



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin

Fachbereich 1

Ingenieurwissenschaften - Energie und Information

Regenerative Energien (B)

Photovoltaik-Inselbetrieb vom 28.04.2023

Betreuer: M.Sc. Sabine Kupzok

Gruppe: 5

Name	Matrikelnummer
Johannes Tadeus Ranisch	578182
Markus Jablonka	580234
Niels Feuerherdt	577669
Vorname, Name 4. Student:in	Matrikelnummer
Vorname, Name 5. Student:in	Matrikelnummer

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsziele	1
2	Versuchsbeschreibung	1
3	Vorbereitungsfragen	2
3.1	Photovoltaik-Insulanlage	2
3.2	Laderregler	3
3.3	Batteriesysteme	4
3.4	Wechselrichter in PV-Insulanlagen	6
3.5	Einstrahlung und Umgebungsbedingungen	8
4	Versuchsdurchführung	9
5	Auswertung	9
5.1	PV Wechselrichter	9
6	Quellen	12
7	Anhang	13

Abbildungsverzeichnis

1	Wirkungsgradkennlinie des Wechselrichters in Abhängigkeit der Auslastung . . .	15
2	Von links nachrechts sieht man hier die Oszilloskopbilder des Versuchs zuerst im Leerlauf, dann mit dem Staubsauger von STufe 1-3 und im letzten Bild wurde die Straßenbahnheizung angeschlossen.	15

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

PV	Photovoltaik
WR	Wechselrichter
LR	Laderegler
MPP	Maximum Power Point

1 Versuchsziele

Der Versuch 'Photovoltaik-Inselbetrieb' wurde durchgeführt und soll im Folgenden ausgewertet werden. Die Durchführung und Auswertung des Versuches verfolgt das Ziel die Komplexität eines solchen Photovoltaik-Inselsystems zu verstehen. Dabei wird das System sowohl als System für DC-Verbraucher als auch für AC-Verbraucher betrachtet. Des Weiteren ist das Verstehen und aufstellen von Energiebilanzen ein entscheidender Teil der Betrachtung.

Die Relevanz von Photovoltaik-Inselanlagen und damit der Grund für die Durchführung dieses Versuches liegt in der vollständigen Unabhängigkeit der Systeme. Die damit verbundenen Möglichkeiten reichen von der Versorgung kleinerer elektrischer Geräte wie Taschenrechnern, Uhren oder GPS-Trackern bis hin zur Möglichkeit eine Stromversorgung inklusive Netz für größere Geräte herzustellen. Mögliche Anwendungsbereiche sind hier die Versorgung von Geräten an Standorten an denen ein Netzausbau nicht möglich ist, z.B. auf einer Bohr- oder Forschungsinsel oder dort wo noch kein Netz vorhanden ist und eine Inselanlage den ersten sicheren Stromversorger darstellt, wie in einigen Entwicklungsländern bereits der Fall.

2 Versuchsbeschreibung

Der Versuchsaufbau für diese Messungen besteht aus zwei eigenständigen Systemen. Jedes der Systeme wird über eine eigene PV-Anlage versorgt, hierbei ist die Anlage von Aufbau 1 nachgeführt und die von Aufbau 2 stationär. Beide PV-Anlagen sind auf der Dachterasse des G-Gebäudes der HTW Berlin am Campus Wilhelminenhof aufgeständert.

Hinsichtlich der Bauteile unterscheiden sich die Anlagen ebenfalls, für Aufbau 1 wurden die folgenden Komponenten genutzt.

- 8x Solarmodule SunWare SW-8046

- 1x Wechselrichter SMA SUNNY ISLAND 2012/2224
- 1x Laderegler SMA SUNNY ISLAND CHARGER 50
- 1x Batteriesystem aus Blei-Gel-Batterien BAE 6V4PVV280
- 1x Ohmsche-induktive Last (hier:stufenweise regelbarer Staubsauger)
- 1x Ohmsche Last (hier: S-Bahn Heizung)

3 Vorbereitungsfragen

3.1 Photovoltaik-Inselanlage

3.1.1 Geben Sie vier Konzepte von PV-Insulanlagen mit je einem Einsatzbeispiel an

Die möglichen Konzepte für eine PV-Inselanlage unterscheiden sich innerhalb der verwendeten Komponenten und entsprechend auch durch die möglichen Verbraucher und die Verschaltung.

Das einfachste der vier Konzepte ist das direkte Verschalten der PV-Anlage mit DC-Verbrauchern, hierbei kann es sich z.B. um ein Heizungssystem für ein Schwimmbecken handeln.

Das zweite System wird durch eine Batterie ergänzt welche zwischen die PV-Anlage und die Verbraucher geschaltet ist. Mögliche Anwendungen sind einfache DC-Systeme, welche allerdings auch außerhalb der Sonnenstunden funktionieren müssen und dementsprechend einen Puffer benötigen. Ein Beispiel wäre hier ein solarversorgter Snackautomat.

Das komplexeste System welches weiterhin für DC-Verbraucher gedacht ist, wird neben den Komponenten des zweiten Systems um einen Laderegler ergänzt welcher vor die Batterie geschaltet wird. Solche Systeme werden häufig in Wohnmobilen oder Wohnwägen verwendet, welche mit DC-Verbrauchern ausgestattet sind.

Um AC-Verbraucher nutzen zu können muss zusätzlich zu System 3 ein Umrichter vor die Verbraucher geschaltet werden, um diese korrekt versorgen zu können. Diese Systeme können dann Einfamilienhäuser, Forschungsstationen oder abgelegene Dörfer versorgen und ein Netz etablieren.

3.1.2 Die Anlagenkomponenten sollen im Inselsystem auf ihre Funktionsfähigkeit hin geprüft werden. Was messen Sie in welcher Reihenfolge?

Gemessen werden an allen Eingängen und Ausgängen der Geräte sowohl der Strom als auch die Spannung. Beginnend mit dem Ausgang der PV-Anlage, wird dann entlang der Erzeugungslinie geprüft. So folgt die Prüfung des Laderegler. Anschließend wird das Batteriesystem geprüft und abschließend der Umrichter.

3.2 Laderregler

3.2.1 Welche Voraussetzungen müssen Anlagen mit Akku ohne Laderegler haben? Wann wird ein Laderegler notwendig?

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.2.2 Geben Sie Verfahren zur Laderegelung in PV-Inselanlagen an und erläutern Sie deren Funktionsprinzip! Unter welchen Bedingungen ist welches Verfahren von Vorteil? (Beachten Sie auch den Kostenaspekt!)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und

prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.2.3 Es soll eine defekte Batterie des Batteriesystems aus der Anlage gewechselt werden. Geben Sie die Reihenfolge Ihres Vorgehens schrittweise an.

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.3 Batteriesysteme

3.3.1 Welche Batterie-Typen werden in PV-Anlagen häufig eingesetzt? Nennen Sie Vor- und Nachteile! Was ist bei deren Laderegelung zu beachten?

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche

Anmutung vermitteln.

3.3.2 Welche Anforderungen werden an einen Batterieraum gestellt?

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.3.3 Geben Sie die häufig eingesetzten Systemspannungen an! Was ist bei Gleichspannungsverbrauchern (insbesondere bei niedriger Spannung) im Vergleich zu Wechselstromverbrauchern zu beachten?

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.4 Wechselrichter in PV-Insulanlagen

3.4.1 Nach welchen Kriterien erfolgt die Auswahl eines Insel-Wechselrichters?

- Die Leistung des Umrichters muss an die Leistungsanforderungen des Insel-Netzes angepasst werden.
- Die Signalqualität der Spannung muss auch unter Last in den erforderlichen Grenzen der Verbraucher bleiben.
- Der Wirkungsgradbereich muss nach dem Lastverhalten des Inselnetzes ausgelegt werden.
- Der Umrichter muss die gleiche Phasen-Anzahl besitzen, wie das System benötigt.

3.4.2 Welche Insel-Wechselrichter-Typen können zum Einsatz kommen (Kosten beachten)?

Mögliche Umrichter Typen:

- mit/ ohne inneren Trafo
- 3 Level/ Multi Level
- 1/ 3 Phasig

nicht Final

3.4.3 Woran erkennen Sie während des Betriebes einen 'schlechten' Wechselrichter? (niedriger Wirkungsgrad)?

- Die Qualität der Spannung ist durch Oberschwingungen und Verzerrungen unzureichend.
- Der Umrichter produziert zu große Mengen an Wärme im Nennlastbetrieb.
- Der momentane Wirkungsgrad des Wechselrichters kann mit Hilfe von Gleichung 1 bestimmt werden.
- Wenn der Wirkungsgrad bei Nennleistung deutlich unter einem Wert von 90% liegt, kann der Umrichter als 'schlecht' bezeichnet werden.

$$\eta_{WR} = \frac{P_{WR,Ein}}{P_{WR,Aus}} \quad (1)$$

3.4.4 Welche Anforderungen an den Einbauort des Wechselrichters müssen gewährleistet sein?

- Der Einbauort muss vor Witterung schützen.
- Der Umrichter muss gut belüftet sein.
- Die Umgebungstemperatur des Umrichters, darf zu keiner Zeit außerhalb seines angegebenen Temperaturbereichs liegen.
- Die Umrichter sollten für Wartungszwecke leicht zugänglich sein.
- Ein Brand sollte möglichst schnell erkannt werden, durch z.B. Brandmelder und sollte keine anderen Komponenten beeinflussen durch genügend Abstand oder Abschirmung.

3.4.5 Unter welchen Umständen muss am WR einer PV-Anlage sofortige Lastabschaltung erfolgen?

Bei jedweder Gefahrerkennung für die Verbraucher:

- Überspannungen durch z.B. Blitzeinschlag
- Kurzschlüsse durch z.B. Hochwasser
- Bei Feuer am Umrichter.

3.4.6 Wie wirkt sich die benötigte Blindleistung auf die Dimensionierung des Wechselrichters aus?

Durch zusätzlich benötigte Blindleistung muss der Umrichter nicht auf die Leistung des PV-Generators ausgelegt werden, sondern auf die Scheinleistung, welche er ins Netz geben muss. Diese wird also zusätzlich innerhalb des Umrichters generiert, führt aber zu größeren Leistungsflüssen.[1]

3.4.7 Ein PC (einschließlich Peripherie) benötigt 120 W. Der Inselwechselrichter der unter 3. beschriebenen Anlage schaltet wegen Batterieerschöpfung nach 2 Tagen Betriebsdauer ab. Welche Möglichkeit des Dauerbetriebs der Anlage schlagen Sie vor. Begründen Sie die Realisierbarkeit.

Es wird ein Umrichter benötigt, welcher sowohl Spannungsgeregelt als auch Stromgeregelt betrieben werden kann, um zwischen Inselbetrieb und Netzbetrieb wechseln zu können.

3.5 Einstrahlung und Umgebungsbedingungen

3.5.1 Welche aus verschiedenen physikalischen Prinzipien resultierenden Messverfahren zur Erfassung der Globalstrahlung kennen Sie?

Es gibt 2 Physikalische Effekte, welche konventionell zur Messung der Globalstrahlung verwendet werden. Der Photo-Effekt, welcher in Pyranometern mit Halbleitersensoren verwendet wird. Dieser basiert auf dem selben Prinzip wie eine Photovoltaikzelle und setzt die Einstrahlung in Proportion mit dem Strom. Außerdem kann der Seebeck-Effekt verwendet werden, welcher in thermischen Pyranometern verwendet wird. Hierbei wird eine von zwei miteinander verbundenen Metallplatten durch die Bestrahlung aufgeheizt. Der Seebeck-Effekt besagt, dass durch eine Temperaturdifferenz zwischen 2 Leitermaterialien eine elektrische Spannung entsteht.[2] Dies hat den Vorteil, dass ein viel größerer Teil des Spektrums gemessen wird.

3.5.2 Welchen Einfluss haben diffuse und direkte Sonnenstrahlung auf die Leistung des PV-Generators?

Der PV-Generator kann problemlos sowohl direkter als auch diffuser Bestrahlung Leistung entnehmen. Jedoch hat die diffuse Einstrahlung eine geringere spezifische Leistung, da sie mehrweg durch die Atmosphäre zurückgeleitet hat und somit einige Wellenlängen durch Absorptionsbänder herausgefiltert wurden.

3.5.3 Wovon hängt die Modultemperatur ab und welchen Einfluss hat sie?

Die Modultemperatur wird durch mehrere Faktoren beeinflusst.

- Die Umgebungstemperatur

- Die Bestrahlungsstärke
- Die Einbauart (Hinterlüftet, aktive Kühlung etc.)

Hierbei ist zu beachten, dass nicht alle Wellenlängen des Sonnenlichts in einem Modul in Wärme umgewandelt werden, nur welche mehr Energie als die Bandlücke besitzen. Diese erzeugen zwar auch ein Elektron-Loch-Paar, Generieren aber durch die übererregung Wärme innerhalb des Halbleiters. Die Modul Temperatur hat direkten einfluss auf die Leistung des PV-Moduls. Bei steigender Temperatur sinkt die Modulspannung deutlich und der Modulstrom steigt minimal.

4 Versuchsdurchführung

Beschreiben Sie kurz die entscheidenden Arbeitsschritte und die gewählten Einstellwerte und jeweils genutzten Messgeräte. Werden hier Bilder verwendet, dann werden sie fortlaufend (inklusive der Bilder aus Abschnitt 2!) nummeriert. Sind sie aus einer anderen Quelle (z.B. Praktikumsanleitung) übernommen, dann sind sie, wie unter Gliederungspunkt 3 beschrieben, kenntlich zu machen.

Beispiel: „Der Versuch wurde gemäß Versuchsanleitung [xxx] durchgeführt. Die Anfangswerte der Ausgangsspannung U_0 des Funktionsgenerators wurde für den vorgegebenen Bereich durchgesteuert. Strom und Spannung wurde in Tabelle 1 (siehe Anhang) aufgenommen...“

5 Auswertung

5.1 PV Wechselrichter

5.1.1 Wirkungsgrad Kennlinie

Laut Datenblatt hat der Wechselrichter Sunny Island 2012/2224 im Betrieb, ohne Last, einen Eigenverbrauch von 21W. In unserem Fall lag der Eigenverbrauch ohne Last bei 29,7 W. Der Eigenverbrauch wird dabei nach Formel ?? aus der Leistung am LR im Leerlauf bestimmt. Der Eigenverbrauch des Wechselrichters hat seine Ursachen dabei größtenteils aus den

Schaltvorgängen, der in ihm verbauten Halbleiter, und den Ohmschen Widerständen.

$$P_{\text{Eigenverbrauch}} = U_{LR} * I_{LR} \quad (2)$$

Aufgabe	Last	T_Gen	P_Sonne	U_Gen	I_Gen	U_LR	I_LR	I_Batt	I_WR	P_A
WR_allein	-	28	690	39,3	0,84	25,4	1,17	0,15	0,97	12
Staub_1	R-L	26	550	33,6	7,84	24,5	8,9	-10,5	21,9	510
Staub_2	R-L	24	460	32,2	12,49	23,3	15,6	-27,2	43,4	942
Staub_3	R-L	23	471	36,8	7,66	23,2	10,94	-46,2	57,3	1208
S-Bahn_Heizung	R	23	601	34,8	16,15	23,2	20,51	-33,7	55,7	1186

Der Wirkungsgrad des Wechselrichters berechnet sich nach folgender Formel:

$$\eta_{WR} = \frac{P_{AC}}{P_{WR, Ein}} \quad (3)$$

Dabei ist in Abbildung 1 zu erkennen, dass der Wirkungsgrad des Wechselrichters sich nicht linear verhält. Zunächst ist sehr niedrig und nähert sich dann einem Maximum an. Anschließend fällt der Wirkungsgrad wieder leicht ab, was an den steigenden Ohmschenverlusten liegt, die bei immer höher werdenen Strömen immer größer werden. Der maximale Wirkungsgrad liegt bei uns sogar bei 95 Prozent. Dies ist sogar 2 Prozent über dem Wirkungsgrad den der Hersteller angibt. Die ermittelte Kurve für den Wirkungsgrad ist dabei gut mit der Theorie zu vereinbaren. Des Weiteren ist zu erkennen, dass dieser Wechselrichter bereits ab 30 % der Nennleistung sehr hohe Wirkungsgrade besitzt, was ihn besonders gut macht für Standorte, die häufig Teilleistung liefern.

5.1.2 Frequenz- und Spannungsstabilität

Wie in unseren Messwerten zu sehen liegt die Spannung zwischen 226V und 230V. Die Spannung nimmt dabei mit steigender Leistung ab. Diese Werte passen auch sehr gut mit den Datenblattwert von 230 Volt zusammen. Die Frequenz bleibt dabei konstant bei 50 Hertz, wie man auf den Oszilloskopbildern 2 erkennen kann. Jedoch ist auch zu erkennen, dass der Sinus nur im Leerlauf und beim Anschließen der Straßenbahnheizung ohne Oberschwingungen daherkommt. Dies liegt daran, dass hier ausschließlich

Wirkleistung benötigt wird. Beim Anschließen des Staubsaugers erkennt man 2 die Oberschwingungen die entstehen. Dies liegt daran, dass der Staubsauger auch Blindleistung benötigt.

5.1.3 Leistungsbeiwert

Der Leistungsbeiwert ϕ berechnet sich wie folgt:

$$\cos(\phi) = \frac{P_{AC_{wirk}}}{I_{AC} * U_{AC}} \quad (4)$$

Dabei ist in der Tabelle zu sehen. Dass bei immer größerer Leistung beim Staubsauger Der Leistungsbeiwert sich immer näher an 1 annähert, was bedeutet, dass fast nur Wirkleistung benötigt wird. Leider ist es nicht möglich den Leistungsbeiwert anhand unserer Oszillosgramme zu bestimmen. Dies liegt daran, dass es nicht möglich war ein stehendes Bild 2 zu erzeugen, anhand dessen es möglich wäre eine Aussage über den Phasenversatz zu machen. In der Theorie sollte mit steigendem Blindleistungsbedarf ein immer größer Phasenversatz zu sehen sein.

6 Quellen

Literatur

- [1] Warum blindleistung wichtig und richtig ist. <https://www.sma.de/partner/expertenwissen/sma-verschiebt-die-phase>. Accessed 02.05.2023-11:29.
- [2] Thermoelektrizität. <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermoelektrizit%C3%A4t#Seebeck-Effekt>. Accessed 30.04.2023-14:01.

7 Anhang

In den Anhang gehört eine Kopie aller aufgenommenen Messdaten (vor der Weiterverarbeitung), ggf. mit Anmerkungen, sowie Datenblätter von Messgeräten und Maschinen soweit verfügbar.



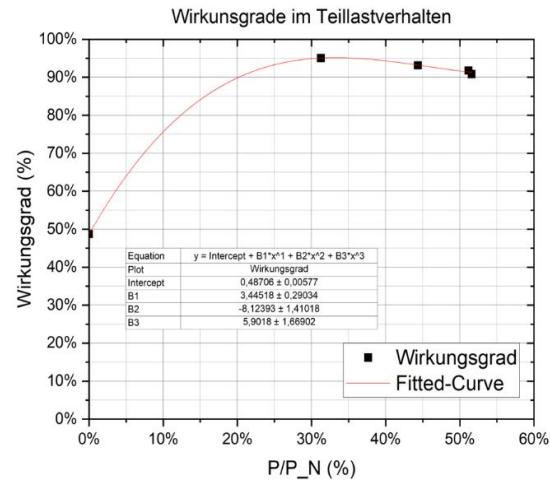


Abbildung 1: Wirkungsgradkennlinie des Wechselrichters in Abhängigkeit der Auslastung



Abbildung 2: Von links nachrechts sieht man hier die Oszilloskopbilder des Versuchs zuerst im Leerlauf, dann mit dem Staubsauger von Stufe 1-3 und im letzten Bild wurde die Straßenbahnheizung angeschlossen.