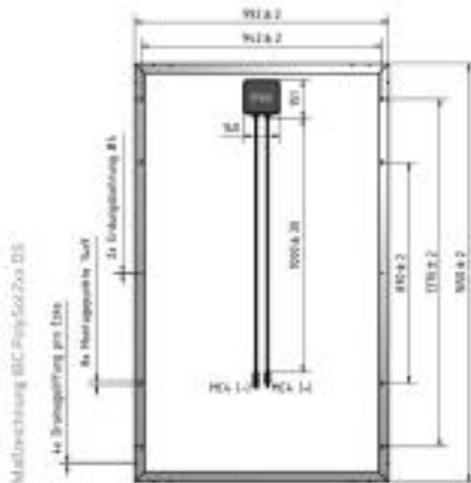
### Highlights

- 10 Jahre Produktgarantie\*
- 25 Jahre lineare Leistungsgarantie\*  
linear nicht mehr als 0,8 % Leistungsminderung pro Jahr,  
80% über 25 Jahre
- Leistungstoleranz: -0 / +5 Wp
- Eisenarmes Solarglas (Stärke 3,2 mm) und  
statischer Aluminium-Hohlkammerrahmen

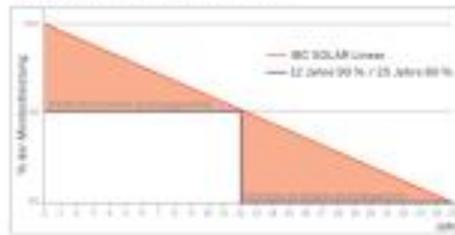
- Getestet nach IEC 61215 für Schneelasten bis 5400 Pa (ca.  
550 kg/m<sup>2</sup>)
- IEC 61730, Anwendungsklasse A für Systemspannungen  
bis 1000 V, Schutzklasse II
- Produziert in ISO 9001 und ISO 14001 zertifizierten  
Fabriken
- SGS TÜV Saar zertifizierte Produktionsstätte
- 100%-Endkontrolle mit Einzelermessung der elektrischen  
Kernwerte
- Überprüfte Qualität im IBC SOLAR eigenen Labor,  
mit Klimakammern sowie Flasher mit integrierter  
Elektrolumineszenz-Messung



Quelle: [28]



Vorteil durch kleinere Leistungspreise



### TECHNISCHE DATEN

IBC PolySolar	235 DS	240 DS	245 DS	250 DS
STC Leistung Pmax (Wp)	239	240	245	250
STC Nennspannung Ump (V)	29,8	30,0	30,3	30,4
STC Nennstrom Imp (A)	7,99	8,01	8,12	8,23
STC Leerlaufspannung Uoc (V)	36,0	37,2	37,4	37,6
STC Kurzschlussstrom Isc (A)	8,47	8,58	8,69	8,80
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AMLS Leistung Pmax (Wp)	170,9	173,5	180,7	184,4
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AMLS Nennspannung Ump (V)	27,6	28,0	28,2	28,7
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AMLS Leerlaufspannung Uoc (V)	34,0	34,2	34,4	35,1
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AMLS Kurzschlussstrom Isc (A)	8,01	7,99	7,98	7,99
Rel. Wirkungsgradreduzierung bei 200W/m <sup>2</sup> (%)	2,5	2,5	2,5	2,5
Temperaturkoeff. (%/°C)	+0,04	+0,04	+0,04	+0,04
Temperaturkoeff. Uoc (mV/°C)	-1,32	-1,23	-1,23	-1,24
Temperaturkoeff. Imp (mV/°C)	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48
Modulwirkungsgrad (%)	14,4	14,7	14,9	15,1
NOCT (°C)	45	45	45	45
Max. Systemspannung (V)	1000	1000	1000	1000
Rückstrombelastbarkeit I (A)	20	20	20	20
Stromstärke Strangsicherung (A)	15	15	15	15
Abweichung ab parallelen Strängen	4	4	4	4
Höhe (mm)	45	45	45	45
Gewicht (kg)	19,5	19,5	19,2	19,5
Artikelnummer	220300004	220300005	220300008	220300006

21.01.2018

© IBC SOLAR Fachpartner

\* Produkt- und Leistungspreise nach Maßgabe der verbindlichen Garantiebedingungen in der zum Zeitpunkt der Montage gültigen Fassung, die Sie von Ihrem IBC SOLAR Fachpartner erhalten. Garantie setzt Montage gemäß geltender Montageanleitung voraus. Standard-Testbedingungen - Einstrahlung 1000W/m<sup>2</sup> bei einer spektralen Verteilung von AM 1,5 und einer Zelltemperatur von 25°C. 800W/m<sup>2</sup> NOCT Angaben entsprechend DIN EN 60904-3 (STC). Alle Werte entsprechen DIN EN 61290. Änderungen ab dem Fachschritt dieses Datenblattes vorbehalten.

Quelle: [28]

## xxii. Technische Daten der Windkraftanlage



**Sub MW**  
E-44, E-48, E-53

**MW**  
E-70, E-82 E2, E-82 E4,  
E-92, E-103 EP2, E-101,  
E-101 E2, E-115, E-115 E2  
E-126 EP4, E-141 EP4

Für jeden Standort die passende Windenergieanlage

# ENERCON Produktübersicht

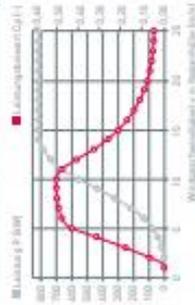


**ENERCON**  
ENERGIE FÜR DIE WELT

Quelle: [29]



Berechnete Leistungskennlinie



Wind [km/h]	Leistung P [kW]	Leistungskoeffizient Cp [-]
1	0,0	0,00
2	0,0	0,00
3	5,6	0,17
4	25,0	0,35
5	60,0	0,63
6	110,0	0,88
7	160,0	0,67
8	210,0	0,68
9	400,0	0,50
10	500,0	0,50
11	670,0	0,63
12	750,0	0,59
13	790,0	0,55
14	810,0	0,57
15	810,0	0,57
16	810,0	0,58
17	810,0	0,55
18	810,0	0,53
19	810,0	0,51
20	810,0	0,49
21	810,0	0,48
22	810,0	0,47
23	810,0	0,46
24	810,0	0,45
25	810,0	0,45

Technische Daten E-48

**Nennleistung:** 800 kW  
**Rotordurchmesser:** 48 m  
**Nabenhöhe in Meter:** 55 / 60 / 65 / 70  
**Windzone (DIBt):** WZ III  
**Windklasse (IEC):** IEC/EN B

**Anlagenkonzept:** getriebelos, variable Drehzahl, Einzelblattverstellung

**Rotor**  
**Typ:** Levitator mit aktiver Blattverstellung  
**Drehrichtung:** Uhrzeigersinn  
**Blattanzahl:** 3  
**Überwachsene Fläche:** 1.810 m<sup>2</sup>  
**Blattmaterial:** OFA (Epoxyharz) statt von Glasfasern  
**Drehzahl:** variabel, 18 - 315 U/min  
**Blattverstellung:** ENERCON Einzelblattverstellung, je Blattblatt ein autarkes Stellsystem mit zugehöriger Notverriegelung

**Antriebsstrang mit Generator**  
**Hauptlager Generator:** Kugellagerlagerpaar dreifachreihenbar  
**Netzspannung:** ENERCON Ringgenerator  
**Bremsensystem:** ENERCON Wechsellagersysteme mit Notverriegelung  
 - Rotorblatbremse  
 - Rotorarmbremse

**Windschließung:** aktiv über Stützgerüste, lastabhängige Dämpfung

**Abtriebsgeschwindigkeit:** 28 - 34 m/s (mit ENERCON Sturmgeplung)

**Fernüberwachung:** ENERCON SCADA



- 1 Nabenlagerpaar
- 2 Notverriegelung
- 3 Ringgenerator
- 4 Blattbremse
- 5 Notverriegelung
- 6 Notverriegelung

\*Nennleistung nach EN 61400-10:2002 (Windenergieanlagen) unter realen Bedingungen

Quelle: [29]