

Konzeptstudie zum Verhalten von Lasten bei Unterspannung unter Berücksichtigung von spannungsgesteuerter Stufenversorgung

Masterarbeit



Institut für Elektrische Anlagen
Technische Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. DI Dr.techn. Lothar Fickert

Co-Betreuer

DI Christian Wakolbinger Bak.rer.nat.

Autor

Martin Schwingshackl, BSc.

Institutsleiter: Univ.-Prof. DI Dr.techn. Lothar Fickert

A - 8010 Graz, Inffeldgasse 18-I
Telefon: (+43 316) 873 – 7551
Telefax: (+43 316) 873 – 7553
<http://www.ifea.tugraz.at>
<http://www.tugraz.at>

Graz / November – 2013



Danksagung

Ein Studium schafft man nicht alleine, deshalb möchte ich diese Möglichkeit nutzen, einigen wichtigen Personen zu danken:

Mein besonderer Dank gilt vor allem meiner Familie, meinen Eltern Walter und Elisabeth und meinem Bruder Fabian, die mir während der gesamten Dauer meines Studiums unterstützend zur Seite gestanden sind und deren Rückhalt erst den Abschluss des Studiums ermöglichte.

Ein großer Dank gilt auch meinen Freunden und Kollegen von zu Hause, aus meiner Studienzeit in Graz sowie meines Auslandsaufenthalts in Sevilla, die mich zu dem Menschen gemacht haben, der ich jetzt bin.

Ein großer Dank gilt meinen Diplomarbeitbetreuer Christian Wakolbinger, der durch seine gekonnte, fachkundige und kritische Hilfestellung als Betreuer und mehr noch als guter Freund wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. DI Dr. Lothar Fickert für seine hilfreichen Anregungen und die seine freundliche Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 05.11.2013

.....

Martin Schwingshackl

Kurzfassung

Im Falle eines länger andauernden Ausfalls der übergeordneten Netzebene und nach Aufbau eines Micro Grids, mit Hilfe dezentraler Einspeiser und verfügbarer Speicherkapazität, könnten Endverbraucher an reduzierter Versorgungsspannung betrieben werden. Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung verschiedener Endverbraucher, ob diese an reduzierter Versorgungsspannung funktionieren.

Ziel der Arbeit ist die Beurteilung des Verhaltens und der Funktion verschiedener Verbraucher an einer Unterspannungsnotstromversorgung zur Prüfung der praktischen Anwendungsmöglichkeit im Projekt „Smart Emergency- Innovative, dezentrale Notstromversorgung“. Dabei werden die Geräte an eine variable Spannungsquelle angeschlossen und eine Leistungsmessung bei definierten Spannungsstufen durchgeführt. Dadurch können Ein- und Ausschaltpunkte, relevante elektrische Parameter sowie die jeweils verfügbare Funktion des Geräts definiert werden. Es kann gezeigt werden, dass der Großteil der untersuchten Geräte auch außerhalb des vom Hersteller angegeben und von der Norm vorgeschriebenen Spannungsbandes ihre ordnungsgemäße Funktion erfüllen können. Jenes elektrische Bauteil, welches in einem Gerät am sensibelsten auf eine Veränderung der Versorgungsspannung reagiert, bestimmt den Betrag, um den die Spannung abgesenkt werden kann. Auf Grund der Vielfalt an untersuchten Geräten werden aussagekräftige Ergebnisse erzielt. Da aber durch den raschen technischen Fortschritt neue Geräte auf den Markt kommen, ist es notwendig, in diese Richtung weitere Untersuchungen durchzuführen.

Schlüsselwörter: Stromausfall, Niederspannung, Unterspannung, dezentrale Einspeiser, Notstromversorgung, Haushaltsgeräte,

Abstract

In case of a blackout of the power grid there is the possibility to build up a Micro-Grid using decentral sources of energy and available storage capacities. In this thesis the possibility of running low voltage loads under reduced operation voltage in such a network should be investigated.

The **aim** of this work is to evaluate the behaviour and the function of various loads at an emergency low-voltage supply in order to check the practical applications for the project "Smart Emergency- innovative, decentralized emergency power supply". Relevant electrical parameters as power consumption and on/off points and the function of the devices were defined at different operation voltages by connecting them to a variable power source. It can be shown that a major part of the examined devices works properly even if the supply voltage falls below the limits given by the manufacturer and the currently valid norms. The limit of the voltage reduction is determined by the most sensitive circuit element in each certain device. Due to the variety of examined devices the results can be considered as representative for the devices currently available on the market. However the rapid development in this field, new technologies will appear which implies further investigations on this topic.

Keywords: blackout, low voltage, power sag, decentralized generation, emergency power supply, domestic appliances

Inhaltsverzeichnis

1 Erklärungen	8
1.1 Abkürzungserklärungen	8
1.2 Formelzeichenerklärungen.....	9
2 Einleitung	11
3 Grundlagen	13
3.1 Parameter einer funktionierenden Versorgung	13
3.2 Auftretende Versorgungsunterbrechungen	15
3.3 Aktuelle Zuverlässigkeitszahlen	16
3.4 Wirtschaftliche Betrachtung einer Versorgungsunterbrechung	17
3.5 „Smart Emergency- Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ - Das Konzept ..	19
4 Technische Beschreibung eines Haushaltes	22
4.1 Stromverbrauch privater Haushalte.....	22
4.1.1 Statistik Austria: Strom- und Gastagebuch	22
4.1.2 Einflussfaktoren auf den Haushaltsenergieverbrauch.....	24
4.2 Definition und Beschreibung der Geräteklassen	25
4.2.1 Geräteklasse „Haushaltsgroßgeräte“	25
4.2.2 Geräteklasse „Haushaltskleingeräte“	29
4.2.3 Geräteklasse „Schaltnetzteile und Gleichrichter“	30
4.2.4 Geräteklasse „Beleuchtung“	35
4.2.5 Geräteklasse „Geräte für Kochzwecke“	37
4.2.6 Geräteklasse „Raumheizungs- und Klimageräte“	38
4.2.7 Geräteklasse „Kühl- und Gefriergeräte“	39
4.3 Neue Einteilungsmöglichkeit elektrischer Geräte	40
4.3.1 Einteilung nach Verlauf des Laststroms	40
4.3.2 Einteilung nach Arbeitsweise	41
4.3.3 Einteilung nach ausschlaggebendem elektrischem Bauteil	42
5 Verhalten elektrischer Lasten bei Unterspannung	43
5.1 Messkonzepte	43

5.1.1	Leistungsmessung	43
5.1.2	Messung der Beleuchtungsstärke	47
5.2	Änderung der elektrischen Parameter	48
5.2.1	Änderung des aufgenommenen Stromes	48
5.2.2	Spannungsabfall, Spannungseinbruch, Oberwellen	52
5.2.3	Theoretische Betrachtung zur Veränderung der Leistungen	53
5.2.4	Verhalten der elektrischen Parameter im oberen Spannungsbereich	54
6	Geräte an Unterspannung	56
6.1	Verhalten einzelner Geräteklassen bei Spannungswiederkehr	56
6.2	Verhalten der Geräteklassen bei Unterspannung	58
6.2.1	Haushaltsgroßgeräte	58
6.2.2	Haushaltskleingeräte	60
6.2.3	Schaltnetzteile und Gleichrichter	65
6.2.4	Beleuchtung	80
6.2.5	Geräte für Kochzwecke	88
6.2.6	Raumheizungs- und Klimageräte	91
6.2.7	Kühl- und Gefriergeräte	95
7	Zusammenfassung und Ausblick	99
8	Quellenverzeichnis	102
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	105
9.1	Abbildungen	105
9.2	Tabellen	110
10	Anhang: Messergebnisse aus den Leistungsmessungen und normierte Kennlinien	114

1 Erklärungen

1.1 Abkürzungserklärungen

[...]	Quellenangabe
AMIS	<u>A</u> utomated <u>M</u> etering and <u>I</u> nformations <u>S</u> ystem, Smart Metering System von Siemens
ASIDI	<u>A</u> verage <u>S</u> ystem <u>I</u> nterruption <u>D</u> uration <u>I</u> ndex, Nichtverfügbarkeit bezogen auf Transformatornennscheinleistung
ASIFI	<u>A</u> verage <u>S</u> ystem <u>I</u> nterruption <u>F</u> requency <u>I</u> ndex, mittlere Unterbrechungshäufigkeit
CAIDI	<u>C</u> ustomer <u>A</u> verage <u>I</u> nterruption <u>D</u> uration <u>I</u> ndex, mittlere Unterbrechungsdauer je Kundenunterbrechung
CEER	<u>C</u> ouncil of <u>E</u> uropean <u>E</u> nergy <u>R</u> egulators, Rat der europäischen Regulierungsbehörden von Strom und Gas
DIN	<u>D</u> eutsches <u>I</u> nstitut für <u>N</u> ormung
ElektroG	deutsches <u>E</u> lektro- und Elektronikgerätegesetz
EN	<u>E</u> uropäische <u>N</u> orm
EVG	<u>E</u> lektronisches <u>V</u> orschaltgerät
IEC	<u>I</u> nternational <u>E</u> lectrotechnical <u>C</u> ommission, ein Normungsgremium für Elektrotechnik
IEEE	<u>I</u> nstitute of <u>E</u> lectrical and <u>E</u> lectronics <u>E</u> ngineers, Berufsverband von Ingenieuren aus dem Bereich Elektrotechnik und Informationstechnik
IKT	<u>I</u> nformations- und <u>K</u> ommunikationstechnik
KVG	<u>K</u> onventionelles <u>V</u> orschaltgerät
LCD	<u>L</u> iquid <u>C</u> ristal <u>D</u> isplay, Flüssigkristallanzeige
LED	<u>L</u> ight- <u>E</u> mitting <u>D</u> iode, Leuchtdiode
LLM	<u>l</u> inear- <u>l</u> ight- <u>m</u> odule
NDE	<u>N</u> on <u>d</u> elivered <u>e</u> nergy, nicht zeitgerecht gelieferte Energie
NTC	<u>N</u> egative <u>T</u> emperature <u>C</u> oefficient, bezugnehmend auf Widerstände handelt es sich um Halbleiter
OVE	<u>Ö</u> sterreichischer <u>V</u> erband für <u>E</u> lektrotechnik

SAIDI	System Average Interruption Duration Index, Nichtverfügbarkeit bezogen auf Anzahl der Netznutzer
TC77	Technisches Komitee im IEC zur Erstellung von Normen und technischen Berichten auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit
USV	<u>U</u> nterbrechungs <u>f</u> reie <u>S</u> trom <u>v</u> ersorgung
VoLL	<u>V</u> alue of <u>L</u> ost <u>L</u> oad, Wert einer nicht gelieferten kWh Strom

1.2 Formelzeichenerklärungen

$\cos \varphi_1$	Grundschrwingungs-Leistungsfaktor
d	Entfernung zur Lichtquelle
D	Verzerrungsblindleistung
E_{24h}	Energieverbrauch des Haushaltskühlgeräts in kWh/24h auf drei Dezimalstellen gerundet
$E_{t,40 \ 1/2}$	Energieverbrauch des Standardprogramms „Baumwolle 40°C“ bei Teilbefüllung
$E_{t,60}$	Energieverbrauch des Standardprogramms „Baumwolle 60°C“ bei vollständiger Befüllung
$E_{t,60 \ 1/2}$	Energieverbrauch des Standardprogramms „Baumwolle 60°C“ bei Teilbefüllung
$e_v (U)$	spannungsabhängige, auf Nennspannung normierte Beleuchtungsstärke
E_v	Beleuchtungsstärke
i	Strom
i(t)	zeitlicher Stromverlauf
i (U)	spannungsabhängiger, auf Nennspannung normierte Strom
I	Effektivwert des Stromes
I_1	Effektivwert der Grundschrwingungsamplitude des Stromes
I_A	Effektivwert des Ankerstromes
$I_{CC1,2,3}$	einpoliger (zweipoliger, dreipoliger) Dauerkurzschlussstrom
I_{CCh}	Erdschlussstrom
I_{max}	Spitzenwert des Einschaltstoßstromes
I_v	Lichtstärke
k_i	Klirrfaktor des Stromes

k_1	Anker-Motorkonstante
M_i	inneres Drehmoment
n	Drehzahl
$p(U)$	spannungsabhängige, auf Nennspannung normierte Wirkleistung
P	Wirkleistung
P_{mech}	mechanische Leistung
$q(U)$	spannungsabhängige, auf Nennspannung normierte Blindleistung
Q	Blindleistung
Q_1	Grundschwingungsblindleistung
R_L	Leistungswiderstand
R_{shunt}	Messwiderstand
S	Scheinleistung
THD_i	gesamte harmonische Verzerrung des Stromes
THD_U	gesamte harmonische Verzerrung der Spannung
u	Spannung
$u(t)$	zeitlicher Spannungsverlauf
U	Effektivwert der Spannung
\hat{U}	stationärer Spitzenwert der Spannung
U_1	Effektivwert der Grundschwingungsamplitude der Spannung
U_N	Effektivwert der Nennspannung des Netzes
U_q	induzierte Spannung in die Rotorwicklung
$V(\lambda)$	spektrale Hell-Empfindlichkeit des menschlichen Auges bei Tageslicht
Z_L	Leitungsimpedanz
Z_{Ln}	Nullimpedanz der Quelle
Z_{CC}	Impedanz des vorgeschalteten Netzes bei einem dreipoligen Kurzschluss

Griechische Formelzeichen:

λ	Leistungsfaktor
ν	Eigenfrequenz
Φ	Erregerfeldstärke
Φ_v	Lichtmenge
Ω	Raumwinkel

2 Einleitung

Durch den ständig steigenden Stromverbrauch moderner Gesellschaften stoßen die Stromnetze in Hochlastzeiten an ihre Kapazitätsgrenzen. Somit könnten die unregelmäßige Stromerzeugung erneuerbarer Energieträger in Kombination mit Störungen in Kraftwerken und Hochspannungsleitungen immer wieder zu Versorgungsproblemen führen. Die Gefahr von einem möglichen großflächigen, länger andauernden Stromausfall steigt. Wegen der großen Abhängigkeit von elektrischer Energie führen die Folgen solcher Blackouts zu kritischen Situationen und möglicher Destabilisierung für Gesellschaft und Wirtschaft. Um im Krisenfall eine Minimalversorgung aufbauen zu können und damit sowohl Kritische Infrastrukturen, als auch Haushalte teilweise zu versorgen, beschäftigt sich das Projekt „Smart Emergency- Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ der TU Graz mit theoretischen und praktischen Umsetzung eines Notstromversorgungskonzepts mit selektiver Versorgung bei Unterspannung. Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Problemstellung, verschiedenste elektrische Geräte bei dieser Art der Versorgung zu untersuchen und deren Funktion festzustellen. Dabei wird analysiert, welcher Betrag der Spannungsabsenkung für Geräte möglich ist und welches elektrische Bauteil dabei die Grenzen festlegt.

Unternehmen stellen elektrische Verbraucher so her, dass sie im Normalfall bei Netzspannung optimal arbeiten und Veränderungen der Versorgungsspannung im Bereich $230V \pm 10\%$ verkraften können. [1] Es gibt auch Geräte, welche für einen Weitbereichseingang der Spannung konstruiert werden und für welche eine reduzierte der elektrischen Größen. Wissenschaftlich gibt es kaum Untersuchungen, welche Niederspannungsverbraucher auf das Verhalten hinsichtlich der Funktionalität und der Veränderung elektrischer Parameter, wie z.B. Leistungsbezug und Stromaufnahme bei reduzierter Versorgungsspannung prüfen bzw. dies nur für den von der Norm erlaubten Spannungsbereich durchführen. Grund dafür ist, dass dieser Netzzustand als unwahrscheinlich angenommen wird, da ein Netzbetreiber sich zu einer qualitativ hochwertigen Versorgung verpflichtet.

Moderne Versorgungsnetze zeigen heute eine große Zuverlässigkeit und nur geringe Ausfallzeiten. Verschiedene wissenschaftliche Arbeiten beschäftigen sich mit der ständigen Verbesserung dieser Werte, andere Arbeiten erforschen die Erstellung von Noteinsatzplänen, um das Verhalten während eines Ausfalls bestmöglich organisieren zu können. In Bezug auf einen Notbetrieb mit Unterspannung gibt es kaum wissenschaftliche Arbeiten. Der theoretische Ansatz einer möglichen Notstromversorgung mit reduzierter Versorgungsspannung soll in dieser Arbeit auf seine praktische Anwendung überprüft werden. Dazu wurden Messungen an unterschiedlichen elektrischen Verbrauchern durchgeführt, die Änderung verschiedener elektrischer Größen erfasst, sowie die vorliegende Funktion bei verschiedenen Spannungsstufen dokumentiert.

Ziel der Arbeit ist es, die Funktionsfähigkeit einzelner Geräte bzw. Gerätegruppen bei verminderter Versorgungsspannung zu untersuchen und zu erkennen, ab welcher Spannung die Verwendung eines Gerätes unter sinnvollen Bedingungen gegeben ist. Außerdem soll festgestellt werden, ob durch Spannungsabsenkung mögliche Einsparpotentiale vorhanden sind oder sich der untersuchte Betrieb negativ auf das Gerät auswirkt.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Großteil der im Laufe dieser Arbeit untersuchten Niederspannungsverbraucher an einer reduzierten Versorgungsspannung, welche außerhalb des von der Norm erlaubten Spannungsbandes liegt, betrieben werden kann. Dabei legt jenes elektrische Bauteil, welche am sensibelsten auf eine Verringerung der Spannung reagiert, die Grenze der Spannungsabsenkung fest. Durch die Messungen kann gezeigt werden, dass vor allem belastete elektrische Antriebe sensibel auf eine Reduktion der Versorgungsspannung reagieren, da eine entsprechende Spannung zum Aufbau des Drehmoments notwendig ist. Dagegen sind Geräte, welche über ein Schaltnetzteil betrieben werden, weniger empfindlich auf eine Spannungsabsenkung, reagieren aber darauf mit einem Stromanstieg, um die volle Funktion halten zu können. Durch die Vielfalt der untersuchten Geräte können vor allem für den Bereich der im Haushalt verwendeten Verbraucher, belastbare Aussagen getroffen werden.

3 Grundlagen

3.1 Parameter einer funktionierenden Versorgung

Elektrische Energieversorgungsnetze werden entsprechend ihrem Spannungsniveau unterteilt und differenziert, um eine Energieübertragung, bezogen auf die geforderte Entfernung, technisch und wirtschaftlich realisieren zu können. Eine „normal“ funktionierende Versorgung wird durch verschiedene Charakteristika definiert, welche zur Beurteilung von deren Qualität herangezogen werden können. Durch Standardisierung und Normierung im Rahmen der International Electrotechnical Commission (IEC) können diese Parameter weltweit angewendet werden. Spricht man von Netzspannungsqualität arbeitet im IEC das technische Komitee TC77 unter dem Überbegriff „Elektromagnetische Verträglichkeit“ an der Standardisierung und fasst diese in der Norm IEC 61000 zusammen. Die produktspezifische Definition der Elektrizität in Mittel- und Niederspannung wird in der Europeanorm EN 50160 „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen“ beschrieben. Diese beiden Normen verwenden Netzbetreiber als Grundlage für ihre Stromlieferverträge und Hersteller elektrischer Geräte für deren Konstruktionsrichtlinien.

Eine ideale Versorgung kennzeichnet sich durch eine sinusförmige Netzspannung mit definiertem Effektivwert und Frequenz sowie der Symmetrie der drei Leiterspannungen. In realen Energieversorgungsnetzen weichen Form und Betrag der Spannung auf Grund von nichtlinearen Komponenten, Lastschwankungen und auftretenden Fehlern von der Idealform ab. Die auftretende Verzerrung der Grundschwingung der Spannung erfolgt durch überlagerte Oberschwingungen. Diese werden durch vermehrte Verwendung von Leistungselektronik hervorgerufen, da diese durch eine Leistungssteuerung mittels Halbleiterbauteilen einen nicht linearen Strom aufnehmen. Oberschwingungen belasten die Betriebsmittel des Netzes zusätzlich thermisch und mechanisch, was zu erhöhten Netzverlusten und Verringerung der Lebensdauer einzelner Betriebsmittel führen kann.

Der Betrag der Spannung ändert sich vor allem durch Lastschwankungen, fluktuierende Einspeisung, erneuerbare Energieerzeugung sowie Störungen und Fehler auf Grund von äußeren Einflüssen, welche in Kapitel 3.2 genauer erläutert werden sollen.

Um die Faktoren, welche die Spannung verändern, einteilen zu können, wird die Europeanorm EN 50160 verwendet. Diese definiert die wesentlichen Merkmale der Versorgungsspannung an der Übergabestelle zum Kunden in öffentliche Nieder- und Mittelspannungsnetzen unter normalen Betriebsbedingungen. Die wichtigsten Punkte der Norm beschreiben [1]:

- Nennspannung des Netzes U_N bzw. vereinbarte Versorgungsspannung U_C
- Frequenz der Versorgungsspannung
- Schnelle - und langsame Spannungsänderung
- Spannungsschwankungen

- Flicker
- Spannungseinbrüche
- Geplante und ungeplante Versorgungsunterbrechungen
- Überspannungen
- Oberspannungsschwingungen

Anzumerken ist bei dieser Norm, dass sich genannte Regulierung nur auf den „Normalbetrieb“ (normale Betriebsbedingungen ohne Störungen bzw. Versorgungsunterbrechungen) begrenzt, sowie, dass die Bestimmungen für den Effektivwert der Versorgungsspannung der Niederspannungsebene nur für 95% der 10 Minuten Mittelwerte eines Wochenintervalls im Bereich $\pm 10\%$ der Nennspannung eingehalten werden müssen. 100% der 10 Minuten Mittelwerte der Nennspannung müssen im Bereich $+10\%$ und -15% liegen. Dies bietet dem Netzbetreiber einigen Freiraum. In dieser Arbeit soll diese Norm nur als Grundlage für einen zulässigen Mindestfunktionsbereich der Geräte dienen, bei einer Versorgung mit reduzierter Spannung, wie es bei „Smart Emergency-Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ der Fall ist, hat die Norm keine Gültigkeit, da hier der Katastrophenfall gilt.

Beim Lastfluss vom übergeordneten Netz über den Transformator hin zum Verbraucher muss laut Norm, unter Berücksichtigung der maximalen Last und der maximalen Einspeisung, das zulässige Spannungsband von $U_N \pm 10\%$ eingehalten werden. Dieser Wert gilt für den Übergabepunkt an den Kunden. In der Kundenanlage selbst kann es zusätzlich noch zu einem Spannungsfall zwischen Hausanschluss und Verteilung von bis zu maximal 4% kommen. Die Norm DIN VDE 0100-520 beschäftigt sich mit dem Errichten von Niederspannungsanlagen, wobei Kabel und Leitungen in Abhängigkeit vom Betriebsstrom so dimensioniert werden müssen, dass die Grenzen des Spannungsabfalls eingehalten werden. Vom Hausanschluss zum Zählerplatz darf je nach angeschlossener Last nach TAB 2000 höchstens 1% und vom Zählerplatz zur Verteilung laut DIN 18015-1 insgesamt 3 % der Nennspannung abfallen. [2] Somit erhält man in der Niederspannungsebene zulässige Spannungen von 197,8-253V.

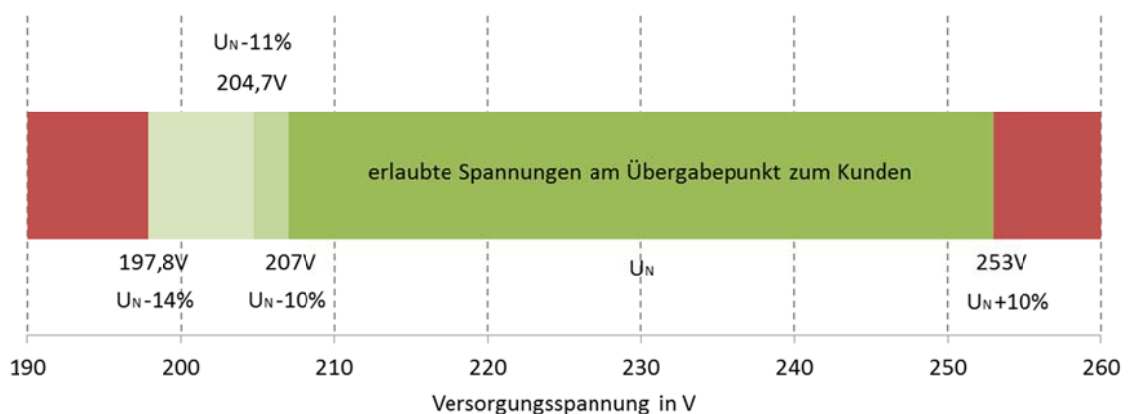


Abbildung 3.1: erlaubtes Spannungsband nach EN 50160 und DIN VDE 0100-520

Im realen Netz wird versucht, die Abweichung von der Idealversorgung durch regulatorische Maßnahmen zu verringern und eine angemessene Spannungsqualität für den Kunden zu erreichen. Zu diesen Maßnahmen zählen Frequenzhaltung im gesamten Europäischen Verbundsystem (UCTE) mit Hilfe von Regelleistung sowie Spannungshaltung und Blindleistungshaushalt. Es gibt mehrere Methoden der Spannungshaltung [3]:

- Anpassung der gelieferten Spannung durch den Einspeiser
- Blindleistungseinspeisung der Einspeiser oder steuerbare Blindleistungskompensationsanlagen
- Regelbare Transformatoren durch Änderung der Übersetzungsverhältnisse
- Schalthandlungen zur Stabilisierung von Teilnetzen

Die Spannungshaltung passiert meistens im Bereich der Netzebenen 1-4. Im, in dieser Arbeit behandelten Niederspannungsverteilstromnetz, stehen somit weniger Möglichkeiten zur Verfügung. Auch wenn die Blindleistungseinspeisung durch dezentrale Energieeinspeiser möglich ist, sowie die Zahl der regelbaren Transformatoren in Verteilnetzen in den letzten Jahren zugenommen hat, bleibt das Problem der oft fehlenden Steuerbarkeit genannter Anlagen durch den Netzbetreiber bestehen.

3.2 Auftretende Versorgungsunterbrechungen

Die Anfälligkeit elektrischer Netze hängt von vielen Faktoren ab, welche zum Ausfall einzelner Betriebsmittel und möglichen Folgeausfällen führen können. Dabei gibt es Ursachen und risikosteigernde Faktoren, deren Zusammenspiel zu einer großräumigen, lang andauernden Versorgungsunterbrechung führen kann. Das Forschungsprojekt „Blackouts in Österreich“ definiert dabei folgende kritische Einflussfaktoren [4]:

- **Hohe Netzbelastung/ geringer Ausbau:** Szenarien-Analysen zeigen für Übertragungsnetze bei hoher Netzbelastung das Ansteigen von Ausfallhäufigkeit und Defizitenergie. Ein Betrieb des Netzes an der Belastungsgrenze bzw. ein zu geringer Ausbau des Netzes bei gegebener Belastung, sowie das Fehlen von Redundanzen können ein erster Grund für eine mögliche Versorgungsunterbrechung sein.
- **Weiträumige Stromtransite:** führen zur weiträumigen Erhöhung der Netzbelastung und höheren Netzverlusten, außerdem ist ein entsprechender Blindleistungsbedarf notwendig
- **Verletzung der Übertragungsnetz-Sicherheitsregeln:** Wird die (n-1)-Sicherheitsregel nicht eingehalten, kann der Ausfall eines einzigen Betriebsmittels ausreichen, um das Netz zu überlasten und kaskadenartig ausfallen zu lassen.
- **Regional geringe Erzeugung:** führt zu hohen Importen und Problemen mit langen Stromkorridoren
- **Möglichkeiten beim kurzfristigen Engpassmanagement:** abhängig von den Möglichkeiten (Regelenergie, Schutzeinstellungen, Lastabwurf, Information über

Netzzustände), welche einem Regelzonenführer zur Verfügung stehen, um einen stabilen Netzzustand wieder herstellen zu können.

Außerdem kann es auf Grund von fehlender Wartung, Alterung einzelner Betriebsmittel oder unerwartet durch Naturkatastrophen zu Fehlern (Kurzschluss, Erdschluss) in elektrischen Übertragungs- und Verteilnetzen kommen.

3.3 Aktuelle Zuverlässigkeitszahlen

Die Betrachtung von Zuverlässigkeit in elektrischen Netzen basiert auf permanentem Spannungsmonitoring in Kombination mit Wahrscheinlichkeitsrechnungen und den Erfahrungswerten aus der Vergangenheit. Die auftretenden Störungen und Versorgungsunterbrechungen in elektrischen Netzen werden in Österreich seit 2002 von E-Control Austria jährlich erfasst, ausgewertet und veröffentlicht. Damit kann laufend eine umfassende Überwachung der Versorgungszuverlässigkeit gewährleistet werden. Auf Basis dieser Daten erfolgt die Beurteilung der Versorgungszuverlässigkeit über die Häufigkeit, Dauer und Ursache von Versorgungsunterbrechungen.

Die von E-Control betrachteten Versorgungsunterbrechungen beziehen sich auf Ereignisse in Mittelspannungsnetzen (unterlagerte Niederspannungsnetze werden indirekt über die Dauer der Versorgungsunterbrechung bei einer Ursache im Mittelspannungsnetz mitbewertet) und werden im Sinne der ÖVE/ÖNORM EN 50160 als geplante oder zufällige Versorgungsunterbrechungen definiert. Diese kennzeichnen sich durch eine Spannung an der Übergabestelle, welche 1% der Netzspannung U_N bzw. der vereinbarten Spannung U_C unterschreitet und im Fall der zufälligen Störung, der Fehlerfall länger als 3 Minuten andauert (Langzeitunterbrechung). Um aussagekräftige Statistikwerte für große Verbraucher-Kollektive zu ermöglichen, werden die im IEEE Standard 1366TM-2012: „Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices“ [5] definierten Indikatoren verwendet:

- **ASIFI** (Average System Interruption Frequency Index) ausgefallene Scheinleistung je Anlassfall bezogen auf die gesamte installierte Scheinleistung [-]
- **ASIDI** (Average System Interruption Duration Index) mittlere Unterbrechungsdauer bezogen auf die gesamte installierte Transformatornennscheinleistung [in Minuten]
- **SAIDI** (System Average Interruption Duration Index) mittlere Unterbrechungsdauer bezogen auf die Anzahl der Netzbenutzer [in Minuten]
- **CAIDI** (Customer Average Interruption Duration Index) durchschnittliche Dauer der Versorgungsunterbrechung bezogen auf die Anzahl der betroffenen Verbraucher [in Minuten]
- **NDE** (Not Delivered Energy) nicht zeitgerecht gelieferte Energie bezogen auf die Gesamtenergieabgabemenge an den Endverbraucher [-]

Von wesentlicher Aussagekraft sind die Kennzahlen für Nichtverfügbarkeit. In Österreich wird für die Auswertung historisch die Transformatornennleistung als Bezug gewählt (ASIDI). Die mittlere Unterbrechungsdauer, bezogen auf die Anzahl der Netznutzer (SAIDI), wird im

Martin Schwingshackl, BSc. Seite 16

europäischen Vergleich bevorzugt, ist aber für Österreich mit Einschränkung zu betrachten, da einige Netzbetreiber die Netzbenutzer lediglich schätzen. Die veröffentlichten Werte für das Berichtsjahr 2012 zeigt Tabelle 3.1.

Tabelle 3.1: Werte der Indikatoren über Versorgungssicherheit in Österreich 2012 [6]

Indikator	ASIDI	SAIDI	ASIFI	CAIDI	NDE
Einheit	min	min	-	min	%
gesamt	54,30	44,51	0,81	67,47	
geplant	19,57	13,58	0,15	-	0,025
ungeplant	34,73	30,93	0,65	-	0,044

Der Wert für die Nichtverfügbarkeit auf Basis aller Versorgungsunterbrechungen bezogen auf die Transformatornennscheinleistung (ASIDI) war für das Jahr 2012 bei 54,30 Minuten und lag damit über dem Wert aus dem vorhergegangenen Berichtsjahr (2011: 48,73 Minuten).

Im internationalen Vergleich steht Österreich auf einer guten Position. Ein länderübergreifender Vergleich wird durch den Zustand erschwert, dass die unterschiedlichen nationalen Regulierungsbehörden verschiedene Indikatoren zur Bestimmung ihrer Versorgungszuverlässigkeit verwenden. Außerdem können unerwartet auftretende Naturkatastrophen zu großer Volatilität der Ergebnisse führen. Einen Überblick über die aktuelle Situation in Europa gibt eine von CEER durchgeführte Studie aus dem Jahr 2011 (5th CEER Benchmarking Report on the quality of electricity supply), wobei ein detaillierter Vergleich wegen unterschiedlicher Bewertungskriterien schwierig ist.

Eine weitere Möglichkeit, um als Netzbetreiber die Sicherheit im eigenen Netz beurteilen zu können, ist die Verwendung von statistischen Werten für Ausfallwahrscheinlichkeiten einzelner Betriebsmittel. So kann, abhängig vom Aufbau des Netzes, die durchschnittlich zu erwartende Anzahl von Ausfällen bestimmt werden.

3.4 Wirtschaftliche Betrachtung einer Versorgungsunterbrechung

Immer wichtiger wird die Betrachtung des ökonomischen Wertes des Gutes Versorgungssicherheit bzw. der Kosten, die durch eine Versorgungsunterbrechung anfallen. Es gibt verschiedene Herangehensweisen an die Berechnung dieser Kosten, wobei internationale Studien die Kosten für Versorgungsunterbrechungen mit dem Wert der nicht gelieferten kWh Strom „VoLL“ (Value of Lost Load) bewerten. Der Forschungsfokus liegt bei Industrie/Gewerbe und Haushalten und dem daraus berechneten Durchschnittswerten. Je nach Auftrag bzw. Anlass der Bearbeitung wurden bereits makroökonomische Methoden oder Befragungen der betroffenen Personen und Unternehmen durchgeführt. Auf Grund der in Österreich vorhandenen geringen Ausfallzeiten (Tabelle 3.1), ist das Bewusstsein für den

Wert an nichtgelieferter Energie nicht ausgeprägt vorhanden und deshalb bieten makroökonomische Studien als Bewertungsinstrument auf Grund von Daten der amtlichen Statistik mehr Aussagekraft.

Volkswirtschaftliche Kosten entstehen, weil die Nachfrage an Energie nicht bedient und das Angebot nicht genutzt werden kann. Deshalb hat eine sichere Versorgung einen Wert (VoLL), der deutlich über den Marktpreis der Energie hinaus reicht.

Die Höhe der anfallenden Kosten ist vom konkreten Netz und den daran angeschlossenen Verbrauchern abhängig, was eine einheitliche Bestimmung der Kosten erschwert. Während bei Haushalten der Schaden neben vereinzelt auftretenden direkten Kosten vor allem bei verlorenen Freizeitwerten und Komforteinbußen des täglichen Lebens liegen, finden sich bei Gewerbe und Industrie direkte Schadenskosten, die unmittelbar durch das Störereignis ausgelöst werden (Reparaturkosten), sowie indirekte Schadenskosten, welche durch nicht gelieferte Energie entstehen (Kosten von Produktionsausfällen oder nicht erbringbarer Dienstleistungen) [4]. Die Gesamtkosten sind abhängig von:

- **Dauer der Unterbrechung:** Die durchschnittlichen Gesamtkosten steigen mit zunehmender Dauer der Unterbrechung. Mit zunehmender Dauer abfallende Schadenskosten (€/kWh) gibt es im Bereich der Einmalkosten, welche bereits bei kurzen Ausfallzeiten anfallen. Steigende Schadenskosten treten z.B. im Bereich der Wärme-/Kältenutzung auf.
- **Zeitpunkt des Auftretens:** abhängig von Jahreszeit, Wochentag und Tageszeit
- **Betroffene Sektoren:** abhängig ob Haushalt oder Gewerbe/Industrie betroffen sind. Hier ist auch entscheidend wie stark die einzelnen Sektoren miteinander vernetzt sind.

Abbildung 3.2 zeigt die Kosten in den unterschiedlichen Sektoren.

Kosten					
Haushalte		Gewerbe & Industrie			Staat
Entgangener Nutzen	Direkte Kosten	Produktionsverluste	Direkte Kosten	Indirekte Kosten	Steuer-ausfälle
<ul style="list-style-type: none"> • Entgangener Wert der Freizeit • Komfortverlust (z.B. durch fehlende Heizung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Z.B. verdorbene Lebensmittel • Schäden an Anlagen • Kosten für Alternativen (z.B. Kerzen, Gas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Entgangener Gewinn durch Produktionsausfälle 	<ul style="list-style-type: none"> • Z.B. Neustartkosten • Z.B. Sonderschicht-zulagen • Verdorbene Rohstoffe • Schäden an Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Z.B. entgangener Absatz durch Ausfälle beim Kunden (z.B. TelKo-Sektor) 	

Abbildung 3.2: Kosten durch Versorgungsunterbrechung [7]

Kennt man zusätzlich die zu erwartende Häufigkeit des Auftretens einer Versorgungsunterbrechung, kann mit Hilfe weiterer kleinerer Einflussfaktoren das „Value of Lost Load“ ermittelt werden. In den vergangenen Jahren gab es mehrere Studien zur

Bestimmung des Werts des VoLL. In Österreich gab es Untersuchungen von Bliem (2007) in Zusammenarbeit mit E-Control. Die Studie untersuchte das VoLL aufbauend auf einer Befragungsstudie über die Zahlungsbereitschaft des Kunden. Um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten, wurden sowohl Haushalte als auch Unternehmen interviewt. Im Ergebnis standen Werte der nicht gelieferten kWh Strom für Haushalte von 5,3 €/kWh und für die Industrie von 13,2 €/kWh. [7]

Bliem führte für Österreich auch eine makroökonomische Bewertung der Kosten eines Stromausfalls durch. Dabei errechnete er den VoLL aus einem Vergleich zwischen elektrischem Energieverbrauch und sektoraler Bruttowertschöpfung. Für private Haushalte ergab sich der VoLL mit 16,0 €/kWh, sowie für Nicht-Haushalte mit einem Durchschnittswert von 5,0 €/kWh. Auf Grund des Verlustes an stromabhängigen Freizeitaktivitäten erreicht der Wert für Privathaushalte diese Größenordnung. [8]

Die Versorgungssicherheit ist ein nicht handelbares Gut, da es dafür keinen Markt gibt. Sehr wohl ist aber darauf zu achten, dass eine hohe Versorgungssicherheit mit geringen Ausfallzahlen in Verbindung gebracht werden kann. Tritt eine Versorgungsunterbrechung erst gar nicht auf, gibt es auch keine Schäden und anfallende Kosten.

3.5 „Smart Emergency- Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ - Das Konzept

Das Projekt „Smart Emergency –Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ der TU Graz beschäftigt sich u.a. mit der Erstellung eines Konzepts zur Versorgung Kritischer Infrastruktur während einer großflächigen, länger andauernden Versorgungsunterbrechung mit reduzierter Versorgungsspannung. Bei kurzzeitigen, kleinräumigen Versorgungsunterbrechungen gibt es für die Kritische Infrastruktur Backupsysteme wie USV-Einrichtungen (Batterien) oder Notstromanlagen, welche eine ordnungsgemäße Versorgung der wichtigsten Verbraucher für eine limitierte Zeitspanne garantieren sollen. Bei länger andauernden Versorgungsunterbrechungen ist auf Grund von problematischer Aufladung bzw. Versorgung von Backupsystemen mit Treibstoff, des komplizierten Transports von Backupsystemen und der fraglichen Erreichbarkeit von Reparaturpersonal eine Aussage über die Dauer der ordnungsgemäßen Funktion der Anlage schwierig. Der Forschungsfokus von „Smart Emergency-Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ liegt bei der Feststellung technischer Möglichkeiten zur Überbrückung von Versorgungsunterbrechungen länger als 48 Stunden.

Im ungestörten Netzbetrieb erfolgt die Energieversorgung über das Verbundnetz und alle Verbraucher können angeschlossen und normal betrieben werden. Kommt es zu einer Störung, so kann das Netz ausfallen. Nachdem das Netz ausgefallen ist und die vorher festgelegten Trennstellen geöffnet wurden, wird nach einer Verzögerungszeit t_V versucht, mit Hilfe intakter dezentraler Einspeiser und den verfügbaren Speicherkapazitäten ein Micro Grid zur Notversorgung potenziell wichtiger Verbraucher aufzubauen. Damit eine Versorgung

aufgebaut werden kann, werden schwarzstartfähige Erzeugungsanlagen benötigt, welche die Vorgaben für Spannung und Frequenz für das Micro Grid geben. Dann werden die restlichen verfügbaren dezentralen Quellen auf die Vorgaben synchronisiert und eine minimale Spannung, bei der die Funktion der Smart Meter als Schalter gegeben ist, eingestellt. Die Smart Meter werden aktiviert und abhängig von der verfügbaren Versorgungsspannung und der zu deckenden Last wird ein Teil der sensiblen Verbraucher wieder zugeschaltet. Da die intakten dezentralen Einspeiser aber nicht genügend Einspeiseleistung für eine Vollversorgung bereitstellen können, übernehmen die intelligenten Schalter bzw. Smart Meter nur auf Grund der vorliegenden Spannung (physikalische Größe) eine dargebotsabhängige Lastzu- und abschaltung. Da die Schalthandlungen nur von der Spannung abhängen und somit keine anderen Befehle z.B. über IKT kommen, ergibt sich eine robuste und sichere Netzsituation.

Ein Betrieb des Netzes mit Unterspannung hat den Vorteil, dass für den Netzwiederaufbau und Betrieb weniger Blindleistung benötigt wird, was die Anforderungen an das Blindleistungs-Management verringert. Außerdem wird durch das Zuschalten der Lasten bei reduzierter Versorgungsspannung die elektrische Last reduziert und die Auswirkungen von transienten Einschaltvorgängen auf die elektrischen Betriebsmittel verringert.

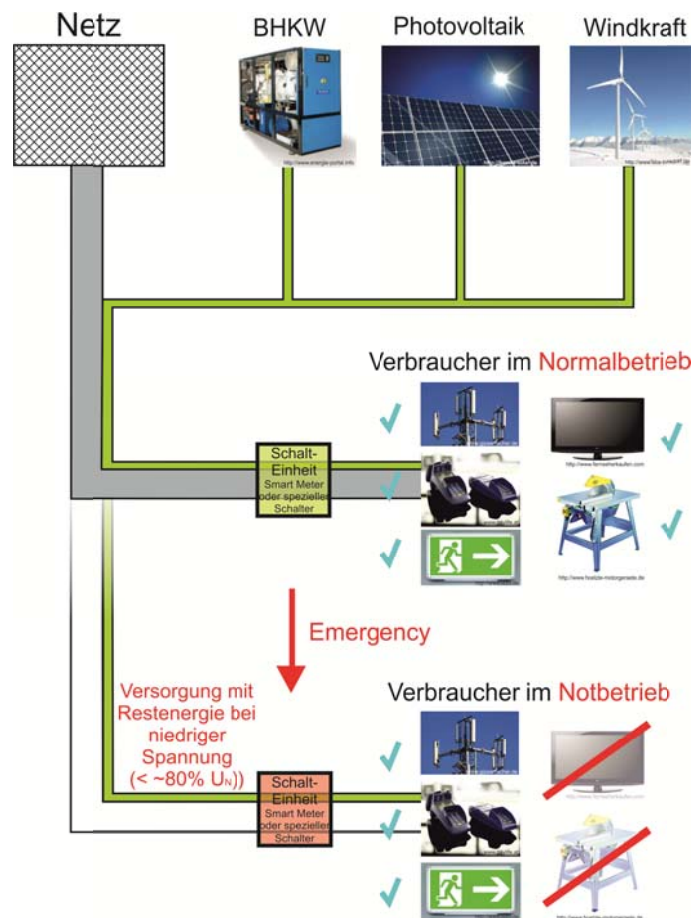


Abbildung 3.3: Struktur des Netzes für eine Versorgung im Normal- bzw. Notbetrieb [9]

Kommt es zu einer Änderung der Last oder der Erzeugung, kann die Spannung angepasst werden und Verbraucher werden weg- oder zugeschaltet. Die Spannungsregelung soll nach dem Prinzip der spannungsgesteuerten Stufenversorgung erfolgen. Welche Verbraucher zugeschaltet werden, hängt von deren Funktionalität bei vorliegender Spannung und deren Relevanz ab. Deshalb sollen bei verschiedenen Spannungsstufen nur vorher definierte Lasten zugeschaltet werden.

In der Abbildung 3.4 sieht man zwei mögliche Szenarien für den Notstrombetrieb. Eine Möglichkeit ist es, nach der Verzögerungszeit $t_{\text{Verzögerung}}$ sprunghaft auf einen Spannungswert zu springen und diesen Wert für den Notbetrieb beizubehalten. Bei Spannungswiederkehr im übergeordneten Netz, wird wieder auf Normalbetrieb umgeschaltet (Abbildung 3.4, links). Das zweite Szenario zeigt ein rampenförmiges Ansteigen der Spannung bis zu einem Wert, der abhängig von Einspeisung und Verbrauch ist. Die Umschaltung auf den Normalbetrieb erfolgt beim Netzaufbau nach der Synchronisationszeit t_{Syn} (Abbildung 3.4, rechts).

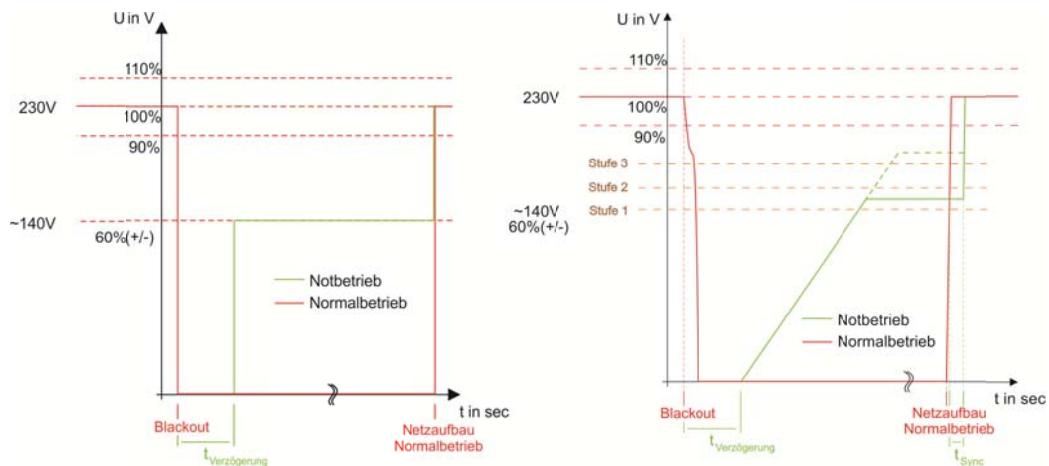


Abbildung 3.4: mögliche Szenarien des Spannungsverlaufs bei Notstromversorgung und Netzwiederaufbau [9]

Die Anwendung dieses Konzepts auf Kritische Infrastruktur ist ein erster Ansatz, aber es soll eine Anwendung des Konzepts auch für andere Verbraucher untersucht werden [9].

4 Technische Beschreibung eines Haushaltes

Da in einem Privathaushalt eine Vielzahl und ein großes Spektrum an elektrischen Verbrauchern vorhanden ist, wobei auch einzelne Verbraucher, welche in der Kritischen Infrastruktur verwendet werden, vorhanden sind, wurden in dieser Masterarbeit vor allem Haushaltsgeräte für die durchzuführenden Betrachtungen herangezogen. Dabei wird im folgenden Abschnitt versucht, die unterschiedlichen Geräte zu Geräteklassen zusammenzufassen, diese zu erklären, Entwicklungen der einzelnen Geräte zu nennen und aufzuzeigen, welche Bedeutung sie für den Endnutzer und welchen Einfluss sie auf den Stromverbrauch haben.

4.1 Stromverbrauch privater Haushalte

In diesem Abschnitt wird auf statistische Werte des Stromverbrauchs (Wirkleistungsverbrauch) privater Haushalte in Österreich, insgesamt und auf verschiedenen Verbraucherklassen aufgeteilt, eingegangen. Neben dem Nutzungsverhalten des Betreibers und der technischen Weiterentwicklung ausgewählter Endgeräte werden auch die sozio-demografischen Merkmale erläutert, welche den Verbrauch eines Haushaltes beeinflussen.

4.1.1 Statistik Austria: Strom- und Gastagebuch

Für einen Haushalt gibt es verschiedenen Möglichkeiten, um die darin vorkommenden Geräte in Geräteklassen einzuteilen. Da bei den statistischen Auswertungen von Statistik Austria zur Beurteilungen des Stromverbrauchs eigene Verbraucherkategorien bereits definiert wurden, erfolgt die Definition der Geräteklassen für diese Masterarbeit darauf aufbauend. Im „Strom- und Gastagebuch 2012“ werden die Verbraucherkategorien wie folgt definiert:

- **Haushaltsgroßgeräte, Herd, Backrohr:** Waschmaschine, Wäschetrockner, Geschirrspüler
- **Küchen- und Haushaltsgeräte:** Staubsauger Wasserkocher, Kaffeemaschine, Mixer, etc.
- **Büro- und Unterhaltungsgeräte, Kommunikation:** Stand-PC, Laptop inklusive Peripherie wie z.B. Drucker und Scanner, Radio, TV, DVD-Rekorder, etc.
- **Beleuchtung:** Glüh- und Halogenlampen, Entladungslampen sowie LED-Beleuchtung für Innen- und Außenbeleuchtungsanlagen
- **Kühl- und Klimageräte, Zusatzheizung:** Lüfter, Ventilator, Klimaanlage
- **Kühl- und Gefriergeräte:** Kühlschrank, Gefriertruhe, Weinschrank
- **Warmwasser:** Warmwasserbereitung, Umwälzpumpe(n)
- **Heizung:** Heizung inkl. Hilfsenergie, Umwälzpumpen(n)
- **Sonstige relevante Verbraucher:** Rasenmäher, Zimmerbrunnen, Wasserbetten

Um den jährlichen Stromverbrauch darstellen zu können, werden zusätzlich zu den genannten Verbrauchergruppen noch die Verbrauchsgruppen Stand-by Verbrauch (zusammengefasst für alle Geräteklassen), sowie jener Verbrauch, der keiner Verbrauchergruppe zugeordnet werden kann, aufgelistet. Ein durchschnittlicher Haushalt hatte im Jahr 2008 einen Jahresstromverbrauch von 4.417 kWh, 2012 wurde ein Rückgang um mehr als 5% auf 4.187 kWh ermittelt. Dies kann trotz steigendem Verbrauch von elektrischer Energie im Haushaltsbereich (1990-2011: Steigerung um 45,9%) auf eine gestiegene Zahl an Privathaushalten zurückgeführt werden. Die Abbildung 4.1 zeigt die Aufteilung des Stromverbrauchs nach Verwendungszwecken als Mittelwerte aller Haushalte aus den Jahren 2008 und 2012. [10]

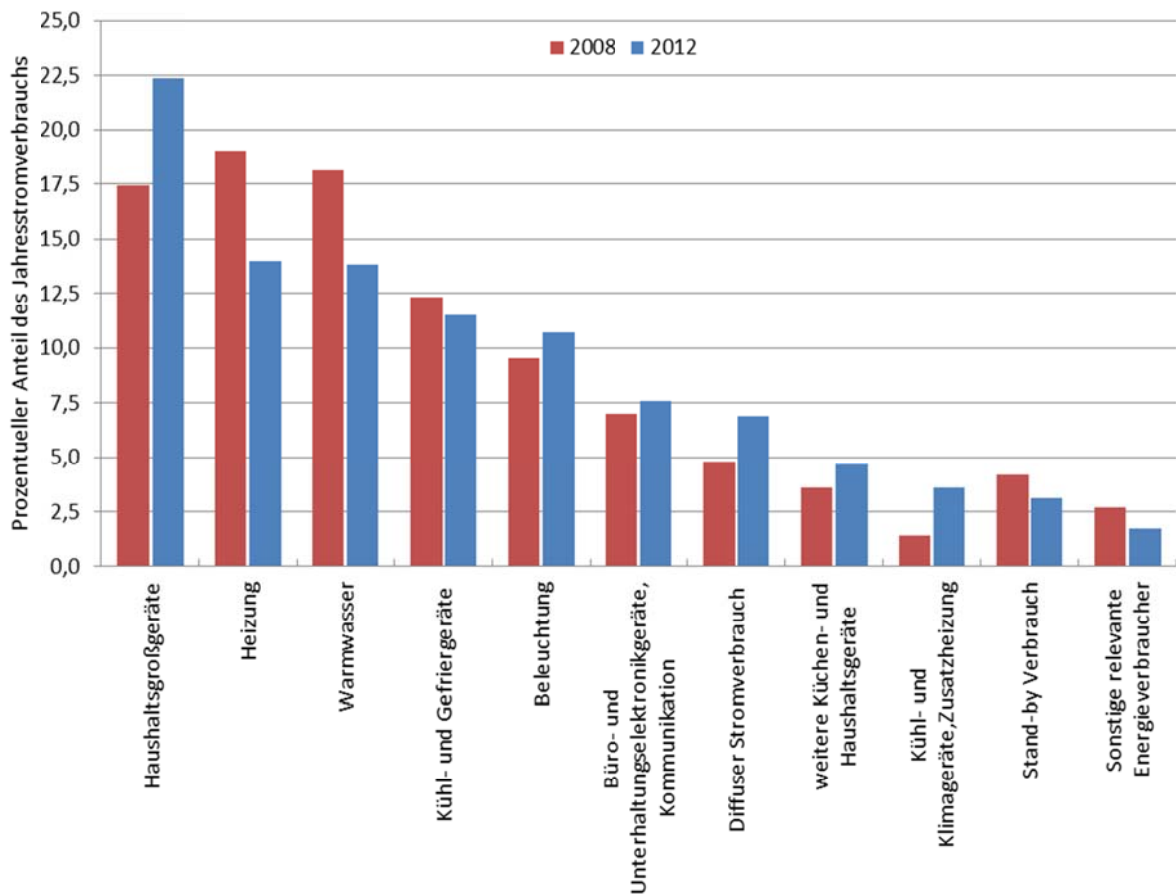


Abbildung 4.1: Verteilung des Jahresstromverbrauchs 2008 und 2012 auf die Verbraucherkategorien [10]

Die Verhältnisse der Anteile am Gesamtstromverbrauch von thermischen (Heizung, Warmwasser) zu nichtthermischen Verbrauchern lagen in den Jahren 2003-2011 bei rund 40:60. Im Zeitraum zwischen 2008 und 2012 kam es zu einem Rückgang des Stromverbrauchs bei den thermischen Verbrauchern Heizung und Warmwasser, während jener der nicht-thermischen Verbraucher in den meisten Verbrauchergruppen angestiegen war. Genauere Erklärungen der Änderungen des Stromverbrauchs folgen mit der Beschreibung der Geräteklassen in Kapitel 4.2. Dabei muss vorausgeschickt werden, dass

auf Grund verschiedener Werte für den durchschnittlichen Jahresstromverbrauch der 100%-Wert Bezug energiemäßig nicht der gleiche ist.

4.1.2 Einflussfaktoren auf den Haushaltsenergieverbrauch

Es gibt kaum zwei Haushalte, welche den Stromverbrauch betreffend gleich sind, da viele Faktoren den Verbrauch und damit auch die Kosten beeinflussen. Der jährliche Stromverbrauch kann merklich durch Austausch relevanter, energieintensiver Geräte oder auch durch die Änderung des Nutzungsverhaltens einzelner Haushaltsmitglieder beeinflusst und somit die Energiekosten gesenkt werden. Änderungen im zweistelligen Prozentbereich sind möglich.

Betrachtet man einen Haushalt nicht von Ausstattungsgrad elektrischer Geräte sondern untersucht die sozio-demografischen Merkmale, welche den Stromverbrauch eines Haushalts beeinflussen, können auch hier die Unterschiede beim Stromverbrauch bei verschiedenen Haushaltsstrukturen erkannt werden. Zu den sozio-demografischen Faktoren zählen:

- Anzahl der Personen pro Haushalt
- Altersstruktur der Haushaltsmitglieder
- Berufliche Stellung
- Errichtungszeitraum des Wohngebäudes
- Wohnnutzfläche
- Urbanisierungsgrad: urbane vs. ländliche Region

Die von Statistik Austria durchgeführte Studie zur „Modellierung des Stromverbrauchs in privaten Haushalten in Österreich nach Verwendungszwecken“ [11] brachte hervor, dass der Stromverbrauch privater Haushalte von 2003-2011 um 2% anstieg. In dieser Zeit ist eine Zunahme der privaten Haushalte um 9% zu erwähnen, was schlussendlich zu einem Rückgang des durchschnittlichen Stromverbrauchs in einem Haushalt um 7% führt. In einem durchschnittlichen Haushalt lebten 2010 2,29 Personen und damit 5% weniger als noch 2003. Wie oben gesehen, sank der durchschnittliche Stromverbrauch pro Haushalt um 7%, der durchschnittliche Stromverbrauch pro Person nur um 1%.

Bezogen auf die Anzahl der Personen im Haushalt steigt der Energieverbrauch, der durch die Haushaltsgroßgeräte verursacht wird, ebenso wie jener für Warmwasser. Der Anteil des Stromverbrauchs für Heizung, Beleuchtung, Unterhaltungselektronik und Stand-by bleibt bei steigender Personenzahl auf Grund gleichzeitiger Nutzung nahezu konstant.

Ein weiterer, wichtiger Einflussfaktor für den Stromverbrauch eines Haushalts ist die geografische Lage. Abhängig von vorliegenden Temperaturen und Tageslänge wurden regional unterschiedliche Verbrauchsmuster sowie unterschiedliche Ausstattungen der Haushalte aufgenommen. Vor allem für die Verbrauchergruppen Heizung und Warmwasser lassen sich hier große Unterschiede aufzeigen.

4.2 Definition und Beschreibung der Geräteklassen

Die Definition der in einem Haushalt vorhandenen Geräte, die für diese Arbeit getroffen wurde, weicht leicht von jener von Statistik-Austria ab. So gehören Herd und Backrohr nicht zu den „Haushaltsgroßgeräten“, sondern es wird dafür eine eigene Gerätekategorie „Geräte für Kochzwecke“ geschaffen. Weitere Küchen- und Haushaltsgeräte werden zu „Haushaltskleingeräten“ umbenannt. Büro- und Unterhaltungselektronikgeräte sowie Kommunikation werden auf Grund der Art ihrer Versorgung mit dem Überbegriff „Schaltnetzteile und Gleichrichter“ behandelt. Die in der Statistik angeführten Verbrauchergruppen Heizung und Kühl- und Klimageräte, Zusatzheizung werden zu einer gemeinsamen Gerätekategorie „Raumheizungs- und Klimageräte“ zusammengefasst. Kühl- und Gefriergeräte bewahren die gleiche Bedeutung, für sonstige relevante Stromverbraucher wird keine eigene Gerätekategorie erstellt. Für die Verbrauchergruppe Warmwasser wurde keine Gerätekategorie erstellt, da die Zusammensetzung aus thermischen Elementen zur Warmwassererzeugung und Umwälzpumpen zum Warmwassertransport aus den Ergebnissen anderer Gerätekategorien mit ähnlichen Verbrauchern modelliert werden kann.

4.2.1 Gerätekategorie „Haushaltsgroßgeräte“

Haushaltsgroßgeräte im Sinne des § 2 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 ElektroG, sind solche Haushaltsgeräte, die nicht verbringbar oder grundsätzlich zum Verbleib am Nutzungsort bestimmt sind [12]. Um einen Überblick über die drei Großgeräte dieser Gerätekategorie zu erhalten, wird im folgenden Abschnitt genauer auf diese eingegangen. Es soll analysiert werden, wie typische Anwendungen aussehen, wie oft die Geräte betrieben werden und welche Normen gerätetypische Spezifikationen festlegen. Diese Gerätekategorie ist eine mit relativ großem Stromverbrauch. Da, nach eigener Definition der Gerätekategorien die Verbraucher Herd und Backrohr hier wegfallen, sinkt der jährliche Stromverbrauch 2012, aufgeteilt auf die drei Großgeräte, von 22,4% auf 13,1%. Der Geschirrspüler ist wegen häufigerer Verwendung bei ähnlicher Anschlussleistung der größte Stromverbraucher dieser Kategorie ist. Wegen der Erhöhung der Anzahl dieser Geräte in österreichischen Haushalten stieg der Stromverbrauch in den letzten Jahren ebenfalls an.

Da die einzelnen Komponenten/Bauteile innerhalb eines Haushaltsgeräts für die Untersuchungen bei reduzierter Spannung eine wichtige Rolle übernehmen, sollen an Hand eines Beispiels die Größenordnungen der einzelnen Komponenten verdeutlicht werden. Für den Wäschetrockner Whirlpool AZB 6070 zeigen die technischen Daten in Tabelle 4.1 sowohl die elektrischen Basisdaten des gesamten Gerätes, wie auch die Daten der verwendeten Einzelkomponenten:

Tabelle 4.1: Daten der einzelnen Bauteile des Kondensrockners Wirlpool AZB 6070

Verraucher- Bauteil	Spannung	Leistung	Frequenz	Widerstand
Gesamt	230V	2,7kW	50Hz	-
Heizung	230V +10%/-15%	2 x 1200W	k.A.	NTC- 2x 38,82Ω
Antriebs- und Gebläsemotor	230V +10%/-15%	300W	50 ± 3%	HW-18,6Ω ± 8%, HS-14,9Ω ± 16%
Kondensatpumpe	220-240V +10%/-15%	7,5 ± 3W	50Hz	716Ω
Elektronikmodul	230V +10%/-15%	k.A	50/60HZ	-

Die Reedkontakte für Wasserniveau, Türschalter, Kondenswasserentleerung und Mikroschalter, welche über das Elektronikmodul versorgt werden, werden jeweils mit einer Nennspannung von 5V und einer Strombelastbarkeit von 0,5mA betrieben.

Aus den technischen Daten wird ersichtlich, dass die Heizung als thermisches Element in zwei Stufen den größten Teil der aufgenommenen Leistung bezieht. Beim Antriebs- und Gebläsemotor handelt es sich um einen 1-Phasen -Asynchronmotor mit Hauptwicklung (HW) und Hilfsspule (HS), dessen Leistung in einem gerätetypischen Bereich liegt. Diese Eigenschaften sind in ähnlichen Größenordnungen auch bei anderen Haushaltsgroßgeräten zu finden.

4.2.1.1 Waschmaschine

In nahezu jedem Haushalt Österreichs (93%) gibt es zumindest eine Waschmaschine [10]. Je nach Typ, Waschzyklus, eingestellter Temperaturen und Alter des Geräts kann sich der Verbrauch an elektrischer Energie ändern. Bei den Beladungskapazitäten haben die meistverkauften Maschinen eine Kapazität zwischen 4,6-6 kg. Abhängig von der, im Haushalt lebenden Personen, liegt das Alter ein Waschmaschine bei rund fünf Jahren. Ebenfalls abhängig von der Anzahl der Personen und der damit verbundenen Menge an Schmutzwäschen bewegt sich die Anzahl der Waschzyklen pro Wochen zwischen 1,7-5,2. [13] Die Anzahl dieser Waschzyklen pro Woche wird für das ganze Jahr als gleichbleibend angenommen. Betrachtet man die von der EU als Zusatz zur Richtlinie 2010/30 herausgegebene delegierte Verordnung (EU) Nr. 1061/2010 zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs für Haushaltswaschmaschinen, so geht diese von einer durchschnittlich Anzahl von 220 Standard-Waschzyklen (Standardprogramme sind Baumwolle 60°C bei vollständiger Befüllung sowie Baumwolle 60°C und 40°C bei Teilbefüllung) pro Jahr zur Berechnung des Jahresenergieverbrauchs aus. [14] Der gewichtete Energieverbrauch E_t wird wie unten angeführt aus dem gewichteten Energieverbrauch der einzelnen Standardprogramme berechnet.

$$E_t = \frac{3 \cdot E_{t,60} + 2 \cdot E_{t,60\frac{1}{2}} + 2 \cdot E_{t,40\frac{1}{2}}}{7} \quad (4.1)$$

Immer wichtiger wurde in den letzten Jahren auch die Energieeffizienz als aussagekräftige Eigenschaft, die Geräte wurden energiesparender mit steigender Bewertung der Energieeffizienzklassen. Die fortlaufenden technischen Entwicklungen führen weiters zu einer Senkung des Energieverbrauchs. Die Abschätzung der Dauer des Energiebezugs ist aber schwierig, da Waschprogramme zwischen 20 Minuten und 4 Stunden variieren können und dabei verschiedene Arbeitszyklen mit unterschiedlicher Leistungsaufnahme durchführen. Ein direkter Zusammenhang zwischen Dauer des Waschprogramms und Energieverbrauch ist nicht festzustellen. Waschmaschinen würden ein großes Potential für Demand Side Management bieten, jedoch sind die Benutzer vermutlich nicht bereit, dadurch einen Komfortverlust hinzunehmen.

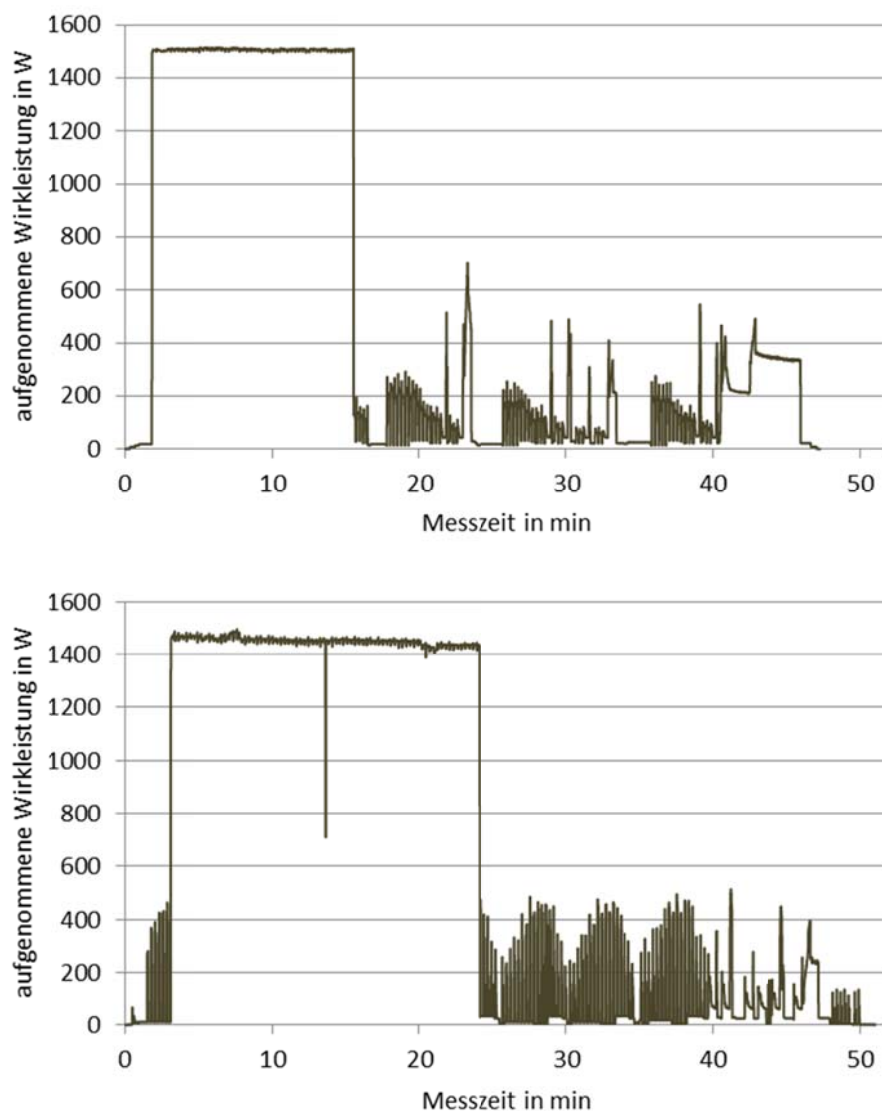


Abbildung 4.2: Lastprofil der Waschmaschine Electrolux WE 50 bei einem Waschprogramm für Normalwäsche bei 40° (oben) und Lastprofil der Waschmaschine Bauknecht WAP 6460-1 bei einem Waschprogramm für Feinwäsche bei 40° (unten)

4.2.1.2 Wäschetrockner

In 16% der österreichischen Haushalten wurde 2012 ein Waschtrockner (Kombination zwischen Waschmaschine und Wäschetrockner) und in 9% ein Wäschetrockner festgestellt. Damit ist er jenes Haushaltsgroßgerät, welches am wenigsten in österreichischen Haushalten vorkommt. Die Mehrheit der Haushalte bleibt beim Lufttrocknen feuchter Wäsche. Bei den Haushalten mit Wäschetrockner kann von einer ähnlichen Benutzungsrate wie bei Waschmaschinen ausgegangen werden, wobei die Benutzung im Winter wegen weniger sonnigen Tagen und niedrigeren Temperaturen ansteigt. Zur Berechnung des jährlichen Energieverbrauchs eines Trockners geht die delegierte Verordnung (EU) Nr. 392/2012 zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs von Haushaltswäschetrocknern [15] von einer durchschnittlichen Anzahl von 160 Trocknungszyklen für das Standard-Baumwollprogramm bei vollständiger Befüllung und Teilbefüllung sowie des Verbrauchs der Betriebsarten mit geringer Leistungsaufnahme aus.

Rund 4% der österreichischen Haushalte besaßen weder Waschmaschine noch Wäschetrockner.

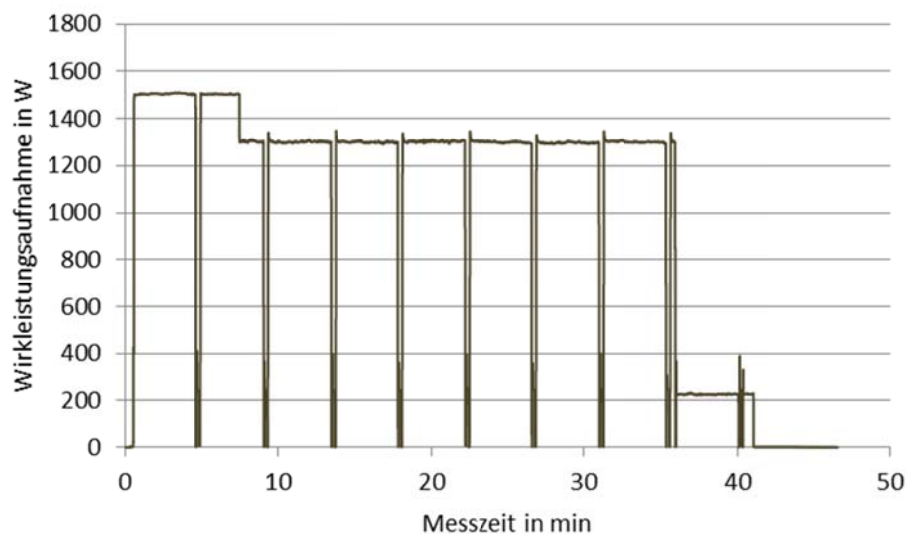


Abbildung 4.3: Lastprofil des Wäschetrockners Wirlpool AZB 6070 bei Netzspannung von $U=230V$ und einem 40° Trocknungsprogramm

4.2.1.3 Geschirrspüler

78% der österreichischen Haushalte besitzen einen Geschirrspüler. Die Geräte brauchen mittlerweile weniger Energie und weniger Wasser, als beim händisches Spülen notwendig wäre. Je nach Größe, Typ, Spülprogramm und Energieeffizienzlabel variiert der Stromverbrauch eines Reinigungszyklus. Die Anzahl dieser Zyklen hängt stark von der Anzahl der Personen im Haushalt und der Häufigkeit des Kochens zu Hause ab (z.B. anhängig von Beschäftigungsverhältnis). Ausgehend von der delegierten Verordnung (EU) Nr. 1059/2010 zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs von

Haushaltsgeschirrspülmaschinen [16] kann von einer durchschnittlichen Anzahl von 280 Standard-Reinigungszyklen pro Jahr ausgegangen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Gerät bei vollständiger Befüllung eingeschaltet wird, was entweder nach dem Mittag- oder Abendessen der Fall ist. Eine Verschiebung in die Schwachlastperiode ist möglich, aber vom Verhalten des Benutzers abhängig.

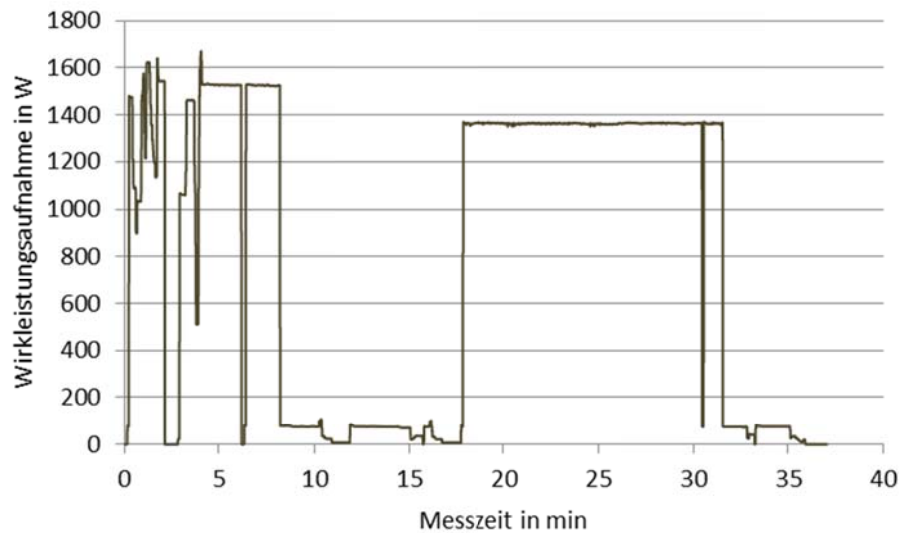


Abbildung 4.4: Lastprofil der Spülmaschine Bauknecht GSFS 5321 bei einem 30° Reinigungsprogramm

4.2.2 Geräteklasse „Haushaltskleingeräte“

Bei den Haushaltskleingeräten handelt es sich im Sinne des § 2 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 ElektroG um Haushaltsgeräte, die verbringbar und grundsätzlich nicht zum dauerhaften Verbleib am Nutzungsort bestimmt sind [12]. Von den aufgenommenen Leistungen können diese Haushaltsgeräte ähnliche Werte, wie die Haushaltsgroßgeräte erreichen. Neben dem Kennwert der Anschlussleistung ist aber auch ein möglicher Stand-by Verbrauch (z.B. elektronisches Display) von Interesse. Die Einschaltdauer der Geräte liegt meist im Minuten-Bereich und ihre Verwendung kann mehrmals am Tag erfolgen. Zwischen den Verwendungen kann es sein, dass das Gerät dauerhaft in einem Bereitschaftsmodus weiterbetrieben wird.

Abbildung 4.5 zeigt eine Auflistung des Ausstattungsgrades von verfügbaren Haushaltskleingeräten. Auffällig ist, dass in einem Großteil der Haushalte Bügeleisen, Staubsauger und Mikrowelle vorhanden sind. Auch gut zu erkennen ist der aktuelle Trend weg von einer Kaffeefiltermaschine hin zu Pads/ Espresso oder Kaffeefullautomaten.

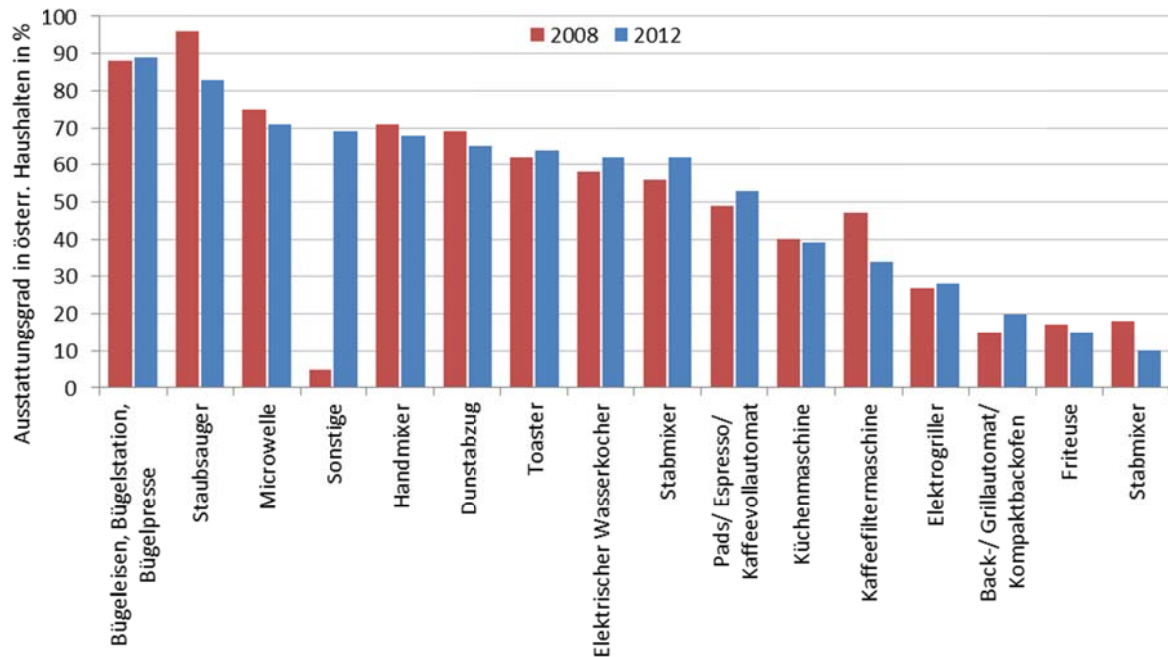


Abbildung 4.5: Ausstattungsgrad an Haushaltskleingeräten in den Jahren 2008 und 2012 [10]

Warum der Bereich „Sonstige“ zwei dermaßen unterschiedliche Werte aufweist, konnte nicht festgestellt werden. Die Geräteklasse „Haushaltskleingeräte“ benötigte im Jahr 2012 rund 4,7% des gesamten jährlichen Stromverbrauchs, erhöhte sich gegenüber dem Vergleichsjahr 2008 um 1,1%.

In dieser Arbeit werden die Haushaltskleingeräte weiter in solche mit und ohne rotierendes Bauteil eingeteilt, die genaue Erklärung bezüglich der Unterscheidung nach ausschlaggebendem Bauteil erfolgt in Kapiteln 4.3.3, auf jede einzelne Gruppe wird in den Kapiteln 6.2.2.1 und 6.2.2.2 genauer eingegangen.

4.2.3 Geräteklasse „Schaltnetzteile und Gleichrichter“

Jene Haushaltsendgeräte, welche nicht direkt aus dem Netz, sondern zusätzlich über eine Gleichrichterschaltung versorgt werden, finden sich in diesem Abschnitt wieder. Dabei werden verschiedene Unterklassen dieser Geräteklasse definiert, um auf die Eigenschaften der einzelnen verwendeten Technologien besser eingehen zu können.

4.2.3.1 Funktionsweise und Grundschaltungen

Jene Verbraucher, welche eine vom Stromnetz unterschiedliche Spannungen oder Ströme benötigen, sind darauf angewiesen, dass diese durch eine elektronische Schaltung zur Verfügung gestellt werden. Je nach Anforderungen an die Versorgung des Verbrauchers sind verschiedene Grundschaltungen möglich. Grundlegend wird zwischen Trafonetzteilen und Schaltnetzteilen unterschieden. Bei den Trafonetzteilen wandelt ein Kleintransformator die Primärspannung in eine Sekundärspannung gewünschten Betrages um. Durch

Gleichrichter und Glättungskondensator wird diese Spannung in eine Gleichspannung umgewandelt, wobei ein nachfolgende Linearregler und Pufferkondensator die Konstanz dieser Spannung sicherstellen. Die zwei grundlegend wichtigen Schaltungen dabei sind:

- Einweggleichrichter:** Diese Schaltung verwendet nur die positive Halbwelle der transformierten Netzspannung, in der negativen Halbwelle lässt die Diode D keinen Stromfluss zu. Die Glättung der positiven Halbwelle erfolgt mit dem Glättungskondensator C , dieser wird geladen, wenn die Sekundärspannung des Transformators u_2 größer als die Kondensatorspannung u_C ist und speist die Last wenn $u_2 < u_C$.

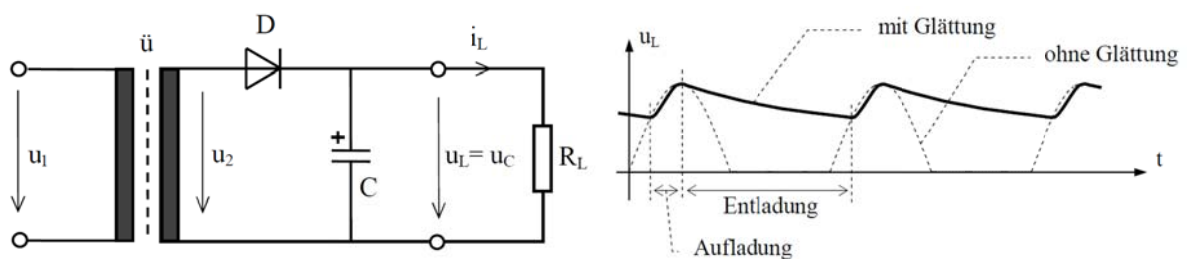


Abbildung 4.6: Schematischer Aufbau eines Einweggleichrichters mit Glättungskondensator (links) und Verlauf der Kondensatorspannung (rechts) [17]

- Vollweggleichrichter:** Diese Schaltung verwendet beide Halbwellen der transformierten Netzspannung, die Glättung funktioniert vergleichbar mit der Schaltung des Einweggleichrichters.

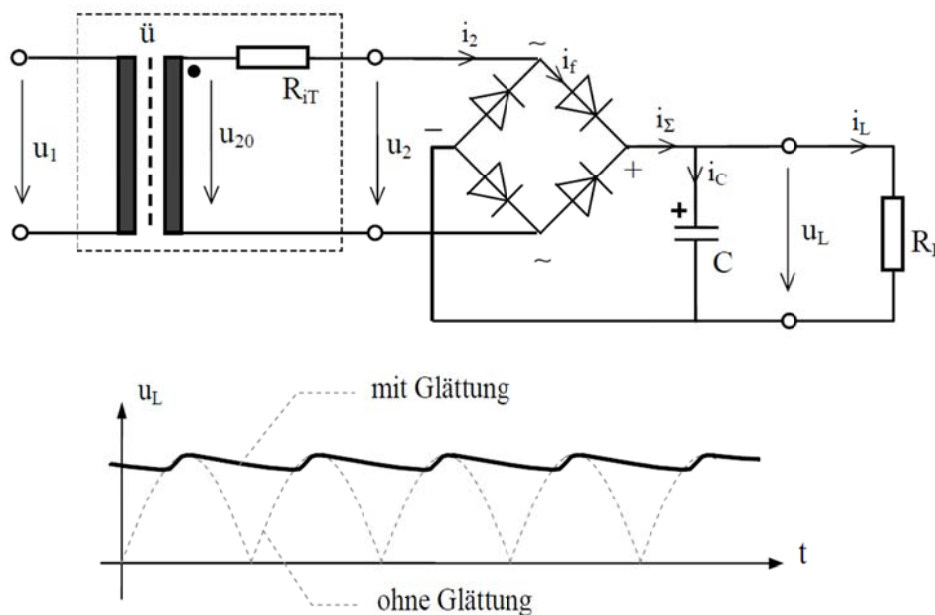


Abbildung 4.7: Schematischer Aufbau eines Vollweg-(Brücken)gleichrichters mit Glättungskondensator (oben) und Verlauf der Kondensatorspannung (unten) [17]

Alternativ und heute sehr oft realisiert, wird das Netzteil als **Schaltnetzteil**, welches durch die Verwendung von schaltenden Halbleiterbauteilen und damit einem Verzicht auf Netztransformator, Gleichrichter, Glättungskondensator und Längsregler die Verluste deutlich verringern kann. Mögliche Grundschaltungen dafür sind: [18]

- Tiefsetzsteller
- Hochsetzsteller
- Invertierender Wandler
- Čuk-Wandler
- Sperrwandler
- Durchflusswandler

Verwendet werden Schaltnetzteile als Netzteile für Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Unterhaltungselektronik, als Steckernetzteile zur Versorgung von Geräten geringer Leistung, als elektronische Vorschaltgeräte für Leuchten, als Ladegeräte für Akkumulatoren sowie zur Versorgung von Ladestationen.

4.2.3.2 Ladegeräte

In allen mobilen elektrischen Geräten befinden sich Akkus bzw. Batterien verschiedener Kapazitäten und abhängig vom Leistungsverbrauch auch verschiedenen Akkulaufzeiten. Um die Akkus immer wieder aufladen zu können, benötigt man Ladegeräte, wobei diese den Akku für den Verbraucher möglichst schnell (Komfort) und für den Akku möglichst schonend (Lebensdauer, Kapazität) aufladen sollen. Da es eine Großzahl an Geräten gibt, dazu noch verschiedene Typen von Akkus, findet man auf den Markt auch viele verschiedene Ladetechnologien, die Anwendung finden. Betrachtet man den Stromverlauf der untersuchten Geräte, können hier die unterschiedlichen Technologien erkannt werden.

4.2.3.3 Unterhaltungselektronik

Die Unterhaltungselektronik, auch als „braune Ware“ bezeichnet, sind elektrische Verbraucher, die der Unterhaltung des Benutzers dienen. Die Palette dieser Geräte umfasst Empfangs-, Aufnahme-, Wiedergabe- und Abspielgeräte sowie darstellende Geräte. [19] Die kleineren Geräte (z.B. Digitalkamera bis MP3-Player) sind meist batterie- oder akkubetrieben und fallen in dieser Arbeit in den Bereich der Ladegeräte, welche in Kapitel 4.2.3.2 beschrieben werden. Größere Geräte, wie z.B. PC, Bildschirme und Fernseher werden über Gleichrichterschaltungen vom Netz gespeist. PC und Bildschirme können wegen ihrer vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten sowohl der Unterhaltungselektronik als auch der IKT zugeordnet werden. In dieser Arbeit werden die beiden Geräte dem Bereich IKT zugeordnet.

Das TV-Gerät gilt als zentrales Element der Unterhaltungselektronik. Bei den beiden untersuchten TV-Geräten handelt es sich jeweils um Geräte mit Röhrentechnologie, welcher heute bei Neuanschaffung ein geringer Stellenwert zugeordnet wird, aber als Altbestände noch häufig aufzufinden sind. Im aktuellen Bestand liegt der Großteil der Röhrenmonitore im Bereich 20-30 Zoll und jener der Flachgeräte im Bereich 30-50 Zoll. Hinsichtlich dieser Größen ist ein zukünftiger Trend im Massenmarkt auf 46 Zoll Flach-TV zu erwarten. [20] Ein

Fernseher wirkt clusterbildend, denn in seinem direkten Umfeld werden weitere Geräte der Unterhaltungselektronik positioniert, welchen nach Zweck hier aufgelistet sind:

- Tonwiedergabe: Soundsysteme, Stereoanlagen, Audio-Verstärker,...
- Film-, Fernseh- bzw. Bildwiedergabe: SAT-Empfänger, DVD-Player, Projektor,...
- Konsolen

Das TV-Gerät kann in den meisten Fällen nicht als Einzelverbraucher betrachtet werden, da das Zusammenwirken mehrerer Geräte für die gewünschte Funktion erforderlich ist. Möglich ist jedoch die Betrachtung der Leistungsaufnahme eines einzelnen TV-Geräts. Die Leistungsaufnahme ist dabei von den Einstellungen am Gerät selbst (Lautstärke, Helligkeit, Kontrast, Farbe,...) und dem aktuellen Bild- und Tonausgang abhängig, der Anschlusswert beschreibt lediglich einen Maximalwert. Des Weiteren ist ein Rückgang des Stromverbrauchs auf Grund besserer Technologie und Energieeffizienz zu beobachten. [11] Betrachtet man den Trend, den viele Hersteller von TV-Geräten verfolgen, so werden Geräte zur Dauernutzung konstruiert. Damit eröffnen sich Möglichkeiten der Verwendung des TV-Geräts, z.B. in Kombination mit der Internetnutzung, was zu einer Erhöhung der Verwendungszeit führt. Somit könnten modernere Geräte abhängig von der Art der Verwendung auch der IKT zuordnen.

Nur knapp 7% der von Statistik-Austria befragten Haushalte besaßen keinen Fernseher (2008: 4%), 58% der Befragten besaßen einen oder mehrere LCD/LED-Fernseher (2008: 19%), 48% einen oder mehrere Röhrenfernseher (2008: 88%) und 9,4% einen oder mehrere Plasma-Fernseher. Im Vergleich zum Bezugsjahr 2008 ist entsprechend der aktuellen Marktentwicklung ein Rückgang der Röhrenfernseher und eine Zunahme der Anzahl von LCD/LED- sowie Plasmageräten zu erkennen. [10]

Neben dem Stromverbrauch im Betrieb muss auch der Stand-By Stromverbrauch, sowie jener im ausgeschalteten Zustand betrachtet werden, denn diese umfassen für einen Haushalt, bei immer stärkerer Durchdringung der Unterhaltungselektronik, ein großes Einsparpotential. Durch ständige Erneuerung der Normen kann der Energieverbrauch im Aus- oder Stand-By-Modus bei Unterhaltungsgeräten gesenkt werden. Die Grenzen der Leistungsaufnahmen im Aus- bzw. Stand-by-Betrieb werden durch die Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 auf 0-0,3W im Aus- und 0-2W im Stand-By-Betrieb beschrieben. Im Aus-Betrieb ist das Gerät an das Netz angeschlossen, erfüllt aber keine der möglichen Funktionen. Im Stand-By-Betrieb kann das Gerät mittels externen Signals in den Ein-Modus geschaltet werden. [21]

4.2.3.4 Informations- und Kommunikationstechnik

In der Literatur gibt es eine Begriffsvielfalt, mit der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) beschrieben werden kann. Der Wirtschaftswissenschaftler Helmut Krömer definiert in seinem Buch „Informationsmanagement“ IKT als die Gesamtheit der zur Speicherung, Verarbeitung und Kommunikation zur Verfügung stehenden Ressourcen, sowie die Art und Weise, wie diese Ressourcen organisiert sind. [22] In diesem Unterkapitel sollen intelligente elektrische bzw. elektronische Verbraucher beschrieben

werden, welche die oben angeführten Eigenschaften aufweisen. Dabei gibt es elektrische Verbraucher, welche Kommunikationsinstrumente, informationsverarbeitende Systeme bzw. Speichertechnologien einzeln oder im Kollektiv zusammenhängend in einem Gerät vereinen. Zu den verbreitetsten Geräten zählen:

- Computer (59% der Haushalte besitzen mindestens einen PC, 57% einen Laptop, dabei war die Anzahl der PCs geringfügig rückläufig, während es zeitgleich zu einem starken Anstieg bei der Anzahl der Laptops kam)
- Bildschirm
- Drucker
- Scanner
- Telefonanlagen bzw. Telekommunikationsnetzwerke
- Modem (Internetkommunikation)
- Serveranlagen

Zu IKT zählen ebenfalls mobile, batteriebetriebene Geräte, welche in dieser Arbeit im Kapitel 4.2.3.2 unter Ladegeräten eingeteilt wurden (z.B. Handy, Laptop). Bei einem Netzausfall bzw. einer Störung ist diese Geräteklasse besonders sensibel, da es zur Beschädigung oder dem Verlust relevanter Daten kommen kann. Ein Einsatz von USV-Anlagen für kurzfristige Ausfälle bzw. zusätzliche Verwendung von Netzersatzanlagen bei zeitlich länger andauernden Störungen ist deshalb zu empfehlen. Ebenso betroffen ist ein Großteil der verschiedenen Kommunikationskanäle, welche im Fall einer Störung nur eingeschränkt oder zeitlich begrenzt nutzbar sind. Die Weitergabe von Informationen an die Bevölkerung sowie an Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben ist auf Grund der Abhängigkeit von der öffentlichen Energieversorgung nur erschwert möglich [23].

4.2.3.5 USV-Technologien

Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung sind Geräte, welche bei Ausfall oder Störung der Versorgungsspannung sensible Verbraucher kurzzeitig unterbrechungsfrei versorgen können. Die benötigte Energie wird von Batterien oder Akkumulatoren bereitgestellt, wobei deren Dimensionierung die Zeit der Versorgung (Überbrückungszeit) festlegt. In der Regel werden die Anlagen so dimensioniert, dass die Überbrückungszeit ausreicht, um die technischen Systeme in einen sicheren Betriebszustand zurückzufahren und wenn vorhanden, kann eine Netzersatzanlage die weitere Versorgung übernehmen [24].

Generell werden drei Typen von USV-Anlagen unterschieden [25]

- **Off-Line (Stand-by) bzw. VFD-USV:** Die Ausgangsspannung der USV-Anlage ist von den Änderungen der Netzspannung und der Netzfrequenz abhängig. Im Normalmodus versorgt die USV den Verbraucher direkt aus dem Netz, zwar gefiltert, jedoch ohne aktive Umwandlung. Außerdem wird die Batterie aus dem Netz geladen. Im Falle eines Netzausfalls oder einer Netzschwankung liefert die USV eine stabile Versorgung aus der Batterie. Die verwendete Technologie nach IEC 62040-3 ist die

passive Netz-Paralleltechnik. Dieser USV-Typ bietet Schutz vor Netzausfällen, Spannungseinbrüchen und Spannungsspitzen.

- **Line Interactive bzw. VI-USV:** Die Spannung am Ausgang ist abhängig von der Netzfrequenz. Im Normalbetrieb wird die Qualität der Stromversorgung durch einen Mikroprozessor überwacht, wodurch auf Änderungen reagiert werden kann. Die Ausgangsspannung kann bei Änderung der Netzspannungsamplituden durch eine Kompensationsschaltung in bestimmten Grenzen (ca. $\pm 20\%$) ausgeregelt werden. Die Anlage befindet sich dann entweder in einem Netzbetrieb mit Unterspannungskorrektur oder eine Netzbetrieb mit Überspannungskorrektur. Damit gelangen nur Netzfrequenz- oder Phasenfehler zum Verbraucher. Dieser Typ von USV-Anlage verwendet eine Wechselrichter-Paralleltechnik und wird für einen USV-Netz-Parallelbetrieb eingesetzt. Eine VI-USV bietet zusätzlich Schutz vor kontinuierlichen Unter- und Überspannungen.
- **On-Line (Bypass) bzw. VFI-USV:** Bei diesem USV-Typ ist die Ausgangsspannung und damit die Qualität der Stromversorgung, unabhängig von Störungen im Versorgungsnetz. Im Normalbetrieb wird die Ausgangsspannung vollständig neu durch Doppelwandlung mittels Gleichrichtung und nachfolgender Wechselrichtung aufbereitet. Bei Netzstörungen werden beim Übergang auf den Batteriebetrieb störungsfreie Umschaltvorgänge gewährleistet. Die verwendete USV-Technik ist eine Doppelwandler-Technik, die Anlage wird dauerhaft betrieben und bietet prinzipiell Schutz gegen alle Arten von Netzstörungen. Verwendung findet diese Technologie bei hochsensiblen Systemen im größeren Leistungsbereich. Kritische Infrastrukturen, wie auch die im Zuge dieses Projekts untersuchte Landesleitstelle des Roten Kreuzes Steiermark (Graz Straßgang) verwendet diese Technologie zur Versorgung ihrer elektrischen Verbraucher.

4.2.3.6 Smart Meter

Smart Meter übernehmen eine zentrale Rolle in der Erfassung des elektrischen Energieverbrauchs eines Stromkunden. Durch diesen digitalen Zähler kann der Verbrauch eines Haushaltes in kurzen Zeitabständen erfasst und dem Kunden zugänglich gemacht werden. Dem Betreiber des Netzes kann das Smart Meter zusätzlich zur Überwachung von Spannungsqualitätsparametern, Fernauslesung sowie der Möglichkeit der Zu- bzw. Abschaltung des Anschlusses dienen.

4.2.4 Geräteklasse „Beleuchtung“

Unter Beleuchtung sollen hier sowohl die Innen- als auch die Außenbeleuchtungsanlagen (Straßenbeleuchtung) betrachten werden. Als Innenbeleuchtung soll die Beleuchtung von Wohnräumen bzw. Arbeitsplätzen verstanden werden. Die Innenbeleuchtung ist ausschlaggebend für ein angenehmes Ambiente im eigenen Haus, dient zur dekorativen Beleuchtung verschiedener Gegenstände und soll Arbeitsplätze ausreichend ausleuchten und dient vielen weiteren Einsatzbereichen, wo Licht notwendig ist. Um diese Zwecke zu

erfüllen, gibt es verschiedenste Leuchten-Typen mit unterschiedlichen Leistungen, Lichtströmen und Farbtemperaturen. Häufig verwendete Leuchten-Typen lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

- Glühlampen (auch Halogenglühlampen)
 - an Nennspannung 230V bzw. Kleinspannung 12V
- Leuchtstofflampen (Niederdruck-Entladungslampen)
 - mit konventionellen Vorschaltgerät (KVG)
 - mit elektronischen Borschaltgeräten (EVG)
- Hochdruck-Entladungslampen
- LED
- OLED (wird in dieser Arbeit nicht genauer eingegangen)

Bis auf Glühlampen benötigen alle anderen Leuchtmittel ein Betriebsgerät, welches heutzutage meist als Elektronisches Vorschaltgerät ausgeführt wird.

Abbildung 4.8 zeigt die Aufteilung der verschiedenen Lampentypen in österreichischen Haushalten. Gut erkennbar ist der Rückgang der Glühlampen, was auf deren Verkaufsverbot zurückzuführen ist. Gleichzeitig hat sich die Anzahl der Energiesparlampen mehr als verdoppelt. Der Anteil der der LED-Beleuchtungskörper erreicht erstmals die 10%-Marke.

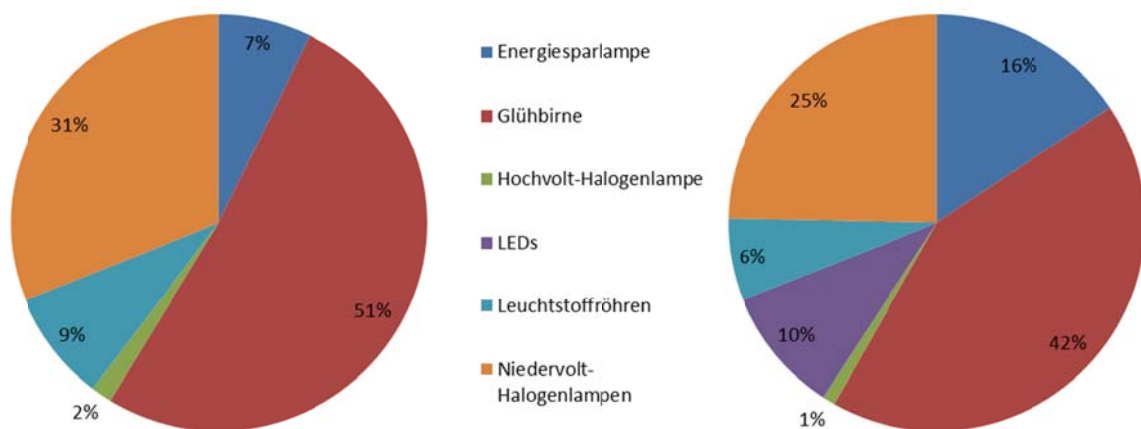


Abbildung 4.8: Lampentypen in österreichischen Haushalten 2008 (links) und 2012 (rechts)

Unter Außenbeleuchtung bzw. Straßenbeleuchtung sollen jene Leuchten verstanden werden, welche zur Beleuchtung von Straßen, Plätzen und Wegen dienen. Die Straßenbeleuchtung in Graz wird von Energie Graz betreut. Es handelt sich dabei um ein Anlage mit ca. 25.000 Leuchten zur Straßen-, Wohngebiets- bzw. Platzbeleuchtung der Stadt Graz mit dem Ziel der Verbesserung der Beleuchtungsqualität, der Erhöhung von Verkehrssicherheit und Bevölkerungssicherheitsgefühl, der Nutzung der Effizienzpotentiale sowie der Senkung der Energiekosten. [26] Abbildung 4.9 zeigt die verschiedenen Leuchtmittel, welche in Graz eingesetzt werden. Ein Ziel bei Neuanlagen ist die Verwendung

moderner Technologien, wobei sich laut Ing. Robert Mark von Energie Graz in den nächsten Jahren LED-Beleuchtung durchsetzen wird. Der Vorteil dieser Technologie ist die unbegrenzte Dimmbarkeit, welche man für den vorgesehen Einsatzort sowie die Absenkung des Lichtstroms in den Nachtstunden zwischen 22⁰⁰ und 06⁰⁰ Uhr optimal anwenden kann.

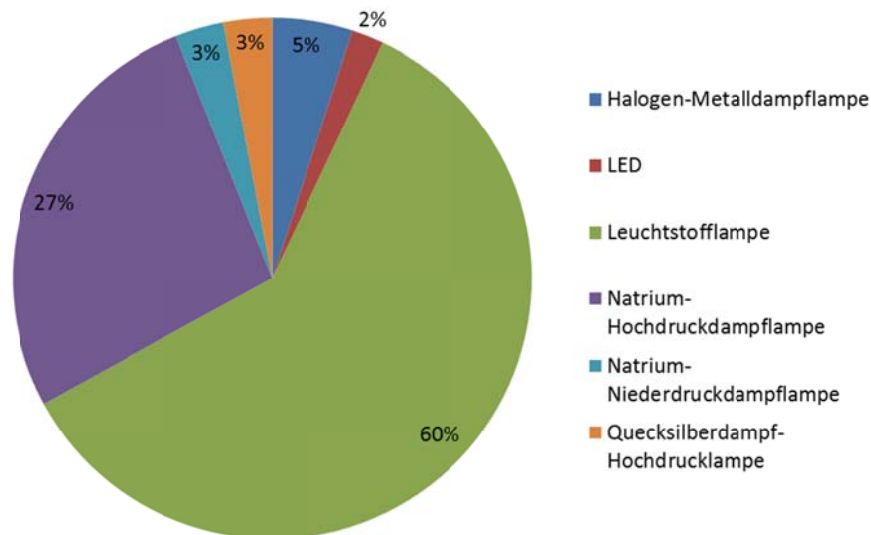


Abbildung 4.9: Aufteilung der Arten der Straßenbeleuchtung der Stadt Graz, 2013 [27]

Eine definierte, messtechnisch erfasste Absenkung des Lichtstromes ist wegen der Anpassungsfähigkeit des menschlichen Auges an verschiedene Lichtverhältnisse, für den Menschen nicht in diesem Ausmaß erkennbar. Verschiedene Schlechtwetterbedingungen können die Absenkung des Lichtstroms jedoch besser ersichtlich machen. Der Vorteil einer dimmbaren Leuchte ist eine individuelle Einstellung in mehreren Stufen, um standortgerecht eine optimale Wirkung zu erzielen.

Die Regulierung des Lichtstromes und gleichzeitig der Leistung der Beleuchtungsanlagen werden durch programmierbare elektronische Vorschaltgeräte durchgeführt.

4.2.5 Geräteklasse „Geräte für Kochzwecke“

Bei den elektrischen Verbrauchern für Kochzwecke handelt es sich um Betriebsmittel, welche Wärme erzeugen und diese zum Erhitzen von Speisen und Getränken zur Verfügung stellen. Die Art der Wärmeerzeugung hängt vom in Funktion befindlichen Verbraucher ab:

- Eine Kochplatte erzeugt die Wärme mit Hilfe von elektrischen Heizelementen und überträgt diese mit Wärmeleitung.
- Ein Ceran-Kochfeld erzeugt die Wärme mit elektrischer Strahlungsheizung und überträgt diese dadurch zum großen Teil durch Wärmestrahlung.
- Beim Induktionskochfeld induziert ein magnetisches Wechselfeld Strom in das ferromagnetische Material eines Kochtopfbodens und wird dort in Wärme umgesetzt.

- Beim Backofen erzeugen Heizspiralen im Innenraum die Wärme. Durch einen zusätzlichen Ventilator kann die Wärme im Ofen gleichmäßig verteilt werden (Umluft).

Des Weiteren können noch zwei Geräte, welche in dieser Arbeit zu den „Haushaltskleingeräten“ gezählt werden, als Bestandteil der Geräteklasse „Kochzwecke“ genannt werden.

- Im Mikrowellenherd erfolgt die Erwärmung von Speisen und Getränken durch eine Umwandlung von elektromagnetischer Feldenergie in Wärmeenergie.
- Im Inneren des Wasserkochers erhitzt ein Heizelement das Wasser bis ein Temperatursensor bei Erreichen der Endtemperatur das Gerät ausschaltet.

91% der österreichischen Haushalte besitzen nur einen Herd (88% davon elektrisch betrieben, 72% davon Ceran), 9% besitzen zweite Geräte (zu 52% mit Strom betrieben). Ein Viertel dieser Geräte weist einen Stand-by Verbrauch auf, der auf Zeitschaltuhr und elektronisches Display zurückzuführen ist und nur bei moderneren Geräten auftaucht. Auch im Bereich des Backrohrs stieg die Anzahl der Geräte mit einem Alter geringer als 5 Jahren, welche vermehrt einen Stand-by Verbrauch aufweisen. Der Stand-by Verbrauch für diese Geräteklasse stieg um 9%. [10]

4.2.6 Geräteklasse „Raumheizungs- und Klimageräte“

In dieser Geräteklasse werden Verbraucher zusammengefasst, welche für die Bereitstellung einer gewünschten Temperatur sowie der Verteilung der Luft in Wohnräumen bzw. an Oberflächen verwendet werden. Dabei können dies Einzelgeräte sein, welche eine oder beide Funktionen erfüllen, aber auch Verbraucher, welche einen Teil dieser Aufgaben erfüllen (z.B. Heizungskreislauf). Wichtig zu erwähnen ist bei dieser Geräteklasse, dass bei Heizungsanlagen immer eine Umwälzpumpe für die Zirkulation des Wärmeträgermediums durch den Heizkreislauf notwendig ist.

Laut Statistik-Austria erfolgt bei 57% der Haushalte das Heizen der Räume über eine Hauszentral- bzw. Etagenheizung, 6% heizen mit Elektrodirektheizung oder Nachtspeicheröfen, 3% betreiben Gaskonvektoren, 1% Einzelofenheizungen und 5% heizen mit Erwärme. 28% der Haushalte beheizen ihre Wohnung mit nicht stromrelevanten Anlagen. Generell ist der Anteil jener Haushalte, welche ihre Räume mit Strom beheizen rückläufig. Der Grund dafür ist meist die Umstellung auf einen anderen Energieträger bzw. ein Austausch des verwendeten Heizsystems. [10]

Betrachtet man nun die elektrischen Geräte zu Kühl- und Klimazwecken sowie Zusatzheizung, die zusätzlich verwendet werden, bietet Abbildung 4.10 einen Überblick über die Art und Ausstattung dieser Geräte in österreichischen Haushalten:

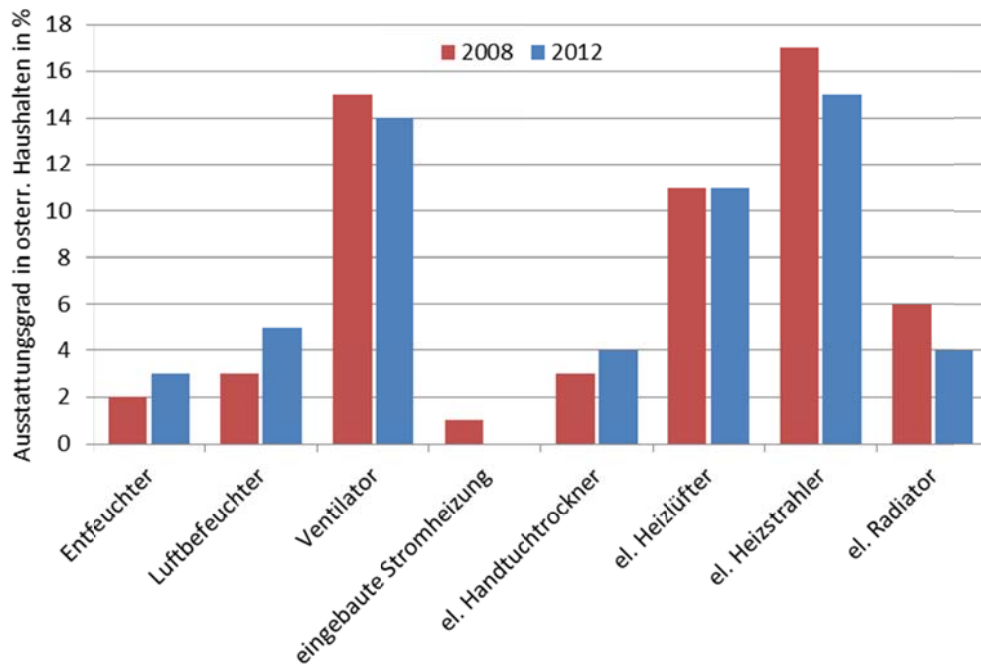


Abbildung 4.10: Ausstattungsgrad mit Kühl- und Klimageräten sowie Zusatzheizgeräten in den Jahren 2008 und 2012 [10]

Fix installierte sowie mobile Klimageräte erreichten in beiden Jahren den Wert von 1% nicht (werden in der Abbildung 4.10 nicht aufgelistet), die eingebauten Stromheizungen tauchen in der Statistik von 2012 überhaupt nicht mehr auf. [10]

4.2.7 Geräteklasse „Kühl-und Gefriergeräte“

Kühl- und Gefrierschränke bzw. eine Kombination dieser, Gefriertruhen und Weinschränke sind elektrische Verbraucher, welche die Temperatur in ihrem isolierten Innenraum auf einen voreingestellten Wert zum Kühlen oder Gefrieren von Lebensmitteln halten. Typische Temperaturen im Inneren von Kühlgeräten befinden sich im Bereich 0 bis +10°C, bei Gefriergeräten im Bereich Umgebungstemperatur bis -18°C (abhängig von der Sternekennzeichnung) und bei Weinschränken zwischen 5-20°C. [28] Bei den im Haushalt verwendeten Kühlgeräten handelt es sich üblicherweise um Kompressionskühlschränke, die Kühlung wird durch einen motorbetriebenen Kompressor hervorgerufen, das Kältemittel durchläuft einen linksläufigen Clausius-Rankine-Prozess. [29] Der Kompressor wiederholt immer wieder denselben Schaltzyklus. Wenn die Temperatur im Inneren des Gerätes zu hoch ist, schaltet er ein, wenn die erwünschte Temperatur erreicht ist, schaltet er wieder aus. Die Periodendauer des Schaltzyklus ist nicht immer exakt gleich, sondern variiert abhängig von der einströmenden Wärme beim Öffnen des Geräts bzw. bei Befüllung mit warmen Lebensmitteln.

Der Energieverbrauch eines Kühlgerätes hängt vor allem von den folgenden Faktoren ab:

- Kapazität des Innenraums bzw. Nutzinhalt [Liter]

- Umgebungstemperatur und eingestellte Lagertemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
- Energieeffizienz bzw. Klimaklasse

Der jährliche Energieverbrauch eines Haushaltskühlgeräts AE_C wird laut Norm (EU) Nr. 1060/2010 [28] auf Grundlage einer 24 Stunden Messung angegeben, der tatsächliche Verbrauch hängt von Art der Nutzung und Standort des Geräts ab.

$$AE_C = E_{24h} \cdot 365 \quad (4.2)$$

Alle Haushalte in Österreich gaben bei der Befragung von Statistik- Austria den Besitz eines Kühlschranks an, 18% besaßen zwei Geräte und 3% drei oder mehr. Bei den Gefriergeräten gaben 40% den Besitz eines Geräts und 11% den Besitz von zwei oder mehreren an. [10]

4.3 Neue Einteilungsmöglichkeit elektrischer Geräte

Nachdem jetzt die Einzelgeräte den Geräteklassen zugeordnet wurden, können diese durch weitere gerätespezifische Eigenschaften unterschieden werden. Abhängig von der Herangehensweise an die Eigenschaften einer elektrischen Last oder die Art der Weiterverwendung verschiedener Charakteristika gibt es mehrere Möglichkeiten, Lasten einzuteilen.

4.3.1 Einteilung nach Verlauf des Laststroms

Eine erste Möglichkeit der Einteilung bietet die Betrachtung des Stromverlaufes. Hier unterscheidet man prinzipiell zwischen linearen Lasten und nicht-linearen Lasten. Eine lineare Last nimmt einen sinusförmigen Strom auf, wenn sie an den Klemmen mit einer sinusförmigen Spannung gespeist wird. Der Stromverlauf $i(t)$ ist proportional zum Spannungsverlauf $u(t)$, der um einen Winkel φ verschoben sein kann. [30] Ohm'sche Lasten finden sich bei thermischen Verbrauchern (z.B. elektrische Herdplatte), Glühlampen und ungesteuerten Lasten.

In modernen elektrischen und elektronischen Geräten findet man Schaltnetzteile, welche die Leistung eines Betriebsmittels steuern und dieses somit zu einer nicht-linearen Last machen. Eine nicht-lineare Last ist ein Verbraucher, welcher einen nicht-sinusförmigen Strom aufnimmt, auch wenn er an den Klemmen mit einer sinusförmigen Spannung gespeist wird. [30] Diese Verzerrungen des Laststromes führen je nach Leistung des Verbrauchers auch zu einer Verzerrung der Spannung (Abflachung der Spannungsscheitel = „flat topping“). Diese verzerrte Spannungsschwingung liegt an allen Lasten des gleichen Stromkreises an und verursacht in diesen Oberschwingungsströme. Um das Netz nicht übermäßig zu belasten, helfen Filter in den elektrischen Geräten den Oberschwingungsanteil zu minimieren. Außerdem wurden Richtlinien festgelegt [32], welche sowohl die Verzerrung der Spannung

als auch jene des aufgenommenen Stromes begrenzen sollen. Verbraucher mit nicht-linearer Stromaufnahme sind z.B. Computer, Ladegeräte, Entladungslampen sowie der Großteil der gesteuerten Lasten, welche die Steuerung nicht mit Amplitudenänderung durchführen.

4.3.2 Einteilung nach Arbeitsweise

Eine zweite Möglichkeit der Einteilung bietet die Arbeitsweise der Geräte. Dazu werden die Geräte in folgende Kategorien eingeteilt: [33]

- Geräte mit einfacher Ein/Aus- Charakteristik
- Quasi periodische Geräte
- Geräte mit mehreren Schaltzyklen während eines Arbeitsganges

Geräte mit einfacher Ein/Aus-Charakteristik sind jene Geräte, die meist eine Einschaltflanke besitzen und über den Zeitraum der Verwendung eine nahezu konstante Leistung beziehen. Beispiele dieser Kategorie finden sich in fast allen Geräteklassen. Beispiele für Einzelgeräte, die diese Eigenschaft zeigen, sind Staubsauger, Wasserkocher (siehe dazugehörige Kennlinie in Abbildung 6.4) und Ventilatoren.

Als quasi periodische Geräte können jene angesehen werden, welche über einen großen Zeitraum immer wieder denselben Schaltzyklus wiederholen. Bestes Beispiel für eine quasi periodische Arbeitsweise zeigt der Kühlschrank, bei dem die Zeitspannen zwischen den Arbeitszyklen, bei gleich bleibenden Umgebungsumständen nahezu konstant bleibt (siehe das Lastprofil eines Kühlschranks in Abbildung 6.32). Am Rande können hier auch solche Geräte genannt werden, die ebenfalls einem quasi periodischen Arbeitszyklus nachgehen, deren Betriebsdauer aber relativ kurz ist. Abbildung 4.11 zeigt den Verlauf der aufgenommenen Leistung einer Filterkaffeemaschine, welche nach erstmaligem Aufheizen diesen Vorgang quasi periodisch wiederholt.

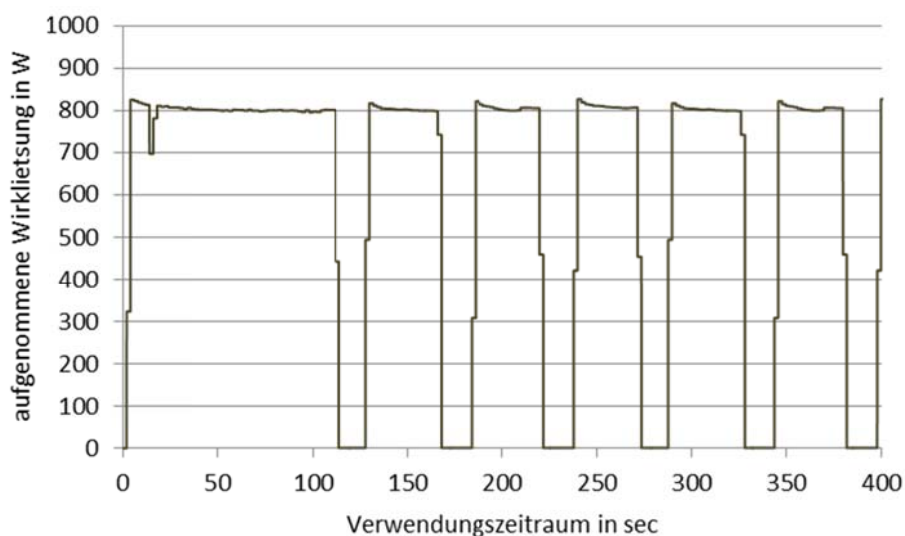


Abbildung 4.11: Quasi periodisches Verhalten einer Filterkaffeemaschine Braun 3083/ KF 22 bei $U=222,0V$

Ähnliches Verhalten ist bei anderen Geräten mit integriertem Temperatursensor ersichtlich, sowie bei gesteuerten Lasten, welche die Leistungssteuerung auf Grund der Einschaltzeiten regeln, z.B. Mikrowelle.

Geräte mit mehreren Schaltzyklen während eines Arbeitsganges sind solche Geräte, die in einer begrenzten Laufzeit verschiedene Arbeitsschritte durchlaufen. Hier zu nennen sind die drei Haushaltsgroßgeräte Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler. Diese Geräte durchlaufen klar definierte Programme mit alternierendem Leistungsbezug (siehe Lastprofile der Haushaltsgroßgeräte in Kapitel 4.2.1).

4.3.3 Einteilung nach ausschlaggebendem elektrischem Bauteil

Es gibt viele elektrische Geräte, bei denen ein elektrisches Bauteil das charakteristische Verhalten bzw. die Leistungsaufnahme des Geräts bestimmt. Bei anderen Geräten ist das Zusammenspiel von zwei oder mehreren elektrischen Bauteilen für das Erreichen einer ordnungsgemäßen Funktion notwendig und somit für die charakteristische Leistungsaufnahme verantwortlich. Der Ausfall eines der Bauteile kann zum Ausfall des Geräts führen, oder dazu, dass das Gerät nur noch Teilfunktionen erfüllen kann. Allgemein können folgende wichtige elektrische Bauteile unterschieden werden:

- Elektrischer Antrieb
- Thermische Komponente
- Elektronische Steuerung, Leistungselektronik

Viele moderne Geräte funktionieren ausschließlich mit Leistungselektronik, andere sind mit Display-Anzeigen ausgestattet bzw. die Bedienung des Geräts funktioniert über elektronische Schalter. Ein Ausfall oder Defekt der Elektronik führt zum Ausfall des Geräts. Kommt es zu einem Ausfall des elektrischen Antriebs oder der thermischen Komponente, kann das Gerät seine ordentliche Funktion nicht mehr ausführen.

Vor allem für die Betrachtung der Funktionsweise in einem Unterspannungsbetrieb sind die in einem Gerät vorhandenen elektrischen Komponenten ausschlaggebend. Auf Grund dieser kann oft schon im Voraus eine Aussage über Funktion und Verhalten bei veränderter Versorgungsspannung getätigt werden.

5 Verhalten elektrischer Lasten bei Unterspannung

Dieses Kapitel zeigt die zentralen Untersuchungskonzepte dieser Masterarbeit. Dabei werden zuerst die durchgeführten Messmethoden erklärt, danach auf die Änderung der elektrischen Parameter hingewiesen, um im dritten Teil auf die Funktion und das Verhalten der einzelnen Geräteklassen sowie ausgewählter Einzelgeräte genauer einzugehen.

5.1 Messkonzepte

Um die Funktion und das Verhalten verschiedener Endverbraucher untersuchen zu können, sollte die Erfüllung einer ordnungsgemäßen Funktion einer Teilaufgabe oder der gesamten Aufgabe bei verschiedenem Betrag der Versorgungsspannung analysiert werden. Dabei wurde als eine Bewertungsmethode die Messung ausgewählter elektrischer Größen gewählt. Für jeden untersuchten Verbraucher wurde dabei eine Leistungsmessung und für die Verbraucher der Geräteklasse „Beleuchtung“ zusätzlich eine Messung der Beleuchtungsstärke durchgeführt.

5.1.1 Leistungsmessung

Zur Messung des Verhaltens elektrischer Lasten bei einer Versorgung mit Unterspannung wurde eine einfache stromrichtige Leistungsmessung gewählt. Als Messgerät dienen verschiedene Modelle aus der DEWETRON Reihe (2600 und 3020). Die Spannung wurde direkt am Messgeräte gemessen, die Strommessung erfolgt mit Hilfe einer Stromzange (Chauvin Arnoux C173) bei leistungsstarken Verbrauchern und mit Hilfe eines Shunt-Widerstands (10Ω) bei Verbrauchern mit geringer Leistungsaufnahme. Bei vereinzelt leistungsstarken Verbrauchern, welche bei hohen Versorgungsspannungen einen großen Strom beziehen, kamen die Stromzangen im oberen Spannungsbereich in Sättigung, was zu einer fehlerhaften Aufnahme des tatsächlichen Stromes führte.

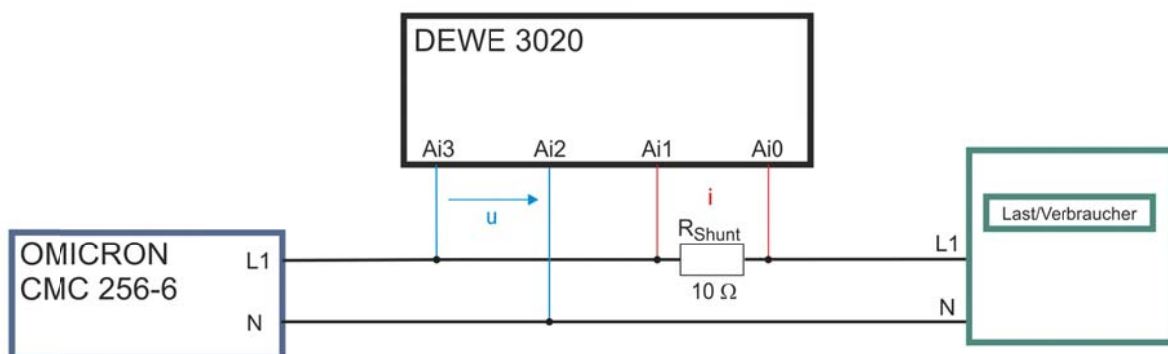


Abbildung 5.1: Messkonzept für leistungsschwache Verbraucher

Als Spannungsquellen dienten:

- OMNICRON CMC 256-6 (3 x 0-300V~, 25A)
- LN ST8008-4S (3 x 400V~, 16 A max.)
- Schuntermann RGE 300/10 (1 x 300V~, 10A)

Eine Kontrollmessung im Rahmen der Smart Meter Eigenverbrauchsmessung kam zum Ergebnis, dass die Verwendung unterschiedlicher Quellen keinen signifikanten Einfluss auf die gemessenen Werte hat. So wurde je nach Anforderung des Verbrauchers und Verfügbarkeit der Spannungsquelle im Labor eine der drei verfügbaren Quellen gewählt.

Die Spannung an der Quelle wurde anfänglich 1-phasig im Bereich zwischen 10V (Offset-Fehler des Stelltrafos RGE300/10) und 230V variiert, spätere Messungen wurden bis zu einer maximalen Spannung von 250V durchgeführt. Diese genannten Spannungen entsprechen den eingestellten Spannungen an der Quelle und unterscheiden sich, um den Betrag des an der Quellimpedanz liegenden Spannungsabfalls von den Spannungen direkt an den Geräten. Deshalb gibt es in der Arbeit bei einigen am Anfang betrachteten Verbrauchern Messwerte, welche bis 220V verlaufen. Eine spätere Wiederholung der Messung mit Erweiterung des Spannungsbereichs war wegen des Transports der Messgeräte nicht möglich. Die Aussagekraft der Messungen bleibt trotz der kleineren Spannungsvariationsbreite, erhalten.

Zur Versorgung der 3-phasigen Lasten (in dieser Arbeit 3-phasige Smart Meter) konnte zwischen zwei Spannungsquellen gewählt werden. Die Variation der Spannung lag bei 0-250V 1-phasig und 0-435V verkettet. Wiederum sind die genannten Spannungen jene an der Quelle. Darum weisen die im Anhang angeführten Messtabellen verschiedene Spannungswerte auf. Der Spannungsabfall an der Quellimpedanz wurde zwar gemessen, da diese aber stark vom Ort der Messung bzw. von vorhandenen Quellen und der damit verbundenen Quellimpedanz abhängt, wurden keine weiteren Untersuchungen in diese Richtung angestellt.

Die Spannung wurde so verändert, dass das Verhalten der einzelnen Geräte beobachtet und die dazugehörigen elektrischen Parameter gemessen werden konnten. Bei Geräten ohne erwarteten Einschaltstoßstrom konnte die Spannung problemlos am laufenden Gerät verändert werden. Bei Geräten mit diesem Einschaltstoßstrom wurde die Messung bei vorher definierten Spannungen (100V, 140V, 180V, 230V, 250V) durchgeführt und zwischen den Messungen der Verbraucher ausgeschaltet. Als Folge des verschiedenen Funktionsbereichs einzelner Geräte wurden zusätzlich zu den oben genannten Spannungen weitere Werte für die Versorgungsspannung verwendet (z.B. 50V, 120V, 160V, 200V) und gerätespezifisch angewendet. Da der Einschaltstoßstrom vorrangig vom genauen Zeitpunkt der Zuschaltung abhängt, zeigen die Messwerte in Bezug auf diesen wenig aussagekräftige Werte, sondern lediglich mögliche Tendenzen. Deshalb erfolgte die Bestimmung des Einschaltstoßstroms theoretisch (siehe Kapitel 5.2.1.2)

Abhängig von der elektrischen Last und dem zu erwartenden Verhalten wurde auch die Dauer der Messung variiert. So konnten bei diversen Haushaltsgroßgeräten vollständige

Lastprofile aufgenommen werden, während bei thermischen Lasten oft einige Minuten für die Messung ausreichen, da hier ein stationärer Zustand erreicht wurde und keine weiteren Änderungen der Parameter zu erwarten waren.

Ziel der Messungen war es, jedem Verbraucher Spannungsbereiche zuzuordnen, in denen dieser die erwartete, ordnungsgemäße Funktion vollkommen-, teilweise- bzw. gar nicht erfüllen kann. Außerdem sollten für die untersuchten Einzelgeräte spannungsabhängige Kennlinien der gemessenen Parameter aufgenommen werden, um dann eine repräsentative Kennlinie für die gesamte Geräteklasse ableiten zu können.

Um das Ziel mit den genannten Vorgaben erreichen zu können, wurden an den Messgeräten die Einstellungen so gewählt, dass die wichtigsten Messwerte aufgenommen werden konnten, diese sind:

- **Aufgenommener Strom** → Veränderung des Betrags, der Form sowie Auswirkungen auf den Oberschwingungsgehalt auf Grund von Verzerrungen
- **Leistungsbilanz** → Veränderung von Wirk-, Blind- und Scheinleistung (hier fließt auch die Änderung des Leistungsfaktors ein)

Wie vorher bereits beschrieben wird die Spannung direkt und der Strom über eine Stromzange bzw. Shunt-Widerstand gemessen. Die Bestimmung der weiteren wichtigen elektrischen Größen wird vom Multifunktionsmessgerät Dewetron durch mathematische Funktionen durchgeführt. So ergeben sich folgende Größen: [31]

Effektivwert des Stromes I: wird aus der Summe der Effektivwerte der gesamten Harmonischen des Stromes gebildet.

$$I = \sqrt{\sum_{\mu=1}^n I_{\mu}^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_{\mu}^2} \quad (5.1)$$

Effektivwert des Spannung U: wird aus der Summe der Effektivwerte der gesamten Harmonischen der Spannung gebildet.

$$U = \sqrt{\sum_{\mu=1}^n U_{\mu}^2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_{\mu}^2} \quad (5.2)$$

Scheinleistung S: ergibt sich aus dem Produkt der Effektivwerte von Strom und Spannung

$$S = U \cdot I \quad (5.3)$$

Wirkleistung P bzw. P_1 : Träger der Wirkleistung ist nur die Grundschiwingung des Stromes in Kombination mit einer sinusförmigen Spannung:

$$P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = P \quad (5.4)$$

Blindleistung Q: setzt sich aus der Grundschiwingungsblindleistung Q_1 und der Verzerrungsblindleistung D zusammen, kann aber auch aus den bekannten Werten für Wirk- und Scheinleistung berechnet werden. Die in späterer Folge in den Tabellen angegebene Blindleistung ist jene nach Formel (5.7).

$$Q_1 = U \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad (5.5)$$

$$D = U \cdot \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_\mu^2} \quad (5.6)$$

$$Q = \sqrt{Q_1^2 + D^2} = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (5.7)$$

Leistungsfaktor λ und $\cos \varphi_1$: Der Leistungsfaktor kann aus dem Verhältnis von Wirk- und Scheinleistung ermittelt werden, sowie mit Hilfe des grundschiwingungs-Leistungsfaktors und dem Grundschiwingungsgehalt des Stromes.

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos \varphi_1 \quad (5.8)$$

Dabei ist der von dem Messgerät Dewetron angegebene $\cos \varphi_1$ der Grundschiwingungs-Leistungsfaktor.

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (5.9)$$

Bei sinusförmigen Größen nehmen beide Faktoren denselben Wert an. Für nicht-sinusförmige Größen gilt $\lambda < \cos \varphi_1$. Die Angabe des Leistungsfaktors λ ist vor allem bei Stromrichter gesteuerten Verbrauchern relevant, da auf Grund von Oberschwingungen keine Angabe über einen einheitlichen Phasenverschiebungswinkel möglich ist. In dieser Arbeit wird der Leistungsfaktor λ verwendet, da dadurch das gesamte Frequenzspektrum der Oberschwingungen mitbetrachtet werden kann.

Total Harmonic Distortion (THD) oder Gesamte harmonische Verzerrung: ist die Abweichung eines verzerrten elektrischen (oder akustischen) Signales, bezogen auf den

Effektivwert der Grundschwingung. Die mathematische Definition in der Energietechnik für die Verzerrung des Stroms lautet nach IEEE Std 1459TM-2010 wie folgt: [35]

$$THD_I = \sqrt{\left(\frac{I}{I_1}\right)^2 - 1} \quad (5.10)$$

Kennt man den Wert der gesamten harmonischen Verzerrung bei Netzspannung, kann man für Geräte, welche durch Leistungselektronik betrieben werden, die Stromrichterschaltungen auf Grund typischer, bekannter Werte bestimmen.

Klirrfaktor k : beschreibt die Abweichung der Grundschwingung, welche von Oberschwingungen ausgelöst werden. Der Faktor beschreibt das Verhältnis der Effektivwerte der Oberschwingungen bezogen auf die Effektivwerte des gesamten Signals. Am Beispiel des Stromes erhalten wir den mathematischen Zusammenhang:

$$k_I = \sqrt{1 - \left(\frac{I_1}{I}\right)^2} \quad (5.11)$$

5.1.2 Messung der Beleuchtungsstärke

Um den betrachteten Leuchten einen weiteren aussagekräftigen Messwert zuordnen zu können, wurde mit Hilfe eines Lux-Meters die Beleuchtungsstärke E_v der Leuchten in einem Abstand von $d=0,8\text{m}$ gemessen. Dieser Abstand gilt vom Messkopf des Messgeräts bis zum zentralen Punkt der Leuchte. Beim verwendeten Messgerät handelt es sich um das GOSSEN MAVOLUX 5032 B USB. Das emittierte Licht der Leuchte fällt auf einen Messkopf mit einer Silizium Fotodiode mit einer $V(\lambda)$ -Filter als Lichtempfänger. Die Lichtauffangfläche des Diffusors beträgt ca. $20\text{mm } \varnothing$. Die Hellempfindlichkeitskurve ist der speziellen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges angepasst. Das menschliche Auge adaptiert eine Änderung der Lichtstärke sehr gut und so ist ein prozentuelles Anheben- bzw. Absenken des Lichtstromes subjektiv nicht im selben Ausmaß wahrnehmbar.

Die Lichtquelle kann nicht als punktförmige Quelle angegeben werden, da die Lichtausstrahlung von Leuchte zu Leuchte einen verschiedenen Raumwinkelbereich Ω bestrahlt. Deshalb gilt der Zusammenhang Beleuchtungsstärke E_v , Lichtstärke I_v und Lichtstrom Φ_v nach der unten angeführten Formel für die durchgeführten Messungen nicht, d.h. ausgehend vom angegebenen Lichtstrom kann nicht automatisch auf die Beleuchtungsstärke, die gemessen werden soll, geschlossen werden. Betrachtet man die

untern angeführte Formel, kann aber ein proportionaler Zusammenhang zwischen den beiden Größen erkannt werden.

$$E_v = \frac{I_v}{d^2} \left[lx = \frac{cd}{m^2} \right] = \frac{\Phi_v / \Omega}{d^2} \quad (5.12)$$

Ziel der Messung war es nicht, den exakten Wert der Beleuchtungsstärke einer Leuchte zu definieren, sondern die Art der Veränderung dieses Wertes bei sich ändernder Versorgungsspannung aufzeigen zu können. Des Weiteren sollte bestimmt werden, ob durch Absenken der Spannung energetische- und wirtschaftliche Einsparpotentiale vorhanden sind.

5.2 Änderung der elektrischen Parameter

Eingeschaltete oder im Stand-By laufende elektrische Verbraucher nehmen bei anliegender Spannung an den Klemmen Strom auf. Abhängig vom betrachteten Verbraucher ist ein definierter Betrag der Spannung erforderlich, damit der Strom groß genug ist, um den Verbraucher betreiben zu können. Hersteller achten bei der Konstruktion neuer Geräte auf eine optimale und energieeffiziente Funktion unter Normalbedingungen (Netzspannung $U=230V$) und die Erfüllung aller erwarteten Funktionen bei Änderung der Versorgungsspannung im von der Norm EN 50160 [1] spezifizierten Spannungsband sowie der nach EN 61000-3-2 [32] geregelten Stromüberschwingungen. Ein Großteil der in dieser Arbeit betrachteten Geräte funktioniert begrenzt auch außerhalb dieses Spannungsbandes, die Hersteller haften dann aber nicht mehr. Dass die Versorgungsspannung im normalen Netzbetrieb im konstanten Bereich um die Netzspannung bleibt, ist Aufgabe des Energieversorgers.

In den folgenden Unterkapiteln werden jene Größen bzw. Faktoren beschrieben, bei welchen sich eine Änderung der Versorgungsspannung auswirkt.

5.2.1 Änderung des aufgenommenen Stromes

Der aus dem Netz bezogene Strom gibt das Verhalten eines elektrischen Verbrauchers bestens wieder. Aus Form und Betrag kann auf eine mögliche Geräteklasse geschlossen werden. Bei Veränderung der Spannung und damit auch Veränderung des Stromes, bestimmt dieser die Funktion des Geräts. Außerdem beeinflusst das Verhalten des Stroms die Verluste auf den Leitungen sowie führt ein unerwünschter erhöhter Strom zu Erwärmungen im Verbraucher, was zu möglichen Schäden oder schnellerer Alterung führen kann. Im folgenden Abschnitt soll erklärt werden, wie sich Strom bzw. Stromparameter bei Veränderung der Versorgungsspannung verhalten.

5.2.1.1 Betrag und Form

Je nach untersuchtem Verbraucher wird aus dem Netz ein gerätetypischer Strom aufgenommen (siehe Kapitel 4.3.1). Die Form des Stromes hängt vor allem vom leistungsstärken elektrischen Bauteil ab. Bei Veränderung der Versorgungsspannung ändert sich bei allen Bauteilen die Amplitude des aufgenommenen Stromes. Dieser wird im Großteil des untersuchten Spannungsbereiches und bei sinkender Spannung:

- **kleiner:** bei allen nicht-leistungsgesteuerten Komponenten (elektrischer Antrieb, thermisches Element, Innenbeleuchtung)
- **größer:** bei Komponenten mit integrierter Leistungskonstanz (Schaltnetzteile, Außenbeleuchtung)

Im Vergleich mit der Stromform bei einer Versorgungsspannung von $U_N=230V$ ändert sich bei einem Teil der untersuchten Geräte neben der Amplitude auch die Form des aufgenommenen Stromes. Diese Änderung kommt vor allem von der integrierten Elektronik, welche durch Stromüberschwingungen das Signal verzerren oder „formschöner“ machen.

Wie sich Betrag und Form des Stromes in den einzelnen Geräteklassen verändern, wird im Kapitel 6 für jede Klasse beschrieben. Darauf aufbauend können die Verluste berechnet werden, welche sich auf den Verbraucher bzw. auf das Netz auswirken:

- Verbraucher
 - Änderung der Lebensdauer durch Änderung der Erwärmung der Elektronik
- Netz
 - Längsspannungsabfälle und Kupferverluste
 - i.d.R. Wirbelstromverluste

5.2.1.2 Höhe des Einschaltstoßstromes

Besonders zu beachten ist die Höhe des Einschaltstromes bei der Wiedereinschaltung ganzer Verbraucherkollektive. Hier kann der Strom Größenordnungen erreichen, welche zu Betriebsstörungen führen können. Wie ein mögliches Verhalten der verschiedenen Geräte bei Spannungswiederkehr aussieht, kann in Tabelle 6.1 nachgelesen werden. Ausschlaggebend neben technischen Komponenten ist auch das menschliche Verhalten in den ersten Sekunden und Minuten nach Spannungswiederkehr. Netztechnisch wird die zugeschaltete Last durch Maßnahmen wie z.B. zeitlich verzögertes Zuschalten einzelner Abgänge realisiert.

Der Einschaltstoßstrom hängt von der Größe der angeschlossenen Last ab, aber auch sehr wesentlich vom Zeitpunkt der Zuschaltung und dem beim Zuschalten vorhandenen Betrag der Versorgungsspannung. Die Aussage, dass es bei geringeren Versorgungsspannungen auch zu geringeren Einschaltstoßströmen kommt, kann ohne Betrachtung des Einschaltzeitpunktes, wie es bei der durchgeführten Messung der Fall war, nicht getätigt werden. Einige Messungen zeigen auch, dass es bei verringerter Versorgungsspannung durchaus zu großen und dem Verhalten bei Nennspannung ähnlichen Einschaltstoßströmen kommen kann. Anzumerken sei auch, dass es bei den untersuchten elektrischen

Verbrauchern nicht nur beim Einschalten, sondern auch beim Ausschalten zu Stoßströmen gekommen ist.

Gesagt werden kann lediglich, dass zur Bestimmung des Einschaltstoßstromes bei verschiedenen Stufen reduzierter Spannung der Wert der zu diesem Zeitpunkt bezogenen Leistung, bekannt sein muss. Da die Untersuchungen hinsichtlich des Leistungsbezugs diverser elektrischer Verbraucher bei reduzierter Spannung durchgehend fallende oder gleichbleibende Leistungsaufnahmen, keinesfalls aber steigende Werte zur Folge hatten, wird bei der höchsten betrachteten Spannung auch der maximal auftretende Einschaltstoßstrom fallen.

Theoretisch kann gezeigt werden, dass der maximale Dauerstrom von den im Netz vorhandenen RLC-Komponenten abhängig ist.

$$\hat{I} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (5.13)$$

Der Strom ändert sich linear mit der Spannung. Für den Gesamtstrom während des transienten Ausgleichsvorgangs kann nach Formel (5.14) der lineare Zusammenhang mit der Spannung gezeigt werden.

$$i = \hat{I} \cdot [\cos(\omega t) - e^{-\frac{t}{2T}} \cdot \cos(vt)] \quad (5.14)$$

5.2.1.3 Stromüberschwingungen

Die Berechnungen der harmonischen Verzerrung THD und des Klirrfaktors k werden nach definiertem Verfahren laut IEEE Std 1459TM-2010 durchgeführt und wurden bereits in Kapitel 5.1.1 dargelegt.

Normative Grundlagen: Betrachtet man die Verzerrung des Stromes, liefert die Europannorm EN 61000-3-2 Grenzwerte für die Stromüberschwingungen, damit entsprechend den technischen Anschlussbedingungen keine störenden Einflüsse auf andere Kundenanlagen sowie auf das Verteilnetz ausgeübt werden können. In dieser Norm werden die Grenzwerte abhängig von der Geräteklasse definiert, so kann durch Messung der Verbraucher die Einhaltung dieser Norm überprüft werden.

Die Messungen zeigten, dass bei leistungsgesteuerten Lasten die Werte für Verzerrung und Klirrfaktor mit steigender Leistungsstufe abnehmen. Grund dafür ist Leistungssteuerung z.B. durch Phasenanschnittsteuerung und damit sich vergrößernder Fläche unterhalb der Stromhalbwellen bei steigender Leistung.

Für veränderte Versorgungsspannung ist die Änderung der Werte gerätespezifisch und abhängig von den Änderungen der Stromform. Für die meisten Geräte ist bei steigender Spannung eine zunehmende Verzerrung des Stromes erkennbar.

5.2.1.4 Leistungsfaktor λ und $\cos \varphi_1$

Wie im vorigen Kapitel ersichtlich, können sich mit der Versorgungsspannung sowohl die Stromwerte für die Grundschwingung als auch jene für die Oberschwingungen ändern. Da bei dem Großteil der untersuchten Geräte für veränderte Versorgungsspannungen sich auch die Leistungswerte ändern und somit das Verhältnis zwischen Wirk- und Scheinleistung, wird auch der Leistungsfaktor zu einem spannungsabhängigen Wert.

5.2.1.5 Auswirkungen auf den Kurzschluss- und Erdschlussstrom

Die Höhe des Fehlerstromes ist abhängig von der Art des aufgetretenen Fehlers. betrachtet man die Berechnungen der einzelnen Fehlerströme nach der „Impedanzen“-Methode, so sieht man, dass die Versorgungsspannung sowie die vorhandenen Impedanzen die Höhe des Fehlerstromes bestimmen. Betrachtet man immer das gleiche Netz, so verändert sich der Schleifenwiderstand nicht. Verändert man die Spannung, wie es in dieser Arbeit gemacht wurde, so verändert sich der Fehlerstrom wesentlich. In diesem speziellen Beispiel werden die verkettete Spannung mit U und die Strangspannung mit V bezeichnet.

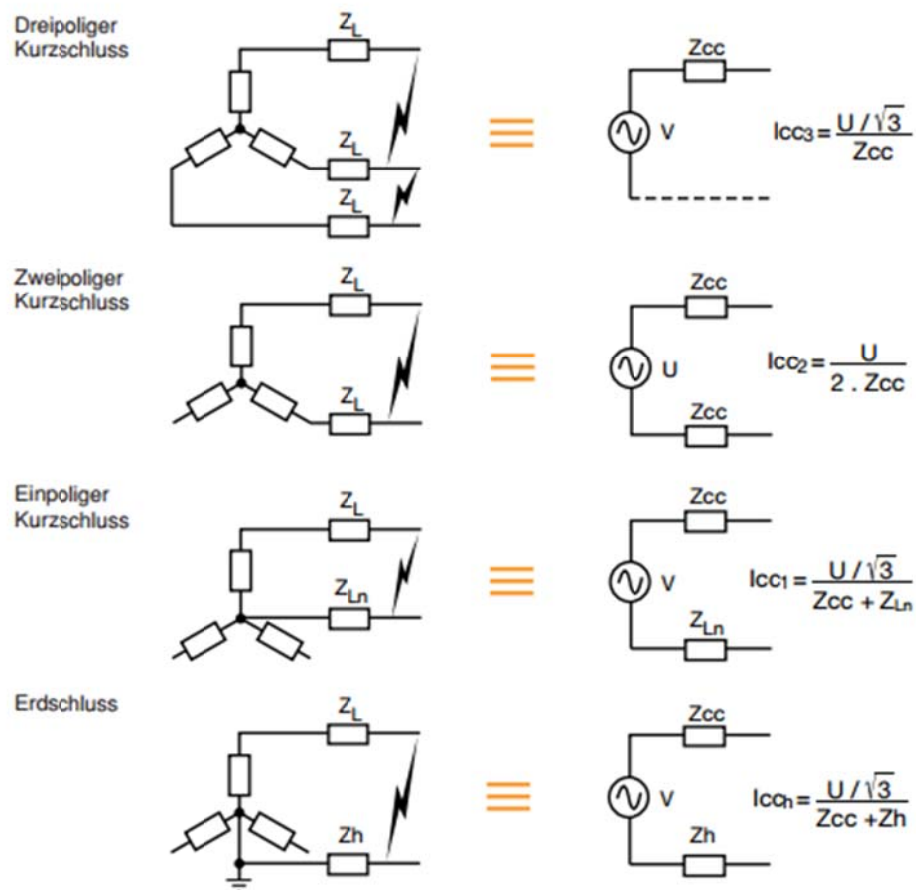


Abbildung 5.2: Fehlerarten im elektrischen Netz und Berechnung des dazugehörigen Fehlerstromes mit „Impedanzen“-Methode [36]

Der Kurzschlussstrom für den dreipoligen Kurzschluss dient zur Auswahl bzw. Einstellung der geeigneten Schutzgeräte, um Betriebsmittel vor den auszuhaltenden Stromstärken und elektrodynamischen Beanspruchungen zu schützen. Da dieser ermittelte Wert bei geringerer

Versorgungsspannung nicht erreicht wird, stellt sich die Frage, ob die Schutzgeräte in der Lage sind, den Fehlerstrom abzuschalten oder ob der Schutz spät oder gar nicht auslöst. Die Betrachtung des Fehlerstroms ist ein wichtiger Bestandteil für die Realisierbarkeit eines Netzes mit Unterspannungsversorgung. Die Thematik soll deshalb hier erwähnt werden, es wird darauf in der Arbeit aber nicht weiter eingegangen.

5.2.2 Spannungsabfall, Spannungseinbruch, Oberwellen

Wie oben gesehen, führt eine Veränderung der Versorgungsspannung zu einer Veränderung des aus dem Netz aufgenommenen Stroms. Dieser wiederum kann die Versorgungsspannung weiter verändern. Bei Geräten ohne Leistungskonstanz kommt es bei geringerer Versorgungsspannung zu geringeren Strömen und damit auch zu einem geringeren Spannungseinbruch auf Grund der Belastung. Prozentuell gesehen bewegen sich die Werte für den Spannungseinbruch in einem ähnlichen Bereich. Die Tendenz, dass eine größere Belastung einen größeren Spannungseinbruch verursacht, kann aber erkannt werden.

Der veränderte Strom führt zu einem Spannungsabfall auf der Leitung, der sich vom normal auftretenden unterscheiden kann. Es gilt der einfache Zusammenhang

$$\Delta U = R_L \cdot I \quad (5.15)$$

oder der Zusammenhang nach last- und erzeugungsabhängiger Spannungsabfall, bei dem Widerstand und Reaktanz gleich bleiben, während Wirkleistung und Blindleistung bei sich ändernder Versorgungsspannung ebenfalls verändern können.

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U^2} \quad (5.16)$$

Betrachtet man die Verzerrung der Spannung, so kann ein ähnlicher Zusammenhang wie für den Strom gefunden werden:

$$THD_U = \sqrt{\left(\frac{U}{U_1}\right)^2 - 1} \quad (5.17)$$

Normative Grundlagen: Die Europanorm EN 50160 [1] gibt die Grenzwerte der einzelnen Oberschwingungsspannungen an der Übergabestelle, bezogen auf die vereinbarte Versorgungsspannung U_c an und schreibt vor, dass THD_U aller Oberschwingungen bis zur Ordnungszahl 40 einen Wert von 8% nicht überschreiten darf. Die Einhaltung dieses Wertes wurde während der Messungen nie gefährdet.

5.2.3 Theoretische Betrachtung zur Veränderung der Leistungen

Die Veränderung der elektrischen Leistung ist vor allem von der betrachteten Geräteklasse und ebenso von dem vom Hersteller erlaubten Spannungsband abhängig. Als Erstes sei der aufgenommene Strom zu beachten, dessen Amplitude und Form Auswirkungen auf den Betrag und damit das Verhältnis zwischen Wirk- und Blindleistung haben.

Für den idealen ohmschen bzw. thermischen Verbraucher wird ein sinusförmiger Strom bezogen und es gelten die mathematischen Zusammenhänge:

$$U \sim I \quad (5.18)$$

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \quad (5.19)$$

Dies bedeutet für zunehmende Spannung einen proportional zunehmenden Strom und eine quadratisch zunehmende Leistungsaufnahme. Es wird keine Blindleistung aufgenommen und der Leistungsfaktor λ bleibt eins. Da keine Oberwellen vorhanden sind, gibt es auch keine harmonische Verzerrung oder Klirrfaktor. Bei realen Verbrauchern tritt ein ähnliches Verhalten auf. Der Verbraucher bezieht jetzt aber eine geringe Blindleistung da im Verbraucher auch nicht thermische Bestandteile verbaut sein können, der Leistungsfaktor ist kleiner eins.

Bei Verbrauchern, deren Hauptbauteil ein elektrischer Antrieb ist, gibt es bei sinkender Versorgungsspannung ebenso einen sinkenden Strom, was sich direkt auf Drehmoment und Drehzahl auswirkt. Beim Reihenschluss-Motor (für Haushaltsgeräte sehr oft verwendet) ist das (innere) Drehmoment M_i abhängig vom Effektivwert des Ankerstromes I_A , der Erregerfeldstärke Φ sowie der Anker-Motorkonstante k_1 bzw. k_2

$$\begin{aligned} M_i &= \frac{P_{mech}}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{U_q \cdot I_A}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{k_1 \cdot \Phi \cdot n \cdot I_A}{2 \cdot \pi \cdot n} = \\ &= \frac{k_1}{2 \cdot \pi} \cdot \Phi \cdot I_A = k_2 \cdot \Phi \cdot I_A \end{aligned} \quad (5.20)$$

und ist somit gleich jenem der Gleichstrommaschine. Der zur Erzeugung des Erregerfeldes notwendige Strom, der durch die Erregerwicklung fließt, ist der gleiche, der auch durch die Ankerwicklung fließt, d.h. der Effektivstrom. Das bedeutet zugleich, dass die Erregerfeldstärke proportional dem Effektivstrom ist, was für das Drehmoment einen quadratischen Zusammenhang bedeutet:

$$I_A \sim \Phi \Rightarrow M \sim I_A^2 \quad (5.21)$$

Je nach maschinenabhängiger Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ergibt sich nun auch die Drehzahl. Die Drehzahl des Motors nimmt bei Belastung stark ab, die mechanische Leistung bleibt aber durch den Verlauf der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie (Abbildung 5.3) konstant. Die elektrische bezogene Leistung ist aus diesem Grund für alle Drehzahlen bei gleich bleibender Versorgungsspannung etwa gleichbleibend.

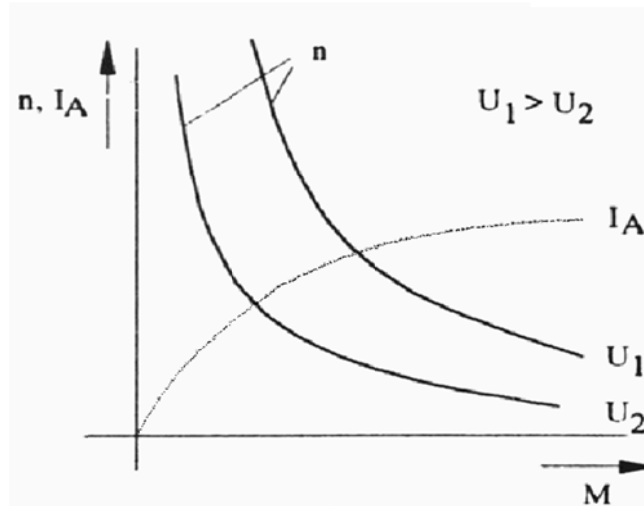


Abbildung 5.3: Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Reihenschlussmotors [34]

Verbraucher, welche netzseitig einen Gleichrichter haben, nehmen im Bereich des erlaubten Spannungsbandes (in vielen Fällen 100-240V-) eine konstante Wirkleistung oder eine geringfügig abnehmende Wirkleistung und eine mit der Spannung zunehmende Blindleistung. Die Wirkleistung bleibt nahezu konstant, da durch interne Steuerung bei sinkender Spannung der Strom ansteigt.

5.2.4 Verhalten der elektrischen Parameter im oberen Spannungsbereich

Durch die Berechnung der Steigung der elektrischen Parameter Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie des aufgenommenen Stroms soll das Verhalten dieser Parameter in verschiedenen Bereichen des oberen Spannungsniveaus (50-105%) bestimmt werden. Die Berechnung dient als zusätzliche Quelle zu den angefertigten spannungsabhängigen Kennlinien. So wurden die Daten der Kennlinien aus EXCEL in MATLAB eingelesen, eine normierte Kurve berechnet und daraus die gesuchten Eckpunkte für die durchzuführenden Berechnungen herausgelesen. Dabei wurden die Berechnungen für Spannungswerte von 50% der Nennspannung in 5%-Schritten aufwärts bis zum maximal vorhandenen Messwert durchgeführt. Damit für Verbraucher verschiedener Leistungsaufnahmen eine einheitlich Steigung berechnet werden konnte, wurde eine Normierung auf den Wert der Netzspannung von $U=230V$ gemacht. War nur ein geringerer Wert vorhanden, wurde ein Fortsetzen der Trendlinie bis $U=230V$ versucht. Das Ergebnis sind einzelne Steigungen in den

Spannungsbereichen, wodurch eine aussagekräftige Berechnungstabelle erstellt werden kann.

Die Berechnungen für die einzelnen Steigungswerte werden an Hand der Wirkleistung erklärt und wie folgt durchgeführt:

$$\alpha_P = \frac{P(U_2) - P(U_1)}{U_2 - U_1} \cdot \frac{U_{230V}}{P_{230V}} \quad (5.22)$$

Dabei wird der ermittelte Wert des elektrischen Parameters mit kleinerer Spannung von jenem mit größerer Spannung abgezogen und durch die Spannungsdifferenz dividiert. Die daraus resultierende Einheit wäre Watt/Volt. Um normierte Werte zu erhalten, wird dieser Wert mit dem Verhältnis aus Netzspannung und dem Effektivwert des Parameters bei Netzspannung multipliziert.

Wurden alle Einzelsteigungen berechnet, kann man daraus auch die Steigungen in verschiedenen größeren Spannungsabschnitten berechnen. Ein Vergleich von Einzelgeräten und Geräteklassen wird dadurch maßgeblich vereinfacht.

6 Geräte an Unterspannung

In diesem Kapitel der Arbeit werden verschiedene Geräteklassen und deren zugeordnete Einzelgeräte auf das jeweilige Verhalten untersucht. Dabei werden vor allem drei Verhaltensmuster genauer unter die Lupe genommen:

- Verhalten im stationären Zustand unter Normalbedingungen
- Verhalten bei reduzierter Versorgungsspannung bei unterschiedlichen Spannungsstufen
- Verhalten bei Netzwiederkehr

Das Hauptaugenmerk liegt auf dem zweiten Punkt, wobei bei reduzierter Versorgungsspannung die Funktion einzelner Geräte untersucht und bewertet werden soll. Das Verhalten bei dem jeweiligen Spannungsniveau wird durch die gemessenen Parameter bzw. durch die Bewertung des Benutzers beschrieben.

6.1 Verhalten einzelner Geräteklassen bei Spannungswiederkehr

Nach einer Spannungsunterbrechung und Spannungswiederkehr gibt es unterschiedliche Verhaltensmuster der untersuchten Geräte, welche für die Arbeit eine große Bedeutung haben. Es geht dabei darum, herauszufinden, was in den ersten Momenten in diesem Fall passiert, um die anfallende Gesamtlast beim Wiedereinschalten abschätzen zu können. Das Verhalten der einzelnen Geräteklassen wird in Tabelle 6.1 beschrieben. Alle Angaben gelten für den Fall, dass sich das betrachtete Gerät vor der Versorgungsunterbrechung in einem definierten, eingeschalteten Zustand befand und während der Versorgungsunterbrechung keine Schalthandlungen am Gerät vorgenommen wurden. Nach Spannungswiederkehr kann der Verbraucher in folgende Betriebszustände schalten, welche in der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 definiert werden [21]:

- **Aus-Zustand:** Zustand, in dem das Gerät mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden ist, aber keine Funktion bereitstellt oder lediglich den Aus-Zustand anzeigt.
- **Bereitschaftszustand (Stand-By):** Zustand, in dem das Gerät mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden und auf dessen Energiezufuhr angewiesen ist, um bestimmungsmäßig zu funktionieren und eine Reaktivierungsfunktion und/oder Informationen oder Statusanzeigen darzustellen. Das Gerät kann jederzeit und ohne Vorbereitung oder Wartezeit aktiviert werden.
- **Aktiv Betrieb:** Zustand, in dem das Gerät mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden ist und mindestens eine der Hauptfunktionen zum bestimmungsgemäßen Betrieb des Geräts aktiviert ist.

Es fällt auf, dass elektronisch gesteuerte Geräte sensibel auf eine Spannungswiederkehr reagieren und der Verbraucher nicht automatisch wieder unter Vollast an das Netz geschaltet wird. Mit der heutigen Tendenz zu elektronisch gesteuerten Verbrauchern könnte somit in Zukunft der Einschaltstoßstrom nach einer Versorgungsspannung reduziert werden.

Tabelle 6.1: Verhalten einzelner Geräteklassen bei Spannungswiederkehr

Gerätekategorie	Verhalten bei Spannungswiederkehr
Haushalts- großgeräte (z. B. Waschmaschine, Wäschetrockner)	Ältere Geräte schalten sich automatisch zu, fangen die ausgewählten Programme von Neuem an oder führen die selben fort. Moderne Geräte schalten in einen Stand-by Modus und nach manuellem Drücken der Start-Taste wird das Programm fortgesetzt. Vorteil dieser Technologie ist, dass die gesamte Last nach Spannungswiederkehr nicht gleich am Netz ist. So wird wegen großer Leistungsaufnahme dieser Verbraucher ein hoher Anfangsstoßstrom vermieden.
Haushalts- kleingeräte (z.B. Staubsauger, Kaffeemaschine)	Die Geräte schalten sich auf der, vor der Spannungsunterbrechung eingestellten Stufe automatisch wieder ein und führen ihren Aktiv-Betrieb fort, wenn fixe Schalterstellungen vorhanden sind. Geräte mit Temperatursenor oder Zeituhr führen ihren Aktiv-Betrieb fort, bis die eingestellte Temperatur erreicht bzw. die noch übrige Zeit verstrichen ist. Elektronisch gesteuerte Geräte verweilen im Aus-Zustand, bis sie manuell wieder eingeschaltet werden.
IKT (z.B. Schaltnetzteile, Ladegeräte, USV, Bildschirme)	USV-Anlagen arbeiten während der Spannungsunterbrechung. Bei Spannungswiederkehr wird Strom aus dem Netz bezogen, um die Akkus wieder aufzuladen. Ladegeräte und Schaltnetzteile führen ihren Betrieb weiter fort. PC's bleiben bei Netzwiederkehr ausgeschaltet und müssen manuell wieder eingeschaltet werden. Bildschirme schalten automatisch wieder ein. Da es aber meist wegen des ausgeschalteten PC's kein Signal gibt, verweilt der Bildschirm im Stand-by bis der PC eingeschaltet wird.
Unterhaltungs- elektronik (z.B. Fernseher)	Die Geräte der Unterhaltungselektronik schalten in einen aktiven Stand-by Zustand und können jederzeit in einen anderen Betriebsmodus geschaltet werden.
Kühl-und Gefriergeräte	Diese Geräte schalten sich automatisch wieder ein. Abhängig von der Zeit der Spannungsunterbrechung und der aktuellen Temperatur im Inneren des Geräts, kann die Einschaltdauer bei Spannungswiederkehr ein Vielfaches der normalen Einschaltzeit betragen, bis der eingestellte Temperaturwert erreicht wird.
Geräte für Kochzwecke	Geräte mit integrierter Elektronik schalten nach Spannungswiederkehr das vorher eingestellte Programm nicht wieder ein, sie verbleiben in einem Aus- bzw. Stand-by Zustand und müssen manuell wieder eingeschaltet werden. Geräte ohne Steuerelektronik zur Wahl des gewünschten Programms bzw. der gewünschte Hitzestufe verbleiben auf dieser Schalterstellung und führen nach Spannungswiederkehr das eingestellte Programm fort.
Beleuchtung	Auch bei der Beleuchtung ist die Schalterstellung ausschlaggebend für eine Funktion nach Spannungswiederkehr. Vorher eingeschaltete Beleuchtung schaltet automatisch wieder zu. Anzumerken ist hier, dass bei kalten Entladungslampen eine Einbrenndauer von bis zu 10 Minuten bedacht werden muss, bis die volle Wirkleistung bezogen und die volle Leuchtkraft zurückgekehrt ist.
Smart Meter	Smart Meter schalten automatisch ein und führen ihre Mess- bzw. Schaltfunktion normal weiter.
Kühl-und Klimageräte, Zusatzheizung	Diese Geräte schalten bei der letzten manuell eingeschalteten Leistungsstufe wieder automatisch zu bzw. versuchen die eingestellte Temperatur zu erreichen. Elektronisch gesteuerte Geräte schalten in einen Aus- oder Stand-by Zustand und müssen manuell neu gestartet werden.

6.2 Verhalten der Geräteklassen bei Unterspannung

In diesem Kapitel wird das Verhalten verschiedener Einzelverbraucher aus den definierten Geräteklassen aufgezeigt und beschrieben, sowie für die Geräteklasse zusammengefasst.

6.2.1 Haushaltsgroßgeräte

Für die Untersuchung des Verhaltens von Haushaltsgroßgeräten bei verminderter Versorgungsspannung wurden die Geräte aus Tabelle 6.2 untersucht. Bei den Messungen der Haushaltsgroßgeräte wurde zu Beginn versucht, ein Standardlastprofil für die einzelnen Geräte bei definiertem Standardprogramm zu messen. Die resultierenden Lastprofile sind in Kapitel 4.2.1 bei den einzelnen Großgeräten abgebildet.

Danach erfolgte die Reduktion der Spannung, um die Grenzen des möglichen Spannungsbandes für die Einzelgeräte sowie die Geräteklasse feststellen zu können. Die Geräte wurden dabei im belasteten Zustand gemessen. Die Definition über das Verhalten der elektrischen Parameter gestaltete sich für die Haushaltsgroßgeräte schwierig, da es während der Verwendungs-/Betriebszeit zum Durchlaufen verschiedener Programmzyklen (Einlassen/ Aufheizen/ Drehbewegung/ Abpumpen/ Schleudern,...) mit unterschiedlichen Leistungsaufnahmen und Betriebszeiten kommt. Hinzu kommt eine große Auswahl an verschiedenen Waschprogrammen, welche sich voneinander vor allem durch die verwendete Temperatur, Laufzeit und Umdrehungszahl unterscheiden. Für die Arbeit wurden folgende Haushaltsgroßgeräte untersucht:

Tabelle 6.2: Untersuchte Verbraucher der Geräteklasse „Haushaltsgroßgeräte“

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Anschlussleistung
Waschmaschine	Electrolux	WE-50	k.A.	k.A
Wäschetrockner	Wirlpool	AZB 6070	230V~	2700W
Waschmaschine	Bauknecht	WAP 6460-1	230V~	2300W
Spülmaschine	Bauknecht	GSFS 5321	220V~	2200W
Wäschetrockner	Bauknecht	TK Pure XI 78 di	230V~	2900W

Aus den oben genannten Gründen der Schwierigkeit der Bewertungskriterien für das gesamte Gerät wird es als besser erachtet, die Klassifizierung der Haushaltsgroßgeräte bei einem Betrieb mit Unterspannung nicht allgemein durchzuführen, sondern die einzelnen, in den Geräten verbauten wichtigen Bestandteile zu betrachten, deren Funktion den verschiedenen Zyklen zuzuordnen und danach das Gerät wieder als Ganzes zusammenzufügen. Folgende Bauteile der Haushaltsgroßgeräte wurden daraufhin auf ihre Funktion bei verminderter Versorgungsspannung analysiert:

- **Elektronik für die Anzeige und Steuerung des Gerätes:**
Ab einer Spannung von durchschnittlich $U=100V$ funktioniert die Anzeige der untersuchten Geräte. Eine Auswahl der Programme ist nur bei Geräten mit Drehknopf möglich, wobei ein Start des gewünschten Programmes wegen Fehlermeldung bzw. Unterspannungswarnung nicht möglich ist. Werden die Meldungen der eingebauten Sensoren auf dem Display ausgegeben und ist dies auch bei einem Betrieb mit reduzierter Versorgungsspannung der Fall, ist deren Funktion im Unterspannungsbetrieb gegeben.
- **Pumpe für das Einlassen bzw. Abpumpen des Wassers:**
Abhängig von der Belastung der Pumpe kann eine ausreichende Funktion erreicht werden. Dabei funktionieren die untersuchten Pumpen der Waschmaschinen auch bei niedrigeren Spannungen als bei der untersuchten Spülmaschine.
- **Thermisches Element zur Warmwasseraufbereitung:**
Thermische Elemente zur Warmwasseraufbereitung funktionieren in einem weiten Spannungsbereich. Die Betriebszeit steigt bei gleichbleibendem Energieverbrauch mit sinkender Spannung. Die aufgenommene Leistung ist bei rein ohmschen/thermischen Verbraucher quadratisch von der Spannung abhängig. Der genaue mathematische Zusammenhang wird in Kapitel 5.2.3 gezeigt. Bei den untersuchten Haushaltsgroßgeräten war das thermische Element jeweils jenes mit der größten installierten Leistung, was bei der Betrachtung typische Lastprofile für Haushaltsgroßgeräte klar erkennbar ist.
- **Elektromotoren für die Drehbewegung der Trommel:**
Nach dem Füllen der Trommel mit Wasser saugt sich die Kleidung voll und wird im Vergleich zu ihrem Trockengewicht schwerer, somit steigt die Belastung des Antriebsmotors. Diverse Waschprogramme sind für eine begrenzte Menge an Schmutzwäsche ausgelegt. Der Aufbau des Startdrehmoments kann nur mit Spannungen nahe am Toleranzband erreicht werden. Da Waschmaschinen ihre Drehrichtung ständig ändern, muss dieses Startdrehmoment immer wieder aufgebaut werden. Bei Waschmaschinen werden Einphasen-Reihenschlussmotoren mit Leistungen zwischen 300-600W verwendet, Spülmaschinen werden mit demselben Antrieb versehen, die Leistung ist jedoch geringer. Außerdem ist zu erwähnen, dass die eingebauten Motoren sowohl für den Wasch- als auch den Schleudergang ausgelegt sind.

Einzelne Teilfunktionsbereiche konnten bei der Veränderung der Versorgungsspannung sehr gut erkannt werden. So zeigt Abbildung 6.1 diese Bereiche für die beiden Waschmaschinen (WM), die beiden Wäschetrockner (WT), sowie die Spülmaschine (SM). Eine Erfüllung der gesamten Funktionen zur Bewältigung eines Wasch-, Trocken- oder Spülprogramms ist erst bei ausreichender Spannung gegeben, wenn der elektrische Antrieb einwandfrei funktionieren kann bzw. in der Lage ist, ein ausreichend großes Drehmoment aufzubauen. Liegt die Spannung darunter, kann das Gerät gefüllt und/oder aufgeheizt werden. Wegen des zu geringen Drehmoments versucht der elektrische Antrieb zwar seine Funktion zu

erfüllen, aber scheitert, da das Lastmoment größer ist, als jenes Moment, das der elektrische Antrieb an der Welle zur Verfügung stellen kann. Die Versuche, das Anfangsdrehmoment aufzubauen, können für das Gerät kritisch werden, da zusätzliche Belastungen zu erwarten sein können.

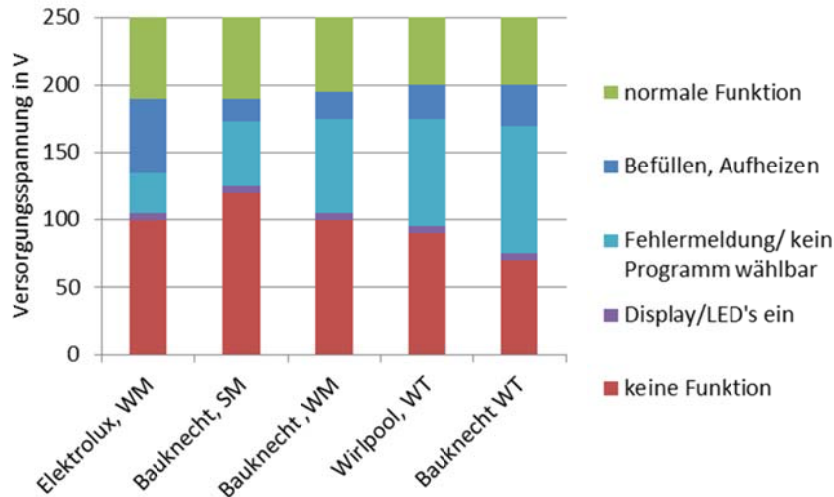


Abbildung 6.1: Einzelne Teilfunktionen der Haushaltsgroßgeräte

6.2.2 Haushaltskleingeräte

Grundsätzlich kann zwischen Haushaltskleingeräten mit und ohne rotierenden Bauteil unterschieden werden. Im Labor wurden folgende Verbraucher auf ihr Verhalten untersucht, wobei jene Haushaltskleingeräte mit rotierendem Bauteil unbelastet gemessen wurden:

Tabelle 6.3: Im Labor gemessene Haushaltskleingeräte

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Anschlussleistung
Haushalts-Kleingeräte mit rotierendem Bauteil				
Staubsauger-Anlage	Smart VC	PU600+A	230V~	1500W
Staubsauger	Nilfisk	Coupé Neo	220-240V~	2000W
Haartrockner	Philips	Voyager Twist	120-230V~	1400W
Bohrmaschine	AEG	BSM 550E	230V~	550W
Handmixer	Philips	Axedi AB	230V~	220W
Dunstabzugshaube	Neff	D-AYY1	220-240V~	90+40W
Haushalts-Kleingeräte ohne rotierendem Bauteil				
Wasserkocher	Siemens	TW 60103	220-240V~	2000-2400W
Wasserkocher	Swan	Elegance	220-240V~	1850-2200W
Heiss-Klebepestole	-	G250K	220-240V~	55W
Filter-Kaffemaschine	Braun	3083/ KF22	220-240V~	830-980W
Kaffeautomat	Nespresso	DeLonghi Essenza	220-240V~	1260W
Vollkaffeeautomat	Philips	Saeco Syntia	230V~	1400W
MiKrowelle	LG	Intellowave	230V~	1200W

6.2.2.1 Haushaltskleingeräte mit rotierender Komponente

Bei diesen Haushaltsgeräten handelt es sich um elektrische Kleinantriebe, unter Umständen in Kombination mit Heizelementen, mit einer Leistungsaufnahme von einigen wenigen Watt bis zu 2000W. Die Anforderungen an die verwendeten Antriebe werden von den Betriebsbedingungen der angetriebenen Arbeitsmaschinen vorgegeben. Eine Unterteilung der Arbeitsmaschinen nach ihrem Zweck ergibt die beiden Kategorien:

- Elektrowerkzeuge
- Haushaltsgeräte

Der auf diesem Gebiet am meisten verwendete Antrieb ist der Einphasen-Reihenschlussmotor (umgangssprachlich auch Universalmotor genannt), welcher hohe Drehmomente und variable Drehzahl zur Verfügung stellen kann. Ein stromrichtungsunabhängiges Drehmoment ermöglicht einen Betrieb mit Wechsel- und Gleichstrom. Zwei weitere Möglichkeiten bieten Induktionsmotoren und Asynchronmaschinen, welche direkt am Wechselstromnetz betrieben werden können. [37] Die Leistungsregelung erfolgt mit definierten Stufen (durch fixe Schalterstellung) bzw. stufenlos (z.B. Drehknopf). Die am häufigsten verwendete Leistungsregelung wird mit einer Phasenanschnitts- bzw. Phasenabschnittssteuerung, d.h. mit schaltenden Bauteilen, umgesetzt. Leistungsregelung ohne schaltende Bauelemente durch Amplitudenregelung (z.B. mittels Vorwiderstand) kann als weitere Möglichkeit der Leistungssteuerung verwendet werden. Betrachtet man die Form des aufgenommenen Stromes des Verbrauchers, kann im Normalfall die Art der Leistungssteuerung (Stromrichterschaltung) festgestellt werden.

Das vom Hersteller vorgegebene Spannungsband liegt bei den meisten Geräten bei $U=220\text{-}240\text{V}\sim$, kann im Ausnahmefall aber auch niedrigere Werte annehmen. Aus den Messungen resultiert, dass eine ordnungsgemäße Funktion laut Benutzer aller Geräte auch außerhalb des vorgegebenen Spannungsbandes möglich ist. Bereits bei geringen Spannungen kommt es zu einer Drehbewegung des Rotors. Steigert man die Belastung, so ist eine höhere Spannung notwendig, um eine Rotation des Gerätes zu erreichen. Betrachtet man verschiedene Leistungsstufen, so wird je nach elektronischer Umsetzung (mit Widerstand und/oder Diode) ein betrag- und möglicherweise auch formveränderter Strom bezogen. Abhängig von der Größe der elektrischen Bauteile ändert sich die Spannung, die zum Erreichen einer definierten Drehzahl notwendig ist. Betrachtet man die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie aus Abbildung 5.3 so ist ersichtlich, dass es für gleich bleibende Drehzahl bei einer Verringerung der Versorgungsspannung zu einer Reduktion des Drehmoments des elektrischen Antriebs kommt.

Die Drehbewegung allein reicht aber noch nicht aus, um die Funktion eines Gerätes zu bewerten. Es muss auch sichergestellt werden, dass die Rotation stark bzw. schnell genug ist, um die gewünschte Funktion zu erfüllen. So zeigt Abbildung 6.2 jene Spannungsbereiche auf, in welchen bezogen auf die Drehbewegung eine definierte und laut Benutzer ausreichende Funktion erreicht wird. So gibt es im Bereich „keine Funktion“ keine Drehbewegung des Rotors, im blauen Bereich zwar eine Drehbewegung, diese reicht aber

nicht aus, um die ordnungsgemäße Funktion zu erfüllen. Erst im Bereich mit „ausreichender Drehbewegung“ wird die gewünschte Funktion der angeführten Haushalts-Kleingeräte ausreichend erfüllt. Anzumerken sei an dieser Stelle, dass der Übergang vom blauen in den grünen Bereich nach eigener Einschätzung definiert - und dazu keine Messungen bezüglich Drehmoment und Drehzahl durchgeführt wurden.

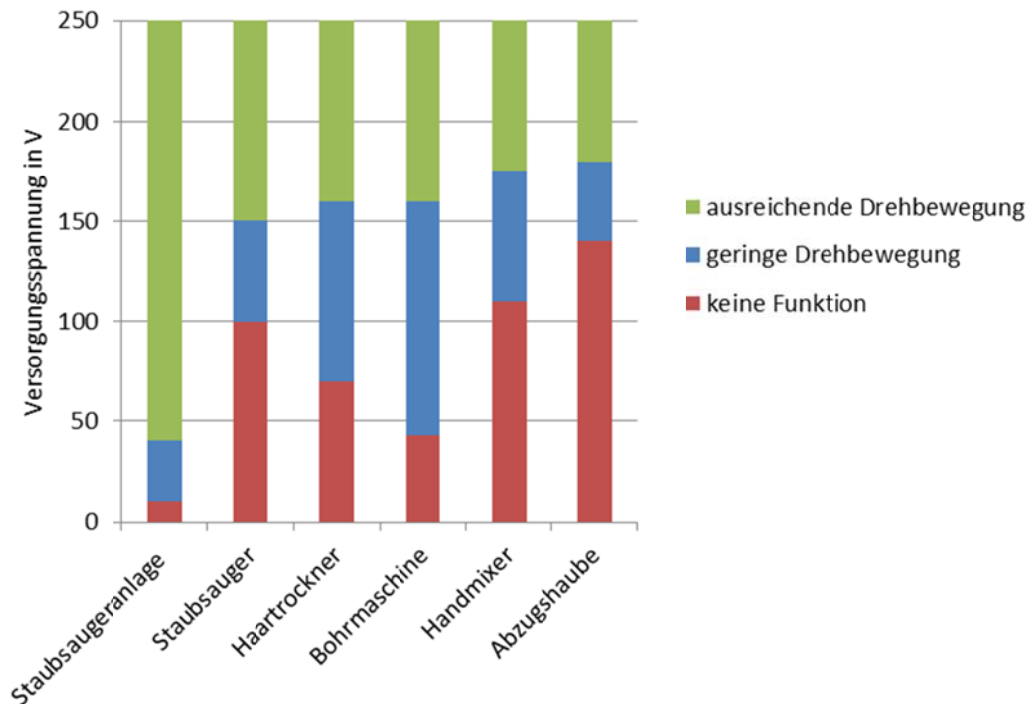


Abbildung 6.2: Einteilung der Spannung in Bereiche in Abhängigkeit der Drehbewegung von Haushalts-Kleingeräten mit rotierendem Bauteil

Für die Stromkennlinie $i(U)$ (Abbildung 6.3) zeigt sich bei elektrischen Kleinantrieben ein proportionaler Zusammenhang, die Steigung der Kennlinie bewegt sich bei den untersuchten Geräten rund um eins. Wird bei hohen Spannungen die Stromspitze abgeschnitten (Sättigung Stromzange), so wird dadurch die Steigung der Stromkennlinie gesenkt. Der proportional zur Spannung ansteigende Strom bedeutet für das Drehmoment einen quadratischen Zusammenhang mit der Spannung.

$$I_A \sim U \quad \text{und} \quad M \sim I_A^2 \Rightarrow M \sim U^2 \quad (6.1)$$

Neben dem Strom kommt es auch zu einer stetigen Zunahme der Leistungen, wobei die Steigung der Kennlinien $p(U)$ und $q(U)$ (Abbildung 6.3) bei größeren Spannungen zunimmt. Betrachtet man die verschiedenen Leistungsstufen, so ist erkennbar, dass bei geringen Leistungsstufen die Verzerrung des Stromes größer ist. Diese Verzerrung wird bei steigender Spannung zusätzlich größer.

Der Haartrockner ist in diesem Abschnitt ein besonderer Verbraucher, da der Ventilator im Gegensatz zu den Heizelementen nur eine kleine Leistung aufweist. Dies soll bei der Betrachtung der Messergebnisse berücksichtigt werden. In Kapitel 6.2.6 wurde für einen Heizlüfter der Lüfter (Ventilator) unabhängig von den Heizelementen gemessen, so kann mit dem Haartrockner ein Zusammenhang hergestellt werden.

In Abbildung 6.3 werden repräsentativ für die Haushaltskleingeräte die verschiedenen Kennlinien der auf Netzspannung normierten elektrischen Parameter abhängig von der Versorgungsspannung für den Staubsauger Nilfisk Coupé Parquet dargestellt.

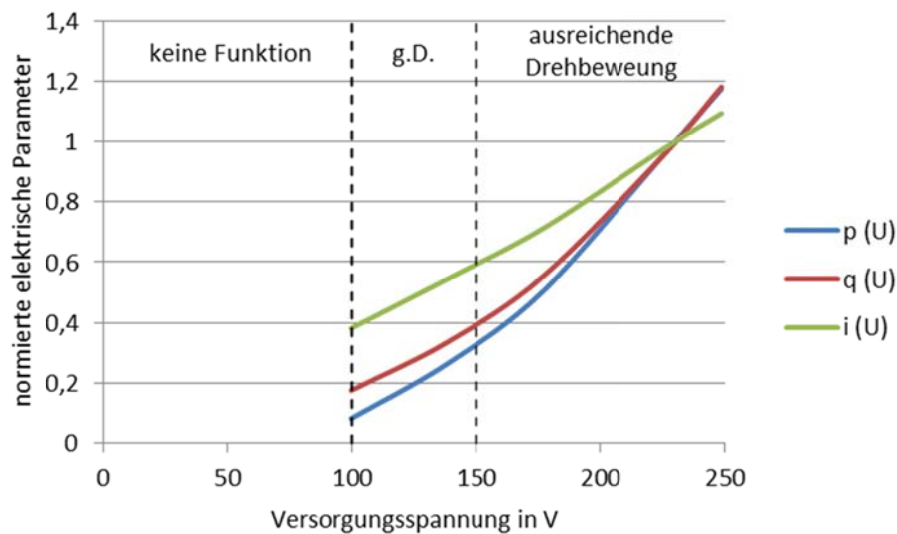


Abbildung 6.3: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Staubsaugers Nilfisk Coupé Parquet (minimale Leistungsstufe), *g.D.= geringe Drehbewegung

6.2.2.2 Haushaltskleingeräte ohne rotierende Komponente

Bei diesen Haushaltsgeräten handelt es sich um Verbraucher, bei denen eine thermische Last das ausschlaggebende Bauteil ist. Abhängig von der Temperaturregelung erfolgt eine Leistungsregelung mit der Dauer der Einschaltzeit. Bei Geräten mit Temperaturregelung wird bei maximaler Leistung der Nennstrom dauerhaft bezogen und bei Reduktion der Leistung erfolgt die Leistungsaufnahme mit einer Schalthysterese. Dazwischen befindet sich das Gerät in einer Art Stand-by Modus. Abhängig vom vorgegebenen Temperaturband ist die Dauer des Strombezugs bzw. des Stand-by Modus (z.B. Mikrowelle). Bei Geräten mit Abschaltung bei definierter Temperatur wird die maximale Leistung dauerhaft bis zum Erreichen dieser Temperatur bezogen (z.B. Wasserkocher). Eine dritte Möglichkeit der Leistungsregelung ist eine Leistungshalbierung durch Einweggleichrichter mit ohmscher Last ohne Glättungskondensator.

Bei einer Veränderung der Spannung kommt es zu einer linearen Änderung des Stromes. Bei steigender Spannung bleibt die Steigung im normalen Funktionsbereich konstant. Bei

jenen Geräten mit großen Stromaufnahmen wurden bei den Messungen die Stromspitzen abgeschnitten, was auf das Erreichen des Sättigungsbereichs der Stromzange zurückgeführt werden kann. Der Betrag des Stroms führt zu einer Änderung der Verwendungsdauer, um die eingestellte Temperatur zu erreichen. Eine Verringerung der Spannung führt zu einer Verlängerung der Verwendungsdauer und einer Erhöhung des Energieaufwands, da Energie auf Grund von Wärmeübertragung und -strahlung verloren geht.

Abbildung 6.4 zeigt unterschiedliche Lastgänge des Wasserkochers Swan Elegance bei unterschiedlichen Versorgungsspannungen. Es ist ersichtlich, dass sich mit sinkender Versorgungsspannung und damit verbundener geringerer Strom- und Leistungsaufnahme die Einschaltdauer des Geräts verlängert. Hätte das Gerät ideale Eigenschaften mit einem Leistungsfaktor $\lambda=1$ würden es einen quadratischen Zusammenhang zwischen Spannung und Wirkleistung geben, der hier nur annähernd erreicht wird.

Um das Wasser von der Anfangstemperatur T_1 auf die Endtemperatur T_2 zu bringen, ist ein Wärmebedarf E_W notwendig, der von der Menge des Wasser, der Wärmekapazität c_p und dem Temperaturunterschied ΔT abhängt:

$$E_W = m_{Wasser} \cdot c_{p,Wasser} \cdot (T_2 - T_1) \quad \left[J = kg \frac{J}{kg \cdot K} K \right] \quad (6.2)$$

$$1kWh = 3600kJ \quad (6.3)$$

Ein kleiner Teil der Energie geht an das Umfeld verloren, welcher abhängig von der Zeit t des Erwärmungsvorgangs ist:

$$E_{ges} = E_W + E_V(t) \quad (6.4)$$

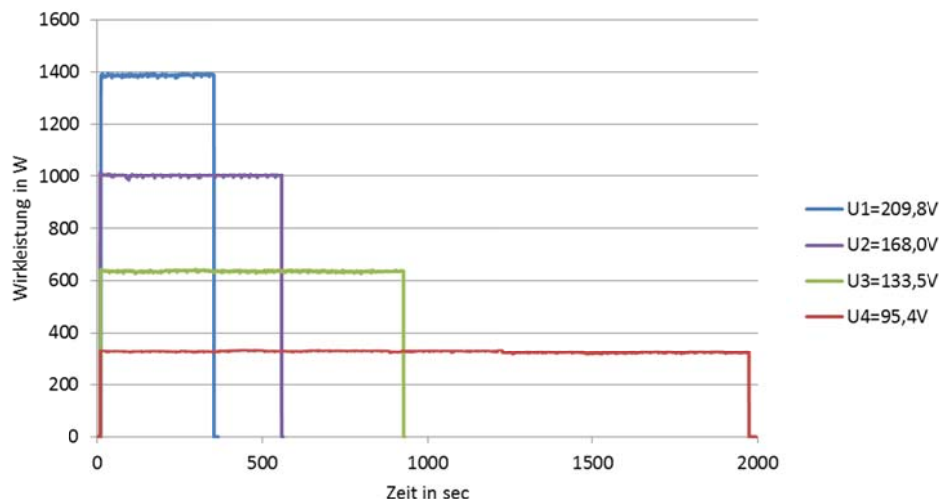


Abbildung 6.4: Leistungskennlinien bei unterschiedlichen Versorgungsspannungen beim Wasserkocher Swan-Elegance

Für die Erwärmung des Wassers ist bei unterschiedlichen Spannungen die gleiche Menge Energie notwendig. Die Differenz, die sich jedoch im Energieverbrauch widerspiegelt, ist die Verlustwärme E_V , welche größer wird, je länger die Erwärmung des Wassers dauert.

6.2.3 Schaltnetzteile und Gleichrichter

In diesem Kapitel werden die Untersuchungen der verschiedenen Verbraucher, welche über eine Gleichrichterschaltung gespeist werden, analysiert und bewertet. Wie genau die einzelnen Messungen durchgeführt wurden wird in den verschiedenen Unterklassen erklärt. Am Anfang soll einleitend die Veränderung der Funktion für ein Universalnetzgerät beschrieben werden.

6.2.3.1 Unterspannungsverhalten am Beispiel des Netzgerätes Trust 16426-03

Ein Netzgerät verfügt über einen Weitbereichseingang der Spannung (100-240V~) und eine definierte oder im Spezialfall über verschiedene Einstellmöglichkeiten variablen Ausgangsspannung. Damit können, je nach benötigter Ausgangsspannung Geräte mit der Leistung des Netzgerätes betrieben werden. Ab einer definierten Eingangsspannung (im Normalfall zwischen 40-60V) stellt das Netzgerät den vorher eingestellten Sollwert der Ausgangsspannung am Ausgang zur Verfügung. Das Einschalten des Netzgeräts wird von einer Einschaltstromspitze begleitet Diese Ausgangsspannung bleibt für den untersuchten Bereich bis 250V konstant, während sich der Strom und Wirkleistung verändern. Typischerweise steigen Strom und Wirkleistung bis zu einer Spannung rund um 100V an, der Strom erreicht sein Maximum und die Wirkleistung annähernd die Nennleistung ($P_{100V} \approx 80\% P_{230V}$). Je nach Konstruktion des Netzteils kann aber das Strommaximum schon beim Einschalten bei geringeren Spannungen vorkommen. Bei steigender Versorgungsspannung und gleich bleibender Wirkleistung kommt es zu einem Abfall des aufgenommenen Laststromes. Bei Reduktion der Spannung kommt es wieder zu einem Ansteigen des Laststromes. Der hier auftretende Maximalwert des Stromes ist auf Grund kleinerer Spannung größer als beim Hinaufregeln. Dieses und ähnliches Verhalten ist bei den Geräten, welche durch ein Schaltnetzteil versorgt werden, zu beobachten (z.B. Bildschirme).

6.2.3.2 Ladegeräte

Folgende Ladegeräte wurden im Labor zur Bestimmung des Verhaltens bei Unterspannung vermessen. Die Verbrauchsdaten der in der Geräteklasse „Schaltnetzteile und Gleichrichter“ werden von den Herstellern nicht bzw. selten als Wirkleistungen, sondern mit dem aufgenommenen Strom angegeben:

Tabelle 6.4: Daten der im Labor untersuchten Ladegeräte

Verbraucher	Marke	Modell	Spannweite	Input
Universalnetzgerät	Trust	16426-03	100-240V~	1,6A/90W
Zahnbürste	Oral-B	Type 3757 mini	220-240V~	1,3W
Haartrimmer	Babaliss	E702YTE	100-240V~	0,2A
AC-Adapter	anonym	ADP-0932	100-240V~	1,5A/65W
Mobiltelefon	Nokia	AC-3E	100-240V~	1,75VA

Die Messungen der Ladegeräte wurden stets im belasteten Fall durchgeführt, d.h. die einzelnen Endgeräte wurden angeschlossen und aufgeladen. Bis auf die Ladestation für die elektrische Zahnbürste (einziges untersuchtes Ladegerät ohne direkten Stecker, sondern Induktionsladung) sind alle Ladegeräte für einen Weitbereichseingang der Spannung ausgelegt. Somit verändert eine Reduktion der Spannung die Funktion des Gerätes nicht großartig, was auch durch die Messungen bestätigt wird. Die Ladefunktion ist über einen großen Spannungsbereich gegeben, die Dauer des Ladevorgangs kann sich jedoch auf Grund unterschiedlicher Strom- und Leistungsaufnahmen ändern.

Die bei Ladegeräten bzw. Schaltnetzteilen verwendeten Gleichrichterschaltungen sind vor allem 1-phasige Einweg- bzw. Brückengleichrichterschaltungen. Auf Grund des fehlenden Zugangs zu Schaltplänen der einzelnen Ladegeräte, können keine genaueren Aussagen über deren Innenleben gemacht, sondern nur mit Hilfe der Stromform mögliche Grundschaltungen zugeordnet werden. Kleine Ladegeräte weisen meist einen schlechten Leistungsfaktor auf. Auf Grund der geringen Leistungen müssen keine großen Auswirkungen auf das Netz befürchtet werden. Bei größeren Netzgeräten muss es laut EN 61000-3-2 (bei Leistungen zwischen 75 und 600W) eine Leistungsfaktorkorrektur geben, um störende Einflüsse auf andere Anlagen bzw. das Verteilnetz auszuüben. [38]

Die untersuchten Geräte liefern am Ausgang eine konstante Spannung und/oder einen konstanten Strom (abhängig vom verwendeten Ladeverfahren). Wegen der kurzen Messzeiten können aber keine genaueren Aussagen über die Art des Ladeverfahrens gemacht werden. Beim Einschalten bzw. Einstecken des Ladegeräts kommt es zu Einschaltstoßströmen, welche 5-10 mal größer als der stationär aufgenommene Nennstrom sein können. Die untersuchten Geräte funktionieren in dem in Abbildung 6.5 dargestellten Spannungsbereich. Im roten Bereich wird zwar schon ein geringer Strom aus dem Netz gezogen, am Ausgang gibt es hingegen noch keine Spannung. Beim Übergang in den grünen Bereich wird eine definierte Spannung an den Ausgang gelegt. Nicht alle Ladegeräte waren gleich imstande, den aufgenommenen Strom zu halten, sondern benötigten noch eine Spannungssteigerung, um die volle Funktion zu erreichen, welche durch den blauen Bereich beschrieben wird.

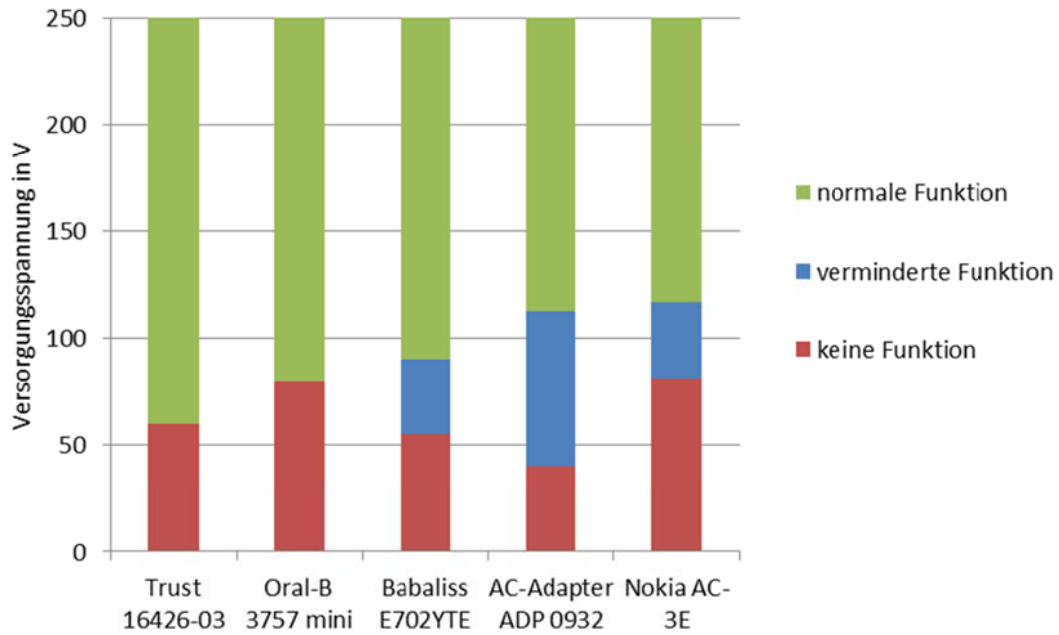


Abbildung 6.5: Funktion der Ladegeräte im Spannungsbereich 0-250V

6.2.3.3 Unterhaltungselektronik

Für die Geräteklasse „Unterhaltungselektronik“ wurden im Labor folgende Verbraucher untersucht:

Tabelle 6.5: Im Labor untersuchte Geräte der Unterhaltungselektronik

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Anschlussleistung
Röhrenfernseher	SEG Premium	MERANO-S	230V~	k.A.
Röhrenfernseher	Sharp	70ES-16S	220-240V~	160W
Stereoanlage	Universum	VTC-CD130	230V~	5W

Während bei Ladegeräten und Netzteilen Versorgungsspannungen im Weitbereichseingang quasi die Standardausführung sind, wird in der Unterhaltungsindustrie eine Versorgung mit Nennspannung zwischen 220-240V~ erwünscht. Möglicherweise ist dieser Unterschied preisbedingt, da die Bauteile für ein Netzgerät mit Weitbereichseingang teurer sind. Betrachtet man die Funktionalität der Geräte aus Tabelle 6.5, so ist eine Funktion auch außerhalb des Spannungsbandes möglich. Durch nahezu gleichbleibende Wirk- und Blindleistung sowie abnehmenden Strom bei steigender Spannung ist eine Zugehörigkeit zu den Schaltnetzteilen erkennbar. TV-Flachgeräte werden ebenfalls mit Schaltnetzteilen versorgt, daher ist ein ähnliches Verhalten auch für diesen Verbraucher zu erwarten. Ganz anders sieht das Verhalten der Stereoanlage aus, welche durchwegs steigende elektrischer Parameter aufweist.

Um ein repräsentatives Ergebnis für die Verbraucher der Unterhaltungselektronik zu bekommen, müssten in Folge weitere Geräte vermessen werden. Prinzipiell kann der

Schluss gezogen werden, dass die Funktion des Geräts der Unterhaltungselektronik von der Art und der Kompatibilität des verwendeten Netzteils bzw. der verwendeten Gleichrichterbauteile abhängt.

Bei der Messung der TV-Geräte wurde das Verhalten beim Einschalten, der Stand-by Verbrauch sowie der Unterschied der elektrischen Parameter durch Bildwechsel aufgenommen. Ein Bildwechsel führt zu Änderungen des Video- und Audioausgangs, was sich leistungsmäßig bemerkbar macht. Die Funktion der beiden untersuchten TV-Geräte ist bei unterschiedlichen Versorgungsspannungen gegeben, so funktioniert der Röhrenfernseher SEG Premium MERANO-S bereits bei $U=80V$, während für das zweite Modell (Sharp 70ES-16S) bereits eine Versorgungsspannung von $U=180V$ notwendig ist. Beide Geräte weisen in ihren Funktionsbereichen bis $U=230V$ bei sinkendem Strom Wirk- und Blindleistungen im Bereich 90-110% der Nennwerte auf. Der Stand-by Verbrauch ist unabhängig von der Versorgungsspannung nahezu gleichbleibend.

6.2.3.4 Informations- und Kommunikationstechnik

Die für die Geräteklasse „Informations- und Kommunikationstechnik“ betrachteten Verbraucher sind in Tabelle 6.6 aufgelistet. Der in der Tabelle ganz rechts angegebene Wert gibt einen minimalen und einen maximalen (mit Lautsprecher) Energieverbrauch bei eingeschaltetem Gerät, sowie den maximalen Energieverbrauch im Energiesparmodus an.

Tabelle 6.6: Im Labor untersuchte Geräte der IKT

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Input	Min/Max/Stand-By
PC-Schaltnetzteil	Enermax	Pro 82+	100-240V~	9,5-4A	-
Bildschirm	EIZO	FlexScan L885	100-240V~	0,7A/0,4A	58 / 65/ 3W
Bildschirm	EIZO	FlexScan L365	100-240V~	0,6A/0,35A	27 / 35 / 3W
Bildschirm	Samsung	SyncMasterP2250	100-240V~	0,7A	40 / - / 1W

Für den PC werden die technischen Daten des Computer-Schaltnetzteils angegeben, das integrierte Zubehör wird mit einer Gleichspannung versorgt. Die Leistung des Netzteils begrenzt die aufgenommene Leistung aus dem Netz und damit auch die verfügbare Leistung für die einzelnen Bestandteile des Computers. Abhängig vom Verwendungszweck kann der Bereich einer möglichen Leistungsaufnahme abgeschätzt werden. PCs mit leistungsstarken und schnellem Zubehör (Sound- und Grafikkarte, Prozessor, Festplatte,...) können Leistungsaufnahmen aufweisen, welche um ein vielfaches höher sind als Geräte mit Standard-Zubehör. Den Nutzer beeinflussen beim Kauf vorrangig Preis und Funktionalität, wogegen Energieeffizienz bzw. Stromverbrauch eine eher sekundäre Rolle spielen. Die Verwendung eines PC ist immer mit der Verwendung von einem oder mehreren Bildschirmen gekoppelt. Die Bildschirme funktionieren dabei spannungsmäßig in einem Weitbereichseingang, wobei hierfür die spannungsabhängigen Stromaufnahmen als Anschlusswerte angegeben werden. Die Datenblätter liefern auch Informationen über die

Leistungsaufnahmen, welche von den Einstellungen am Bildschirm und am Audio-Ausgang abhängen (ähnlich zu den TV-Geräten). Anzumerken sei bei den betrachteten Bildschirmen, dass nur das Modell Samsung SyncMasterP2250 den von der Norm (EG) Nr. 1275/2008 limitierten Stand-by Verbrauch von <2 Watt einhalten kann.

Wegen des Weitbereichseingangs der Netzteile ist eine Änderung der Versorgungsspannung in einem großen Bereich möglich. Die untersuchten Verbraucher funktionieren beim Einschalten ab einem Spannungsbereich von 50-90V. Besonders gut zu beobachten ist das Einschaltverhalten eines Bildschirms bei diesem Spannungsniveau, weil es zu einem flackernden Bild mit akustischem Surren wegen des hohen aufgenommenen Stromes kommt. Eine ausreichende Funktion ist daher nicht gegeben. Ab einer Spannung von 100V funktionieren alle drei Bildschirme ohne Störung. Betrachtet man den Einschaltvorgang eines Bildschirms, so kann man erkennen, dass dieser nicht sofort das Video- und Audiosignal ausgibt, sondern dies erst nach 1-2 Sekunden passiert. Die Höhe des Anfangsstromes ist für verschiedene Spannungen unterschiedlich, nach abgeklungenem Einschaltvorgang wird die gleiche Leistungsaufnahme bezogen. Das Verhalten des Stromes bei steigender bzw. sinkender Versorgungsspannung kann in Abbildung 6.6 erkannt werden. Das Strommaximum beim Verringern der Versorgungsspannung ist um ein Vielfaches höher als beim Vergrößern. Dies ist dadurch zu begründen, dass der Bildschirm beim Einschalten zuerst das Signal am Eingang prüft, dann in einen Stand-by Zustand schaltet und erst dann einschaltet. Da in dieser kurzen Zeit die Versorgungsspannung weiter nach oben geregelt wurde, ist der große Strombezug am Anfang nicht ersichtlich. Vergleicht man den Stromwert beim ersten Einschalten des Bildschirms beim Hinaufregeln mit dem gleichen Wert beim Herunterregeln, sind ähnliche Spannungswerte ersichtlich.

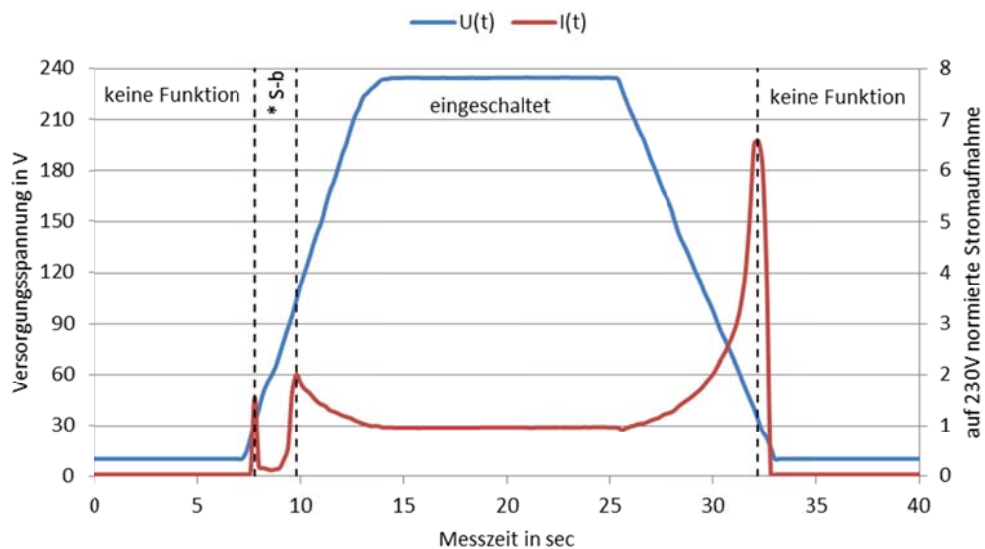


Abbildung 6.6: Verhalten des aufgenommenen Stromes des Bildschirms FlexScan L365 bei sich verändernder Versorgungsspannung, *S-b= Stand-by

Ein Blick auf die Kennlinien der Bildschirme zeigt eine leicht sinkende Wirkleistungsaufnahme bei steigender Spannung ab einer Spannung von $U=100V$. Dabei ist der Wert der aufgenommenen Leistung bei Minimalspannung für normale Funktion lediglich um bis zu 5% größer als der Wert bei Nennspannung. Die Blindleistungsaufnahme steigt mit steigender Spannung und die Steigung der Kennlinie nimmt zu. Genau gegenteiliges Verhalten gilt für den aufgenommenen Strom. Dieser sinkt mit steigender Spannung und das Gefälle der Kennlinie nimmt ab. Die Kennlinien zeigen das erwartete Verhalten von einem durch ein Netzteil versorgten Verbraucher.

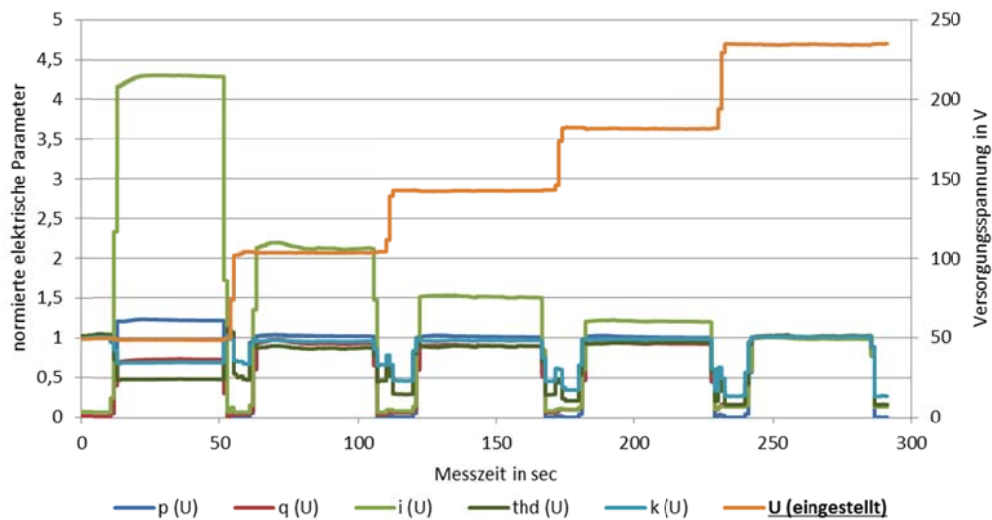


Abbildung 6.7: Veränderung der normierten elektrischen Parameter beim Bildschirm Samsung SyncMaster P2250

6.2.3.5 USV-Technologien

Für diese Untersuchung wurden die beiden im Labor vorhandenen USV-Anlagen vermessen, dabei handelt es sich um zwei Line Interactive USV-Anlagen mit geringen Leistungen. Somit soll das Verhalten einer USV-Anlage bei Unterspannung an Hand der Anlage mit Wechselrichter-Paralleltechnik gezeigt werden.

Tabelle 6.7: Daten der im Labor vorhandenen Line Interactive USV-Anlagen

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Spannweite	Kapazität
Line Interactive USV	FSP	EP 1000	220-240V	162-290V~	1000VA/600W
Line Interactive USV	APS	Smart UPS 700	230V	174-286V~	700VA/450W

Die beiden Anlagen haben, bezogen auf die vorhandene Netzspannung bei Belastung am Ausgang verschiedene Betriebszustände:

- Batteriebetrieb:** Bei Überschreitung der minimalen oder maximalen Werte der Versorgungsspannung werden die angeschlossenen Verbraucher von der Batterie gespeist, solange die Energie aus der Anlage reicht. Die untersuchten Anlagen sollen ohne Vorgaben des Netzes eine simulierte Sinus-Welle liefern. Wird eine Last an die Anlage angeschlossen, deren Leistungsangaben jene der USV-Anlage überschreiten, kommt es zu einem Alarm und dem gleichzeitigen Rückgang von Strom und Spannung am Ausgang. Aus dem Netz fließt kein Strom. Spannung und Strom am Ausgang sind bei einer ohmschen Last als Verbraucher rechteckförmig, bzw. im oberen Bereich zeitlich abnehmend. Die Form wird dabei von den Einstellungen am Gerät bzw. der integrierten Elektronik bestimmt.

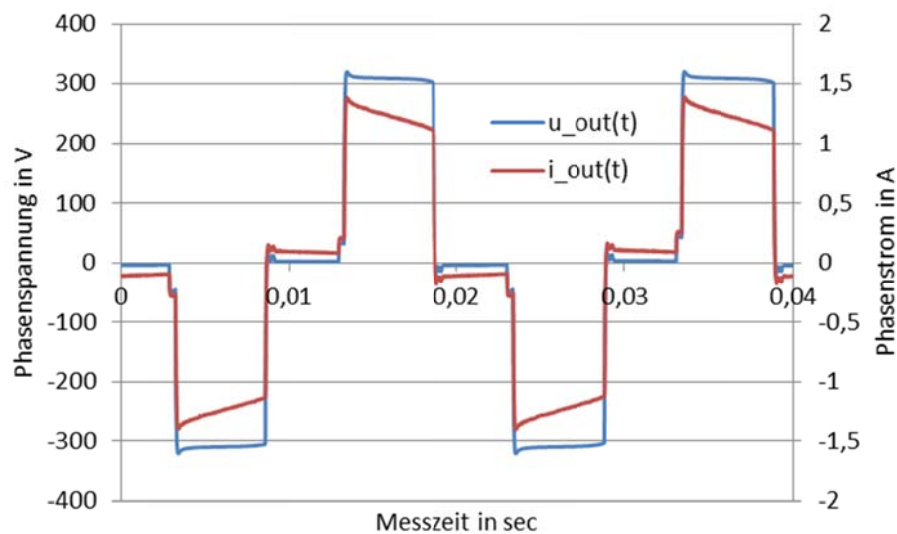


Abbildung 6.8: Verlauf von Ausgangsstrom und -spannung und bei der Line Interactive USV FSP EP 1000 bei einer Belastung mit einer 200W Glühbirne

- Netzbetrieb mit Unterspannungskorrektur:** Erkennt die USV-Anlage eine ausreichende Versorgungsspannung was bei den Messungen zwischen 160-170V der Fall war, zieht sie Strom aus dem Netz. Sowohl Ausgangsspannung und Ausgangsstrom nehmen Sinus-Form an, der Betrag verringert sich jedoch im Vergleich zum Batteriebetrieb, da die Ausgangsspannung versucht, sich der Netzspannung anzugleichen. Vom bezogenen Strom fließen ca. 70% zur Last und 30% zur Ladung der Akkus.

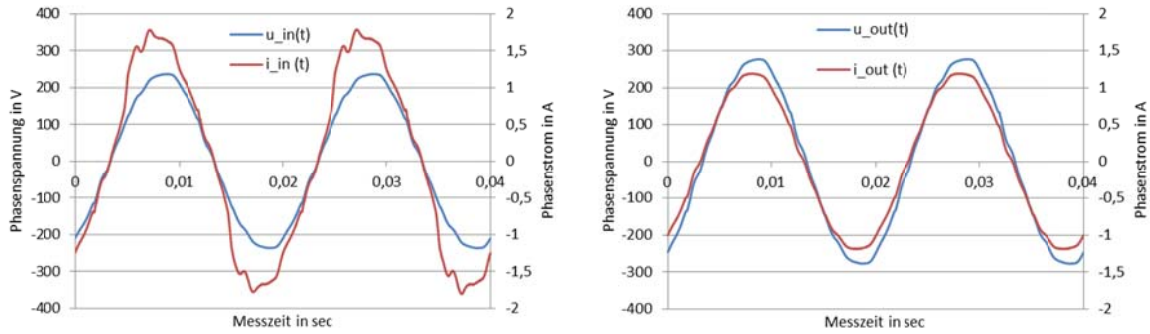


Abbildung 6.9: Verlauf von Eingangs- (links) und Ausgangsparametern (rechts) bei der Versorgung einer 200W Glühlampe über USV im Netzbetrieb mit Unterspannungskorrektur

- Netzbetrieb:** Ab einem voreingestellten Spannungswert wird die Unterspannungskorrektur ausgeschaltet und Ein- und Ausgangsspannung haben den gleichen Wert. Der Unterschied zwischen Ein- und Ausgangsstrom wird zur Ladung der Akkus verwendet und von der Elektronik in der Anlage verbraucht.

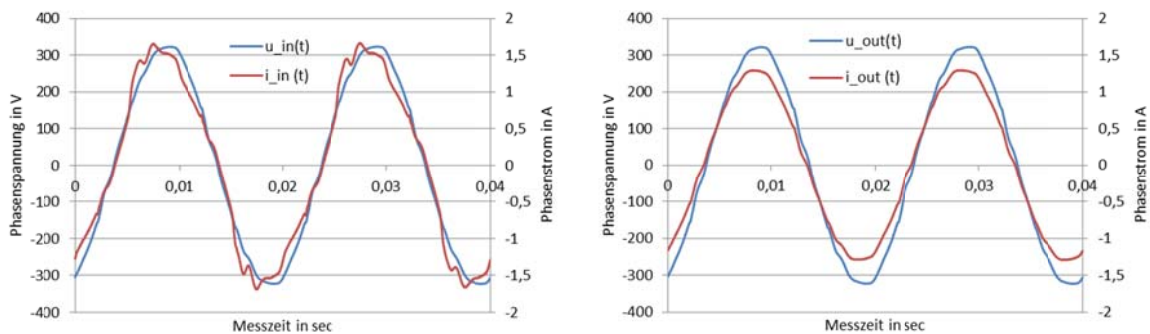


Abbildung 6.10: Verlauf von Eingangs- (links) und Ausgangsparametern (rechts) bei der Versorgung einer 200W Glühlampe über USV im Netzbetrieb

- Netzbetrieb mit Überspannungskorrektur:** Bei hohen Versorgungsspannungen schützt die USV-Anlage die angeschlossenen Verbraucher vor Überspannung bis zu einem Maximalwert, bei dem in den Batteriemodus umgeschaltet wird. In diesem Betrieb kann es auch durchaus vorkommen, dass die Last auch teilweise von der Batterie versorgt wird, um ein Überladen dieser zu verhindern.

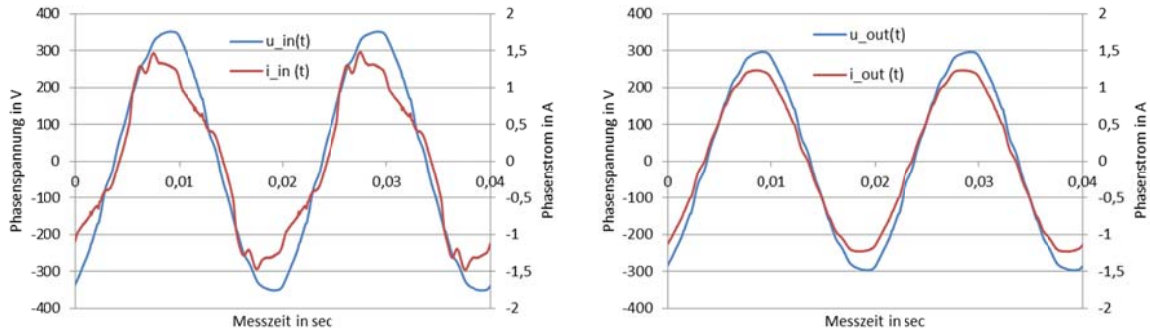


Abbildung 6.11. Verlauf von Eingangs- (links) und Ausgangsparametern (rechts) bei der Versorgung einer 200W Glühlampe über USV im Netzbetrieb mit Überspannungskorrektur

Ohne angeschlossene Verbraucher gibt es einen weiteren Betriebszustand:

- Ladebetrieb:** Die Batterien der Anlage werden mit Strom aus dem Netz geladen. Dieser Strom wird mit steigender Spannung in den jeweiligen Netzbetriebsarten größer, sinkt aber beim Überschreiten zu einem höheren Betrieb. Die Form des aufgenommenen Stromes erinnert an jene eines 6-pulsigen Gleichrichters mit Glättungskondensator. Betrachtet man die gesamte harmonische Verzerrung des Stromes (THD_i), so erhält man typische Werte für diese Gleichrichterschaltung. [39] Bei steigender Versorgungsspannung kommt es auch zu einem geringfügigen Ansteigen der THD_i . Durch längere Beobachtungszeiten könnten genauere Aussagen über das Verhalten des Stromes in Zusammenhang mit der Ladung der Batterien getätigt werden.

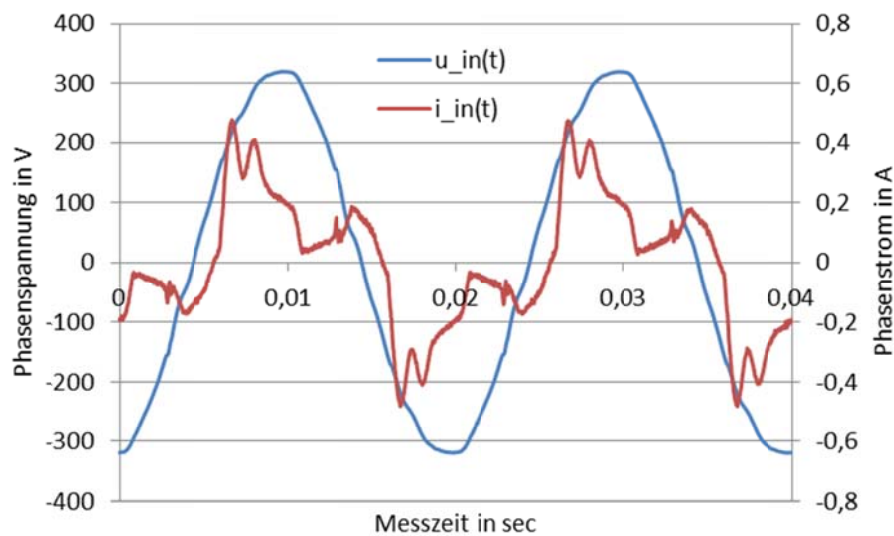


Abbildung 6.12: Verlauf von Eingangsstrom und -spannung und bei der Line Interactive USV FSP EP 1000 ohne Belastung

Die Effektivwerte für Strom- und Spannung am Eingang (U_{in} und I_{in}) sowie jene für den Ausgang (U_{out} und I_{out}) sind für die einzelnen Betriebszustände in Tabelle 6.8 aufgelistet:

Tabelle 6.8: Effektivmesswerte zu den oben abgebildeten Strom- und Spannungsverläufe des USV FSP EP 1000 je Betriebsart

Betriebsart	U_{in}	I_{in}	U_{out}	I_{out}
	V	A	V	A
Batteriebetrieb	-	-	225,6	0,914
Netzbetrieb mit Unterspannungskorrektur	168,3	1,220	197,2	0,851
Netzbetrieb	229,8	1,136	229,4	0,924
Netzbetrieb mit Überspannungskorrektur	250,3	0,972	211,2	0,886
Ladebetrieb	227,7	0,217	-	-

Die Grenzwerte, bei denen es zur Umschaltung zwischen den einzelnen Betriebsarten kommt, können meist in vorgegebenen Bereichen eingestellt werden. Bei den untersuchten Geräten ergaben sich die in Abbildung 6.13 dargestellten Spannungsbereiche für die einzelnen Betriebsarten. Die Ausgangsspannungen bleiben in der von der Norm vorgeschriebenen $\pm 10\%$ Spannweite.

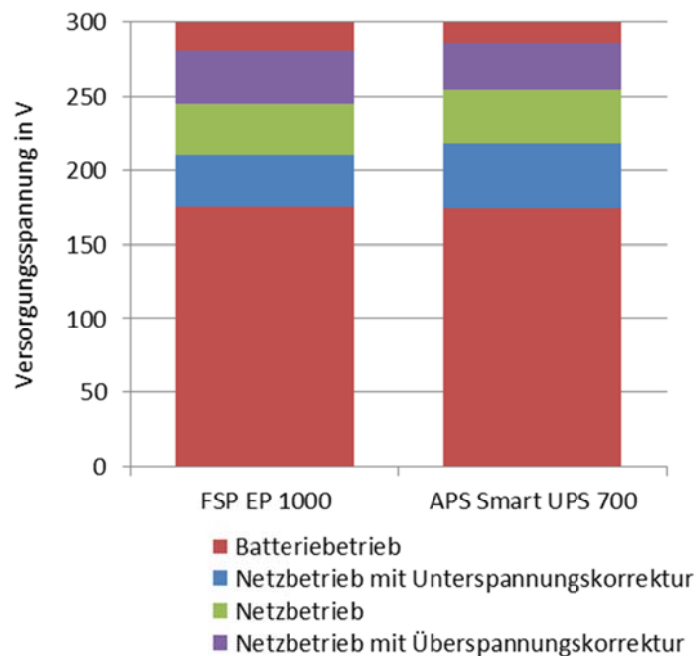


Abbildung 6.13: Betriebsarten von Line Interactive USV abhängig von der Versorgungsspannung

Im Falle eines länger andauernden Stromausfalls können die vorhandenen USV-Anlagen nur kurzfristig helfen, bis Netzersatzanlagen die Stromversorgung übernehmen. Bei geeigneter

Dimensionierung können einzelne hochsensible Verbraucher auch längere Zeit betreiben werden.

6.2.3.6 Smart Meter

Die im Zuge dieser Arbeit untersuchten Smart Meter sind in Tabelle 6.9 aufgelistet. Die Tabelle enthält jene Parameter aus den jeweiligen Datenblättern, welche für die weiteren Untersuchungen wichtig sind. Außerdem soll festgestellt werden, ob die Messwerte mit den Angaben des Herstellers übereinstimmen.

Tabelle 6.9: Daten der untersuchten Smart Meter, (*= Angaben beziehen sich auf einne Phase, k.A.= keine Angaben in den Datenblättern)

Marke	Modell	Nennspannung	Spannweite	Eigenverbrauch, Spannungskreis	
				Wirk	Schein
1-phasig					
Siemens	AMIS TD-3512	230V~	-20% bis +15%	ca. 3,6W	9VA
Kampstrup	162-L	230V~	-10% bis +10%	0,8W	0,7VA
Itron	ACE4000 GSS	220-240V~	-20% bis +15%	k.A.	k.A.
Echelon	83331-1/VAD	220-240V~	-20% bis +15%	< 2W	< 5VA
Landys+Gyr	ZCF 120	230V~	-20% bis +15%	0,6W	4,5VA
3-phasig					
EasyMeter	Diehl Q3D	3x230/400V~	-10% bis +10%	< 0,6W	< 2,5VA
Siemens	AMIS TD-3511	3 x 230/400V~	-20% bis +15%	ca. 5,4W	ca.14VA
Iskra	MT174	3 x 230/400V~	-20% bis +15%	<2W	<10VA
Kampstrup	382-L	3 x 230/400V~	-10% bis +10%	0,45W *	0,7VA *
Iskra	MT851	3 x 220/380-240/415V~	-20% bis +15%	< 3W	< 4VA
UHER	TD MZ 15	3 x 230/400V~	-10% bis +10%	k.A.	k.A.
Itron	ACE4000 PLC	3 x 220/380-240/415V~	-20% bis +15%	k.A.	k.A.
Landys+Gyr	ZMD 120	3 x 220/380-240/415V~	-20% bis +15%	0,5W *	4VA *
Echelon	83331-3/VAD	3 x 220/380-240/415V~	-20% bis +15%	< 2W	<5VA

Im Gegensatz zu den teilweise noch vorhandenen analogen Ferraris Zählern nehmen Smart Meter keinen sinusförmigen Strom auf. Auf Grund der Stromaufnahme können die Geräte zur Geräteklasse „Schaltnetzteil und Gleichrichter“ gezählt werden, die Stromform unterscheidet sich von Gerät zu Gerät.

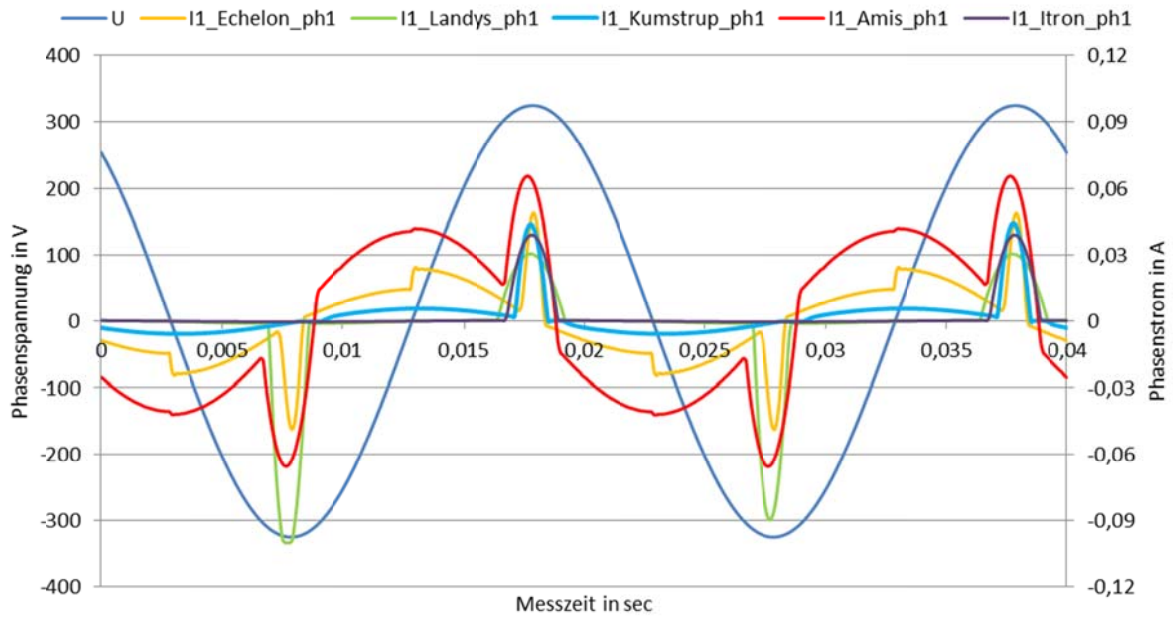


Abbildung 6.14: Verlauf des aufgenommenen Stromes verschiedener 1-Phasen Smart Meter

Teilweise sind noch sinusförmige Grundzüge zu erkennen, die genaue Messung der Verzerrung und des Klirrfaktors wurde für die Smart Meter nicht durchgeführt, da durch Veränderungen des Messsetups diese Messwerte irrtümlicherweise gestrichen wurden. Wie in Kapitel 5.2.1.3 beschrieben, könnten die beiden verloren gegangenen Faktoren rechnerisch ermittelt werden. Interessant bei 3-phasigen Geräten ist die Stromaufteilung auf die einzelnen Phasen. Bei den Geräten der Hersteller Kamstrup, Siemens und Itron weichen Betrag und Form der Phasen zwei und drei von den Werten der Phase eins ab, was auf eine Aufgabenteilung der einzelnen Phasen deuten kann.

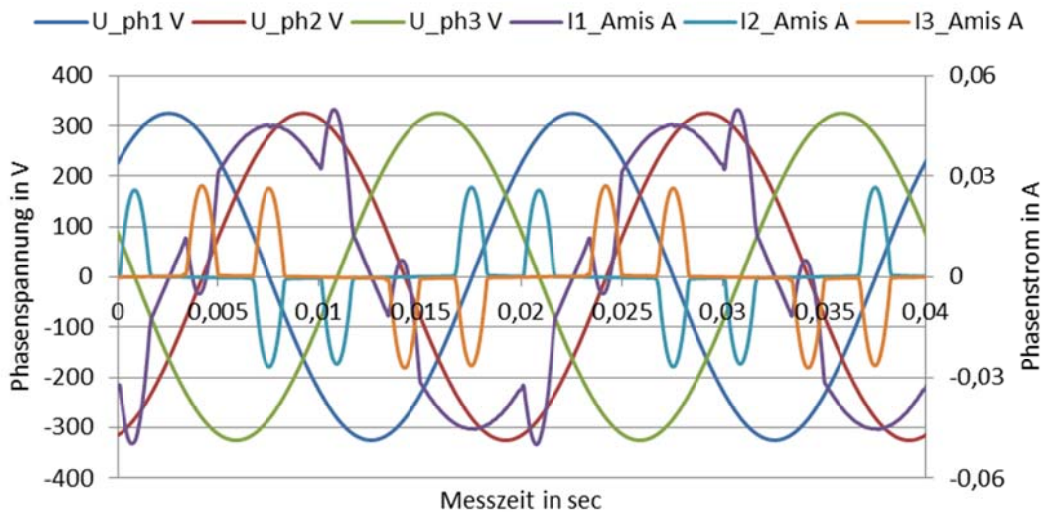


Abbildung 6.15: verschiedene Stromaufnahme in den einzelnen Phasen des 3-Phasen Smart Meters Siemens AMIS TD 3511 bei Nennspannung

6.2.3.6.1 Funktionalität als Messgerät und Schalter

Im Projekt „Smart Emergency - Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ übernehmen Smart Meter zusätzlich zu den laufenden Messungen auch die Aufgabe eines Schalters, wenn die Bauweise Modell diese Funktion gestattet. Je nach vorhandenem Spannungsniveau soll das Smart Meter ein- oder ausgeschaltet werden. Um diese Funktion auch im Unterspannungsbetrieb zu garantieren, wird dieser Betrieb bei den oben angeführten Smart Metern getestet. Die in Abbildung 6.16 angeführten Werte ergaben sich aus den einem Messaufbau, bei den Geräten Iskra MT174 und Landys+Gyr ZMD 120 wurde die Funktion im Zuge einer Einzelmessung bestimmt, da sie zum Zeitpunkt der Langzeitmessung nicht mehr zur Verfügung standen. Bei der Messung wurde die Spannung schrittweise bei 250V beginnend in 10V Stufen heruntergeregelt, für die spätere Analyse des Eigenverbrauchs jeweils der fünf Minutenmittelwert herangezogen.

Für die Prüfung der Funktionsbereiche gelten folgende Annahmen: der Übergang vom Bereich „keine Funktion“ in einen der beiden möglichen folgenden Funktionsbereiche wird mit dem erstmaligen Einschalten des Displays bewertet, der Übergang vom „Low Voltage“ Bereich in den normalen Bereich mit dem Ende der Fehlermeldungen.

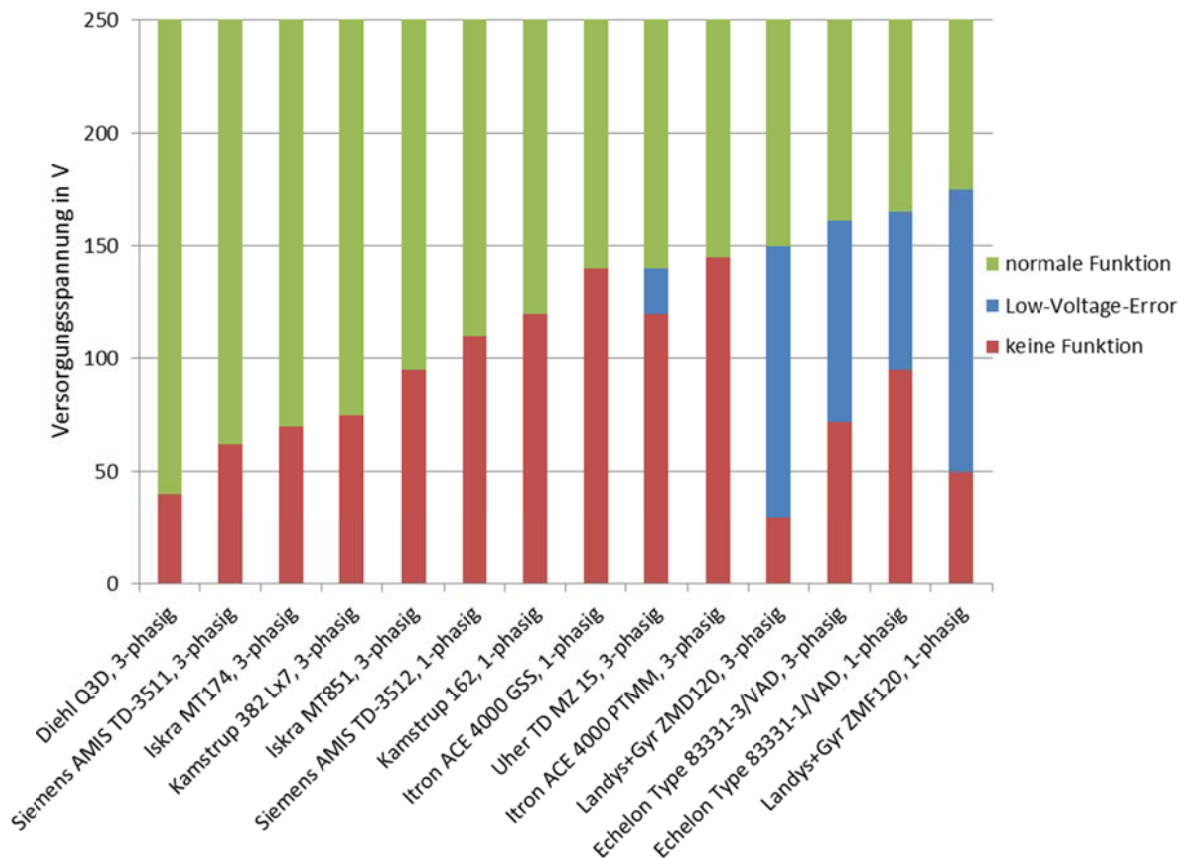


Abbildung 6.16: Funktion der untersuchten Smart Meter bei Unterspannung

Verschiedene Technologien führen auch zu verschiedenen Funktionsweisen, deshalb ist das Spannungsband, in welchem die Smart Meter funktionieren auch sehr groß. Betrachtet man

alle zusammen, so kann davon ausgegangen werden, dass die Funktion der meisten Geräte ab $U=150V$ gegeben ist. Die Hersteller garantieren die Funktion ihrer Produkte bis $0,8 \cdot U_N$, die Messungen zeigen, dass ein ordnungsgemäßer Betrieb auch außerhalb dieser Spannweite möglich ist. Aus der oben gezeigten Abbildung ist außerdem gut zu erkennen, dass 3-phasige Geräte tendenziell bei niedrigeren Spannungen funktionieren als 1-phasige Geräte. Im Bereich $U < 100V$ werden die Displays immer schwächer bis sie ausfallen.

Um eine Funktion des Gesamtsystems Smart Metering bei verschiedenen Spannungen gewährleisten zu können, müssten u.a. auch die Funktion der Datenfernübertragung, des Datenkonzentrators aber auch zentralen Speichersystems untersucht werden. Im Labor sind für das Siemens System AMIS die Komponenten Multifunktionszähler, Lastschaltgerät, Datenkonzentrator für Trafostation sowie Datenkonzentrator für Umspannwerk vorhanden. Betrachtet man den Datenkonzentrator CP-3410/CPC30, der für Verarbeitung und Kommunikation zuständig ist, so besteht dieser aus einem Stromversorgungsmodul, einem Steuerkopfmodul und optional bis zu vier I/O-Modulen. Das Stromversorgungsmodul versorgt das Steuerkopfmodul und stellt die benötigte Betriebsspannung der Übertragungseinrichtung bei Gemeinschafts- und Wählverkehr zur Verfügung. Dies bedeutet, dass bei reduzierter Versorgungsspannung das Stromversorgungsmodul die Funktion des gesamten Kommunikationssystems kontrolliert. Eine Funktion der Stromversorgungseinheit ist bis zu Spannungen von $U=80V$ möglich. Der Datenkonzentrator für Umspannwerke funktioniert auch noch bei einer reduzierten Versorgungsspannung bis $U=50V$.

6.2.3.6.2 Eigenenergieverbrauch

In diesem Abschnitt wird der Eigenenergieverbrauch der untersuchten Smart Meter bei Netzspannung sowie bei von der Netzspannung abweichenden Spannungswerten analysiert.

6.2.3.6.2.1 Allgemein

Zur Bestimmung des Eigenverbrauchs eines Smart Meters wurde eine einfache Leistungsmessung mit Shunt-Widerstand verwendet. Eine zweite Möglichkeit zur Bestimmung des Eigenverbrauchs ist die Messung des Differenzstromes zwischen Ein- und Ausgang des Smart Meters mittels eines Nullflusswandlers. Diese zweite Methode wird zur Messung des Eigenverbrauchs bei analogen Zählern verwendet, da diese nur unter Belastung gemessen werden können. Durchgeführte Messungen mit beiden Methoden führten zum Ergebnis, dass bei Smart Metern die Belastung kaum Einfluss auf den Eigenverbrauch hat. Diese Erkenntnis wird durch ein an der TU Graz durchgeführtes wissenschaftliches Gutachten gestützt, bei dem der Eigenverbrauch verschiedener Smart Meter bei einem Betrieb mit Nennspannung und unter einer Belastung von $I=16A$ nur um maximal 10% anstieg. [40] Im Gegensatz dazu steigt bei analogen Zählern der Eigenverbrauch mit zunehmender Belastung stetig an. So wurde die erste Methode der Leistungsmessung mit einem 10Ω Shunt-Widerstand und ohne Belastung gewählt. Vor Beginn der Messung wurden die Smart Meter eingeschaltet, damit sich die Elektronik

erwärmen konnte um einen Betriebszustand simulieren zu können. Ohne dieses vorherige Einschalten wären die Messergebnisse leicht verfälscht.

Eine Langzeitmessung über 24 Stunden mit einer Versorgungsspannung von 230V wurde durchgeführt, ein Mittelwert der gemessenen Leistungen und Ströme gebildet, der Leistungsfaktor aus Wirk- und Scheinleistung berechnet und in Tabelle 6.10 dargestellt. Für die 3-phasigen Smart Meter wurde die gesamte Stromaufnahme auf die aufgenommene Scheinleistung bezogen, Werte für die Stromaufnahme in den einzelnen Phasen sind in den Messtabellen im Anhang für den Spannungswert $U=230V$ zu finden.

Tabelle 6.10: Mittelwerte aus den Langzeitmessung der Smart Meter, unbelastet

Marke	Modell	P in W	Q in var	S in VA	I in mA	λ -
1-phasig						
Siemens	AMIS TD-3512	3,141	7,965	8,562	37,23	0,3668
Kampstrup	162-L	0,768	1,817	1,973	8,58	0,3895
Itron	ACE4000 GSS	0,955	1,874	2,103	9,14	0,4539
Echelon	83331-1/VAD	1,559	3,744	4,056	17,63	0,3843
Landys+Gyr	ZCF 120	2,658	3,905	4,725	20,54	0,5626
3-phasig						
EasyMeter	Diehl Q3D	1,641	6,189	6,403	27,84	0,2562
Siemens	AMIS TD-3511	4,645	11,840	12,719	55,30	0,3652
Iskra	MT174	0,775	9,491	9,522	41,40	0,0814
Kampstrup	382-L	1,161	7,236	7,329	31,86	0,1585
Iskra	MT851	2,127	1,984	2,909	12,65	0,7311
UHER	TD MZ 12	2,945	4,061	5,470	23,78	0,5384
Itron	ACE4000 PLC	2,368	11,341	11,587	50,38	0,2043
Landys+Gyr	ZMD 120	2,653	5,428	6,042	26,27	0,4391
Echelon	83331-3/VAD	2,167	8,732	8,997	39,12	0,2409

6.2.3.6.2 Einfluss der Versorgungsspannung auf den Eigenverbrauch

Um hier relevante und für das Projekt aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurde die Spannung von 250-0V in 10V Schritten gesenkt und das Smart Meter bei vorgewärmter Elektronik mit jeder Spannungsstufe für fünf Minuten betrieben. Wie in Abbildung 6.16 ersichtlich, funktionieren die verschiedenen Smart Meter bei unterschiedlichen Versorgungsspannungen. Betrachtet man die Verläufe von Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie des aufgenommenen Stroms, so kann man gut erkennen, wann das Smart Meter funktionsfähig ist. In der unten dargestellten Abbildung 6.17 wird der Verlauf der Kennlinien der normierten elektrischen Parameter des Smart Meters Echelon 83331-1/VAD aufgezeigt. Auf Grund der Kennlinien können die drei Funktionsbereiche gut erkannt werden.

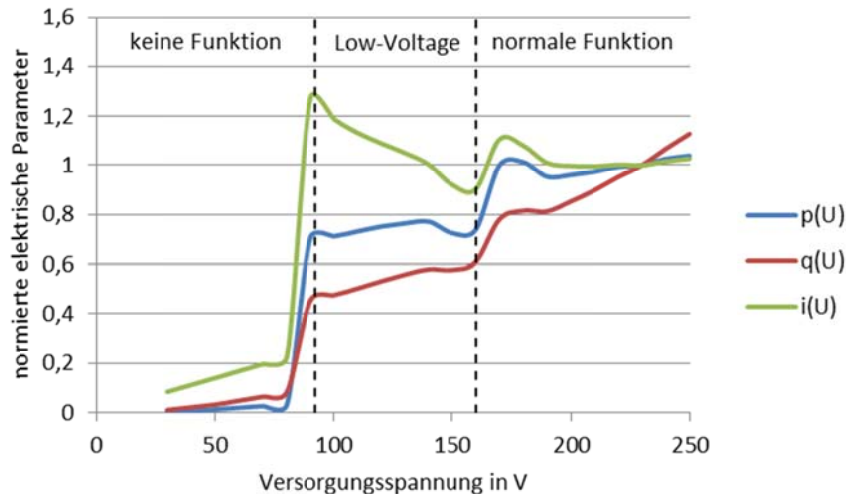


Abbildung 6.17: Verläufe der normierten Kennlinien des 1-phasen Smart Meters Echelon 83331-1 VAD

Obwohl das Smart Meter bis zu einer Spannung von $U=90V$ keine Funktion aufweist, wird ein geringer Strom aufgenommen. Bei Spannungen $U>90V$ schaltet das Display des Geräts ein und gibt eine Fehlermeldung auf Grund unzureichender Spannung aus. Der dabei aufgenommene Strom kann jenen im normalen Funktionsbereich übertreffen, Wirk- und Blindleistung nehmen mit konstanter Steigung zu. Im Bereich „normale Funktion“ arbeitet das Smart Meter als Messeinrichtung einwandfrei. Strom und Wirkleistung nehmen nach anfänglichem Sinken mit steigender Spannung leicht zu, die Blindleistung nimmt stark zu. Dies ist nur ein Beispiel, wie das Verhalten der elektrischen Parameter aussehen könnte. Andere Geräte weisen andere Kennlinien auf, der Einschaltzeitpunkt des Displays und der Übergang in den normalen Funktionsbereich sind bei den betrachteten Smart Metern aber gut zu erkennen.

Zusammenfassend gilt für Smart Meter ein leichter Anstieg der Wirkleistungsaufnahme und stärkerer Anstieg der Blindleistungsaufnahme mit steigender Spannung. Über die Stromaufnahme kann keine einstimmige Aussage getroffen werden, da steigende und fallende Stromkennlinien erfasst wurden (siehe dazu die Kennlinien im Anhang).

6.2.4 Beleuchtung

6.2.4.1 Innenbeleuchtung

Die Art der möglichen Beleuchtungskörper wurde bereits in Kapitel 4.2.4 dargelegt. Hier wird jetzt auf das Verhalten bei reduzierter Versorgungsspannung eingegangen.

Die Technologie der einzelnen Beleuchtungsanlagen im Betrieb, wesentlich aber auch beim Starten/Zünden hat Einfluss auf die Funktionsweise der Leuchten bei verringerter Betriebsspannung. In Tabelle 6.11 sind für die Untergeräteunterklasse „Innenbeleuchtung“ untersuchten Leuchten dargestellt:

Tabelle 6.11: Untersuchte Verbraucher der Geräteunterklasse „Innenbeleuchtung“

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Anschlussleistung
Glühlampe	ELIX	200	220-230V~	200W
Glühlampe	Philips	8M	230V~	75W
Glühlampe	Tungsram	-	220-230V~	15W
Halogenglühlampe	Conrad	Nr. 570611	12V =	20W
Halogenstrahler	-	BAB+C	12V =	20W
Energiesparlampe	Osram	DuluxStar 17/825	220-240V~	17W,135mA
Energiesparlampe	Osram	DuluxStar 11/825	220-240V~	11W, 90mA
Energiesparlampe	Philips	Tornado Esaver 8	220-240V~	8W
Energiesparlampe	Philips	Genie 11W E27 Erp	220-240V~	11W
Kompaktleuchtstoffl.	-	TC-SEL 11W/840 2G7	220-240V~	11W
Kompaktleuchtstoffl.	Philips	SL*9	220V~	9W
Leuchtstoffröhre	Osram	Cool White L18/640	220-240V~	18W
Leuchtstoffröhre	Osram	lumilux L18/827	220-240V~	18W
LED	Philips	7E27 A60-1	220-240V~	7W
LED	Paulmann	G4	12V =	1W
LED-Kette	LED-Driver	-	100-230V~/ 12V =	2,4W

6.2.4.1.1 Verhalten von Glüh- und Halogenglühlampen bei Unterspannung

Bei Glühlampen kommt es sofort bei anliegender Spannung zu einer Stromaufnahme. Dieser Strom fließt über den elektrischen Leiter (Wolframdraht) und bringt diesen bei ausreichender Erwärmung zum Glühen. Bei welcher minimalen Spannung es zum ersten Glühen des Fadens kommt, ist abhängig von der Nennleistung der Glühlampe und dem Widerstand des elektrischen Leiters. Leuchten größerer Leistung glühen bei niedrigen Spannungen, da der Leiterwiderstand bei größeren Leistungen kleiner ist.

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \quad (6.5)$$

Entsprechend der Formel (6.5) verhalten sich Strom und Spannung proportional zueinander und führen zu einem quadratischen Zusammenhang mit der Wirkleistung. Die Beleuchtungsstärke E_v verhält sich genauso wie die Wirkleistung, daraus folgt:

$$E_v \sim U^2 \quad (6.6)$$

Ein Unterspannungsbetrieb erhöht wegen verminderter Glühfandentemperatur die Lebensdauer der Leuchte, verringert aber entscheidend den Lichtstrom (siehe Abbildung 6.18). Ist die Leuchte einmal eingeschaltet, kann die Spannung auf einen niedrigeren Wert als beim Einschalten gesenkt werden, ohne dass die Leuchte ausfällt (*).

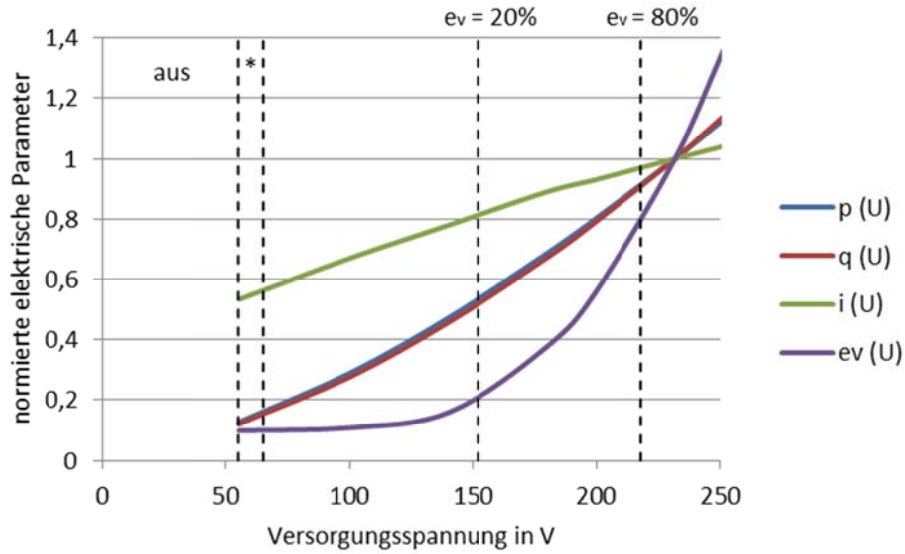


Abbildung 6.18: Verhalten der elektrischen Parameter bei einer 15W Glühbirne

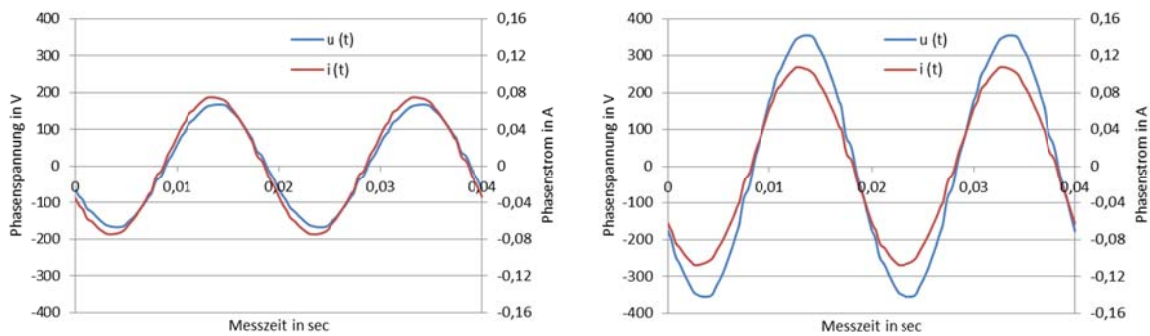


Abbildung 6.19: Strom- und Spannungsverläufe bei einer 15W Glühlampe bei $U=100,1V$ (links) und $U=231,4V$ (rechts)

Bei den untersuchten Halogenleuchtungen können ähnliche Verläufe für Leistungen, Stromaufnahme und Beleuchtungsstärke erkannt werden. Da es sich bei den Leuchten um Niedervoltleuchten handelt und diese bei 12V betrieben werden, gehört zur gesamten Leuchte ebenfalls ein Transformator, welcher vor allem eine Verzerrung der Blindleistungsaufnahme bewirkt. Die Leuchte ist in Kombination mit dem Kleintransformator bei jener Versorgungsspannung betriebsbereit, wenn der Transformator die Sekundärspannung an den Ausgang legen kann, was auch von der Stromaufnahme abhängig ist. Durch Spannungsmessungen nach dem Transformator kann dessen Verhalten bei der Veränderung der Versorgungsspannung erfasst werden. Beim untersuchten Transformator schalten die Leuchten ab Spannungen zwischen 50-60V ein. Was bei den Messungen auffiel, war ein sinusförmiger Strom bis ca. 180V, bei höheren Spannungen kommt es zur Ausbildung eines zweiten Peak-Werts, was zur Verringerung des Leistungsfaktors führt.

6.2.4.1.2 Leuchtstofflampen bei Unterspannung

Leuchtstofflampen, egal ob in Ausführung als Röhren oder kompakt als Energiesparlampen, benötigen für den Start und den Betrieb ein Vorschaltgerät, welches als konventionelles- (KVG) oder elektronisches Vorschaltgerät (EVG) ausgeführt werden kann. Ohne Vorschaltgerät würde der Entladungsstrom stetig steigen und die Leuchte zerstören. Bei Leuchtstoffröhren ist zusätzlich ein Glimmstarter erforderlich. Energiesparlampen zünden der gesamten Röhre bei Spannungen zwischen $U=110-120V$, während bei einer Ausführung als Leuchtstofflampen mit KVG für das erste vollständige Zünden, eine Betriebsspannung von $U=180V$ nicht unterschritten werden sollte. Dies kommt davon, dass bei EVG auf moderne Leistungselektronik zurückgegriffen werden kann, während das KVG einen Eisenkern und eine Induktivität (strombegrenzende Spule) im Grundkonzept hat. Ein wesentlicher Unterschied bei der Form der Stromaufnahme gibt es zwischen Leuchtstoffröhren und Energiesparlampen. Erstere nehmen über den gesamten Funktionsbereich einen zur Spannung um $60-70^\circ$ phasenverschobenen sinusförmigen Strom auf, während der Stromverlauf von Energiesparlampen mit EVG eine stark verzerrte Kurvenform mit einem hohen Oberschwingungsanteil aufzeigt.

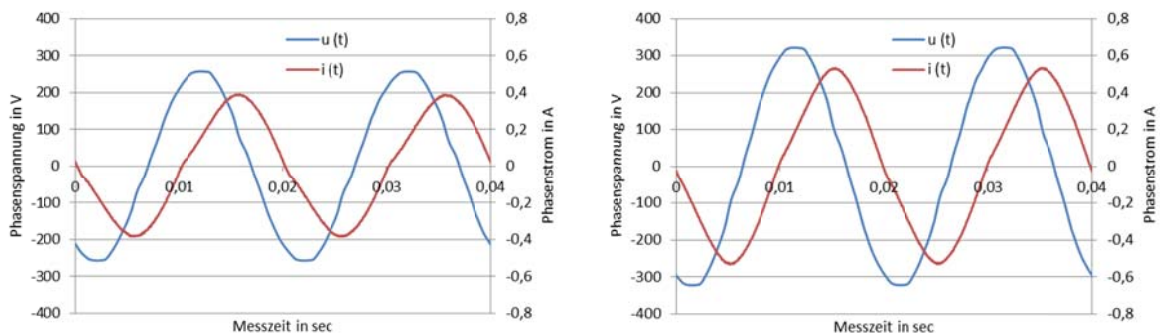


Abbildung 6.20: Strom- und Spannungsverläufe bei der Leuchtstoffröhre Osram Lumilux L18 bei $U=183,9V$ (links) und $U=230,5V$ (rechts)

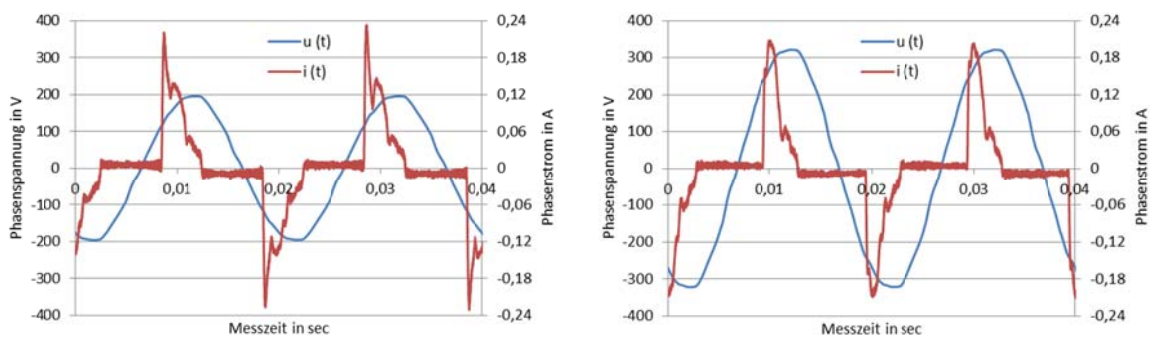


Abbildung 6.21: Strom- und Spannungsverläufe bei der Energiesparlampe BaseTech-11W bei $U=139,4V$ (links) und $U=229,1V$ (rechts)

Außerdem ist zu beachten, dass bei den Leuchtstofflampen eine Einbrenndauer von einigen Minuten, bis die volle Leuchtkraft zur Verfügung steht, notwendig ist. In dieser Zeit besteht

vor allem im Unterspannungsgrenzbetrieb (Leuchtstofflampe funktioniert gerade noch) die Gefahr vor wiederholten Zündversuchen, Flackern oder plötzlichem Auslöschen der Leuchte.

6.2.4.1.3 LED-Leuchten und Unterspannung

LED-Leuchten gibt es in verschiedensten Formen sowie Technologien, ob als Standardleuchten, SMD-bestückte Leuchten oder andere für jeden gewünschten Zweck. Je nach Ausführung ändern sich auch die technischen Voraussetzungen und damit das Verhalten bei Spannungsvariation. Ausschlaggebend ist auch die Art und Weise der Versorgung der LED-Leuchten (z.B. über Trafo) Wird eine LED über einen Kleintransformator an 12V Gleichspannung betrieben, so kommt es zu annähernd konstant bleibendem Lichtstrom bei höheren Spannungen (ab $U=150V$). Da die Leistung der untersuchten Leuchte gegenüber der, des zum Betrieb notwendigen Kleintransformators gering war, geben die gemessenen elektrischen Parameter nicht das Verhalten der Leuchte, sondern jenes des Kleintransformators wieder. Direkt an 230V betriebene Lampen (Ausführung als LED-E27) erhöhen die untersuchten Parameter Strom, Leistungen und Beleuchtungsstärke mit der Spannung. Jene LED-Beleuchtungen, die über einen eigenen Trafo betriebene werden (Dekorationslampen), haben ähnlich zur Außenbeleuchtung eine Leistungskonstanz in einem großen Bereich.

Da es eine große Bandbreite an verschiedenen LED-Leuchten gibt, ist eine allgemeine Aussage schwierig. Bessere Erkenntnisse liefern individuelle Eigenschaften der einzelnen LED-Ausführungen. Die untersuchten LED-Außenleuchten in Kapitel 6.2.4.2 zeigen im Gegensatz zu jenen Ausführungen für den Innenbereich ein eindeutigeres Verhalten der elektrischen Parameter, was vor allem auf die verwendeten Vorschaltgeräte zurückgeführt werden kann.

6.2.4.2 Außenbeleuchtung

Für die Untersuchung des Verhaltens dieser Verbrauchergruppe bei Unterspannung wurden von Energie Graz vier LED-Leuchten zur Messung im Labor zur Verfügung gestellt.

Eine Änderung der Netzspannung, um denselben Zweck zu erreichen, gilt Ing. Robert Mark (Energie Graz) als nicht sinnvoll. Untersuchungen über die Spannungsabsenkung bei Straßenbeleuchtungsanlagen zur Bestimmung des Einsparpotentials von Energie und Geld gibt es von DI HTL Martin Weitzer vom E-Werk Kindberg. Seine Untersuchungen ergaben [41]:

- Maximale Absenkung der Betriebsspannung bei der letzten Leuchte des Stromkreises bestimmen
- Grenzen der Spannungsabsenkung bei einer Betriebsspannung von 184V, darunter fängt die Leuchte an zu flackern bzw. auszufallen (bei den untersuchten Leuchten handelte es sich um Leuchtstofflampen)
- Verschiedene Leuchtmittel benötigen vor Erreichen der vollen Lichtleistung eine Einbrenndauer von 2-6 Minuten, zu starkes Absenken der Spannung vor dem Erreichen der vollen Lichtleistung führt zum Verlöschen der Lampe

- Technische Änderung des Lichtstromes nur mit dem Messgerät erfassbar
- Beurteilung über Verlängerung der Lebensdauer über den Beobachtungszeitraum nicht feststellbar.

So wurden die von Energie Graz zur Verfügung gestellten Leuchtmittel auf ihr Verhalten bei Unterspannung untersucht mit dem Versuch die bereits vorhandenen Aussagen zu untermauern bzw. neue zu definieren. Bei den Leuchten handelt es sich um jene aus Tabelle 6.12. Für die Angaben von Nennspannung und Strom- bzw. Leistungsaufnahme werden die Daten der Vorschaltgeräte angegeben.

Tabelle 6.12: Daten der untersuchten LED- Außenleuchten

Verbraucher	Marke	Modell	Typ	Nennspannung	Input
Außenleuchte	Canty Lighting	NBS-27	Power LED	230V~	27W
Außenleuchte	Philips	Indal Luma Mini	LED	120-277V~	200mA/ 16-17W
Außenleuchte	Cariboni	Levante A-D	LED	220-240V~	230-250mA
Außenleuchte	Philips	Fortimo	LED LLM	230V~	200-700mA

Die untersuchten Leuchten werden hauptsächlich für die folgenden Aufgaben verwendet:

- Cariboni Levante A-D Small: LED-Strahler zur Beleuchtung von Fahrrad- und Gehwegen, Allees, Parkplätzen und Grünzonen, auch geeignet zur Fassadenbeleuchtung [42]
- Philips Indal Luma Mini 20LED's für Beleuchtung von Hauptverkehrs- und Landstraßen sowie Spezialanwendungen [43]
- NBS-27W: Power LED Leuchtmittel zum Einsatz in Straßen- und Wegleuchten [44]
- Philips Fortimo LLM LED mit Xitanium Outdoor Konstantstrom LED-Treiber: Lang LED für den Indoor- und Outdoorbereich [45]

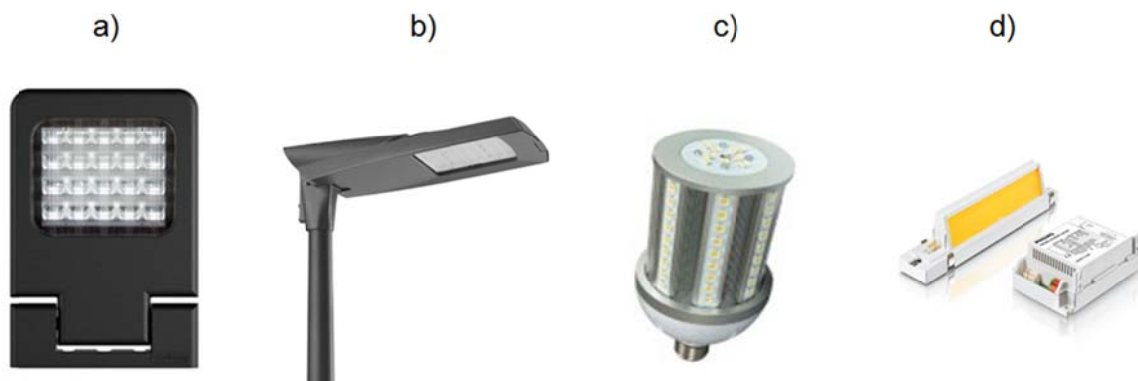


Abbildung 6.22: LED-Außenleuchten

Wie schon im Abschnitt „Innenbeleuchtung“ gesehen, benötigen professionelle Beleuchtungen, egal ob Leuchtstoffröhren, Hochdruck-Entladungslampen oder LED ein

Betriebsgerät (Vorschaltgerät). Diese Geräte werden laut Angaben der Hersteller im Normalfall für den Spannungsbereich zwischen 198 und 264V (220-240V~, $\pm 10\%$) konstruiert. Die meisten Geräte haben eine Leistungskonstanz eingebaut, was auch ein Verlassen dieses Spannungsbandes erlaubt. Bei sinkender Versorgungsspannung kommt es so zu einem erhöhten Strom, damit die gleiche Ausgangsleistung zur Verfügung gestellt werden kann. Dieser Strom bewirkt eine Erwärmung des Geräts, was sich negativ auf die Lebensdauer der Elektronik auswirken kann. Durch Änderung der Versorgungsspannung ändern sich mit dem Strom auch die Leistungen sowie die Beleuchtungsstärke. Abbildung 6.23 zeigt am Beispiel der Leuchte Philips Indal Luma Mini das Verhalten der normierten Werte. Die vier untersuchten Leuchten weisen folgende Eigenschaften auf:

- Gleichbleibende Wirkleistungsaufnahme über den großen Teil des funktionierenden Spannungsverlaufs, im unteren Spannungsbereich kann die Wirkleistung noch leicht zunehmen
- Die Kennlinien für Wirkleistungsaufnahme und Beleuchtungsstärke folgen demselben Verlauf
- Steiler werdende Blindleistungskennlinie bei steigender Spannung
- Abnehmend fallende Stromkennlinie bei steigender Spannung
- Abnahme des Leistungsfaktor λ bei steigender Spannung durch Erhöhung der Verzerrung des Stromverlaufs
- Grenzen der Spannungsabsenkung von Art der Leuchte und dazugehörigem Vorschaltgerät abhängig
- Keine Einbrenndauer bei LED-Leuchten
- Zu erwartende Lebensdauer sinkt bei sinkender Spannung wegen zusätzlicher Wärmeentwicklung in der Elektronik durch steigenden Strom [46]

Verwendet man den minimal möglichen Betrag der Spannung, der für das Einschalten der Leuchte ausreicht, wird ein definierter Strom bezogen. Dieser steigt bei zunehmender Spannung bis zu seinem Maximalwert, der beim Erreichen der Nennwirkleistung bezogen wird. Bei weiter steigender Spannung kommt es zu einer Abnahme des Stromes, die Kennlinie weist einen abnehmend fallenden Verlauf auf, welcher in Abbildung 6.23 zwar nicht klar erkennbar ist, jedoch durch Berechnungen der Steigung ermittelt wurde. Beginnend vom Erreichen des Maximalwerts des Stromes bleibt die Leuchte in einem stationären Zustand der Wirkleistung und der Beleuchtungsstärke. Bei gleich bleibender Versorgungsspannung kommt es bei den untersuchten Leuchten zu einem geringen Rückgang der Wirkleistung nach dem Einschalten. Ein stationärer Zustand wird nach ca. 10-15 Minuten erreicht. Die Wirkleistungsänderung ist aber geringer als 1W. Dies kann mit dem temperaturabhängigen Verhalten elektronischer Bauteile erklärt werden.

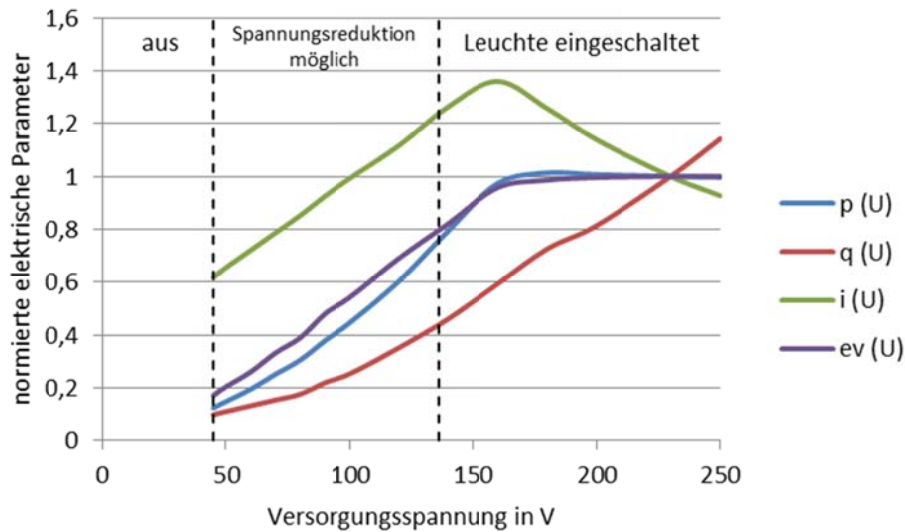


Abbildung 6.23: Kennlinien für die normierten Werte von Wirk- und Blindleistung, Strom und Beleuchtungsstärke am Beispiel der Cariboni Levante Small

Abbildung 6.23 zeigt den Verlauf der normierten elektrischen Parameter, der im eingeschalteten Zustand dem der Schaltnetzteile sehr ähnlich ist. Interessant ist die Aussage bei der Absenkung der Spannung. Bei einmal eingeschalteter Leuchte kann die Spannung bis unter $U=50V$ geregelt werden, die Leuchte verliert zwar an Leuchtkraft, fällt aber nicht aus.

Die verschiedenen LED-Außenleuchten funktionieren ab einem unterschiedlichen Betrag der Netzspannung zwischen 40 und 190V. Dies ist vorrangig vom integrierten Vorschaltgerät bzw. Schaltnetzteil abhängig. Bei einmal eingeschalteten Leuchten kann die Versorgungsspannung in den blauen Bereich (Abbildung 6.24) gesenkt werden, ohne dass die Leuchte ihre gesamte Funktion verliert, die Beleuchtungsstärke ist aber stark rückläufig. Die elektrischen Parameter sinken, bis der Strom nicht mehr ausreicht, um die Leuchte zu betreiben. Betrachtet man die Kennlinien, ist der Zusammenhang mit anderen, durch Schaltnetzteile versorgte Verbraucher, ersichtlich.

Nicht nur LED-Leuchten funktionieren bei Unterspannung, sondern auch andere Außenleuchten-Typen. Das von Weitzer untersuchte Verhalten von Entladungslampen für Straßenbeleuchtung bei Unterspannung [41] kommt zu ähnlichen Ergebnissen, wie jene aus den Messungen der im Bereich „Innenbeleuchtung“ verwendeten Entladungslampen. Diese Zusammenhänge können auch für Glühlampen herangezogen werden. Allerdings gibt es dazu in dieser Arbeit keine messtechnischen Untersuchungen.

Eine Mindestbeleuchtung im Fall von Störungen oder länger andauernden Stromausfällen ist als wichtig einzustufen, um die Sicherheit auf öffentlichen Plätzen, Straßen sowie das Sicherheitsgefühl und Wohlbefinden der Bevölkerung zu gewährleisten und den Einsatzkräften eine ausreichende Beleuchtung des Einsatzortes zu ermöglichen. Im Außenbereich werden dazu oft batterie- bzw. akkubetriebene Scheinwerfer bzw.

Flutlichtstrahler eingesetzt, welche je nach Anforderung und Leistung eine zeitlich begrenzte Beleuchtung garantieren.

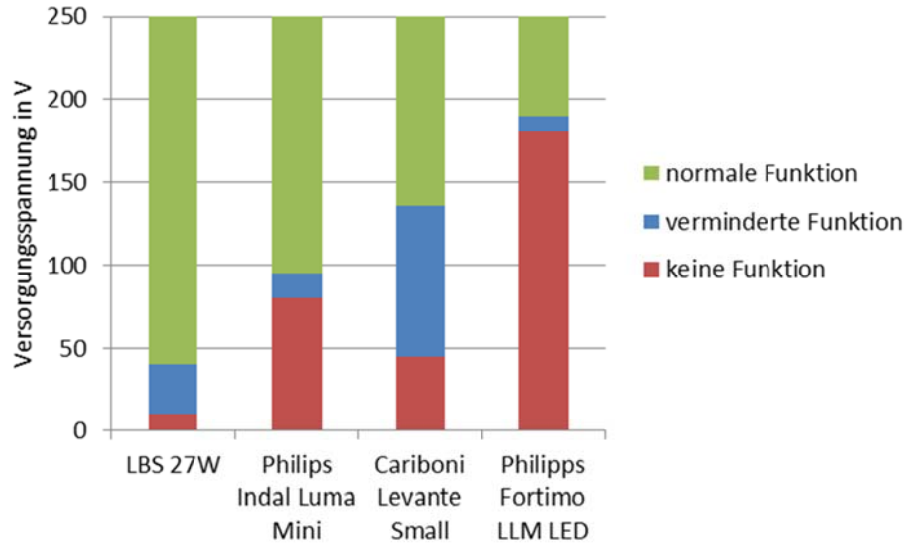


Abbildung 6.24: Funktionsbereiche von LED-Außenleuchten

Da es im gesamten Bereich der Beleuchtung eine Vielfalt von unterschiedlichen Lampen, deren Ansteuerung und zugehörigen Betriebsgeräte gibt, kann der Hersteller Auskunft über die Möglichkeit eines Einsatzes des entsprechenden Verbrauchers bei reduzierter Versorgungsspannung geben. Die durchgeführten Messungen ergaben jedoch, dass die vom Hersteller angegebenen Spannungsbereiche verlassen werden konnten, ohne dass die Funktion verloren ging.

6.2.5 Geräte für Kochzwecke

Diese Verbraucher sind den Haushalts-Kleingeräten ohne rotierendes Bauteil sehr ähnlich, es gibt einen fließenden Übergang zwischen den beiden Gruppen. In dieser Arbeit wurden folgende Einzelgeräte der Geräteklasse „Kochzwecke“ zugeordnet:

Tabelle 6.13: im Labor untersuchte Geräte der Klasse „Kochzwecke“

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Anschlussleistung
Einzelkochplatte	Silva-Homeline	2107	230V~	1500W
Induktionskochfeld	Mia	IKP 221	220-240V~	2000W
Induktionskochfeld	Caso	Basic 2002	220-240V~	2000W

Trennt man nun die Geräte nach der Art der Wärmezeugung, in solche mit elektrischer und solche mit magnetischer Wirkung, so kann ganz klar auf ein Verhalten bei Unterspannung geschlossen werden. Verbraucher, welche Wärme mit Hilfe von elektrischer Energie erzeugen, funktionieren bei geringen Spannungen und nehmen sofort einen sinusförmigen Strom auf, welcher linear mit der Spannung zunimmt. Ob dieses Verhalten auch bei elektronisch gesteuerten Geräten gleich ist, oder ob die Steuerung eine zu geringe Spannung erkennt und den Betrieb des Geräts untersagt, wurde im Laufe dieser Arbeit nicht untersucht.

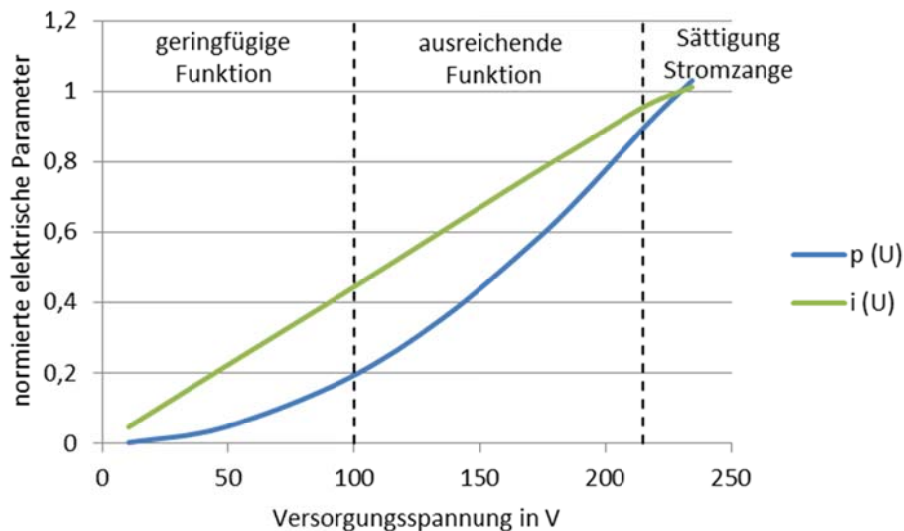


Abbildung 6.25: Quadratischer Zusammenhang zwischen Strom (grün) und Wirkleistungsaufnahme (blau) der Einzelkochplatte Silva-Homeline 2107

Betrachtet man die Wirkleistungskennlinie der Einzelkochplatte Silva-Homeline 2107, so ist der quadratische Zusammenhang mit dem aufgenommenen Strom besonders im Bereich bis $U=150V$ gut erkennbar. Der aufgenommene Strom bleibt über den gesamten Betrachtungsbereich sinusförmig, der Stromanstieg α_i bewegt sich im Bereich 50-95% (siehe Kapitel 5.2.4) der Netzspannung um den Steigungswert eins und wird in den oberen 5% flacher, was sich auch auf den Wirkleistungsaufnahmeanstieg α_p auswirkt. Die harmonische Verzerrung bzw. der Klirrfaktor des Stromes weisen mit der Spannung steigende Werte zwischen 2-4% auf. Die beiden Werte nehmen auf Grund von keinem bzw. sehr geringem Oberschwingungseinfluss die gleichen Werte an.

Da alle Verbraucher dieser Kategorie bei hohen Spannungen einen hohen Strom beziehen, wird die Grenze für den Eingangsstroms des Stromwandlers (Stromzange) überschritten und die Sättigung erreicht. Durch dieses Phänomen werden bei den aufgenommenen Strömen die Spitzen der Stromkurve, ab einem aufgenommenen Scheitelwert von etwa $I=8,8A$ abgeschnitten (siehe Abbildung 6.26). Da somit keine sinusförmige Stromaufnahme mehr gegeben ist, steigt der Wert für die Verzerrung des Stromes an. In der Abbildung 6.25 ist

außerdem ein Abflachen der gezeigten Kennlinien ab einer Spannung von $U=215V$ zu erkennen, was auf die gleiche Ursache zurückzuführen ist.

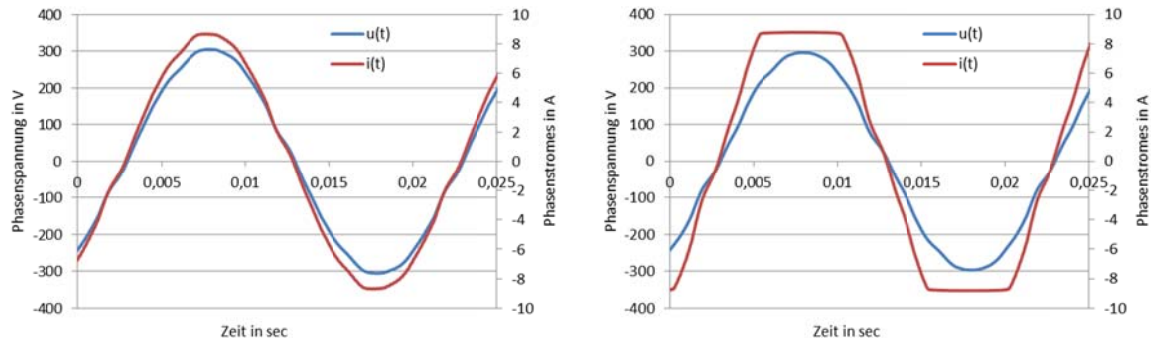


Abbildung 6.26: Stromaufnahme der Kochplatte Silva-Homeline 2107 mit $U=216,8V$ (links) und des Wasserkochers Siemens TW 60103 Executive Edition bei $U=212,2V$ (rechts)

Verbraucher, welche auf ein Magnetfeld zur Erzeugung der Wärme angewiesen sind, funktionieren je nach elektronischer Einstellung ab einer Spannung von $U=150-160V$. Zuvor tritt eine Fehlermeldung auf, welche auf eine nicht hinreichende Spannung hinweist. Bei der Induktionsplatte Caso Basic 2002 steigt bis zu einer Spannung von $U=170V$ der Strom steil an, danach bleibt dieser auch bei steigender Spannung konstant. Die Wirkleistungszunahme wird geringer und die Blindleistung wächst mit konstanter Steigung an. Zu beobachten ist ähnlich der Abbildung 6.26-links ein Abschneiden der Stromspitze. Beim anderen Modell der Induktionskochplatte, Modell Mia IKP 221, erreicht der aufgenommene Strom ebenfalls einen Spitzenwert rund um $U=170V$, dieser ist größer als der stationäre Strom bei Netzspannung und nimmt mit steigender Spannung ab, die Wirkleistung folgt mit ihrer Kennlinie dem Strom, die Blindleistung kann eine nahezu konstante Steigung aufweisen.

Abbildung 6.27 zeigt die Funktionen der untersuchten Geräte in den einzelnen Spannungsbereichen. Elektrische Kochfelder nehmen sofort einen Strom auf, dieser ist jedoch so gering, dass eine ausreichende Funktion des Geräts nicht gegeben ist. Es kann nicht ausreichend Wärme zur Verfügung gestellt werden. Ab einer Spannung von $U=100V$ ist die Dauer eines Kochvorgangs immer noch relativ lang, die bereitgestellte Wärme reicht aber meist aus, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten. Bei den beiden Induktionskochplatten schaltet die Elektronik bei Werten rund um $U=110V$ ein, erkennt eine nicht ausreichende Spannung und gibt eine Fehlermeldung aus. Diese erlischt bei Spannungen über $U=150V$ und eine Funktion des Gerätes ist gegeben. Mit steigender Spannung und damit verbundenem Ansteigen der Leistungsaufnahme verkürzt sich die Kochzeit.

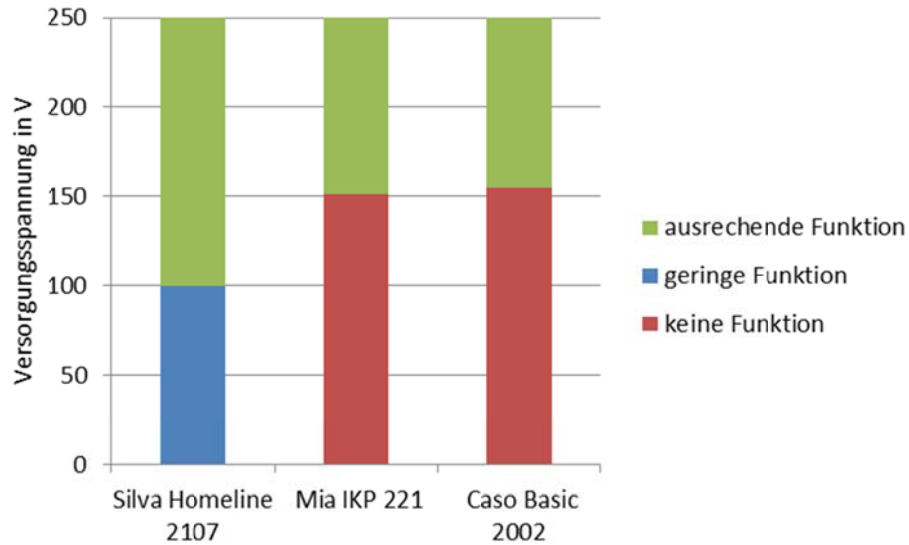


Abbildung 6.27: Funktionalität der Verbraucher der Geräteklasse „Kochzwecke“

6.2.6 Raumheizungs- und Klimageräte

Wie in Abbildung 4.10 gesehen, können dieser Geräteklasse verschiedene Verbraucher zugeordnet werden. Die untersuchten Geräte sind in Tabelle 6.14 aufgelistet. Bei der späteren Analyse wird die Geräteklasse in Geräte für Raumheizung und Klimageräte unterteilt.

Tabelle 6.14: untersuchte Geräte der Geräteklasse „Raumheizungs- und Klimageräte“

Verbraucher	Marke	Modell	Nennspannung	Anschlussleistung
Halogen-Heater	Jasun	JSNB-120Y4	220-240V~	1200W
Heizlüfter	Hellner	HL585	230V~	2000W
Ventilator	Honeywell	KAZ HAT-112E	220-240V~	40W
Klimaanlage	Toshiba	RAC-08LW	220-240V~	800W
Klimaanlage	DeLonghi	Arigel AG70	230V~	1000W

6.2.6.1 Raumheizung

Betrachtet man die beiden Geräte zur Raumheizung, handelt es sich um leistungsintensive Verbraucher. In den Geräten wird die Luft mit Hilfe von Heizelementen erwärmt und als Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) oder Wärmeströmung (bei integriertem Lüfter) an das Umfeld abgegeben. Für den Heizlüfter Hellner HL585 war es möglich, den integrierten Lüfter individuell zu messen und somit ein Verhältnis der aufgenommenen Leistung des elektrischen Antriebs im Gegensatz zu den dazugehörigen Heizelementen zu bekommen. Dabei bewegt sich die aufgenommene Leistung des Lüfters im geringen einstelligen

Prozentbereich. Wirk- und Blindleistung sind proportional und nehmen stets ähnliche Werte an. Diese Messung gestattet einen Zusammenhang mit dem Haartrockner herzustellen, bei dem ähnliche Verhältnisse herrschen dürften (Haartrockner hat wegen integrierter Spule eine größere Blindleistungsaufnahme). Betrachtet man die Messwerte des Heizlüfters für die beiden Leistungsstufen, so kommt der Großteil der aufgenommenen Blindleistung vom Lüfter. Der Anteil der Blindleistung ist gegenüber der Wirkleistung vernachlässigbar klein, der Leistungsfaktor nimmt Werte von nahezu eins an. Die Leistungsregelung erfolgt über den Betrag des Stromes. Bei größer werdendem Strom auf Grund höherer Leistungsstufe, sinkt dessen Verzerrung auf unter 2% ab. Für den Heizstrahler gilt selbiges Verhalten.

Im Unterspannungsbetrieb nehmen beide Geräte schon bei geringen Spannungen einen Strom auf. Dies ist ein typisches Merkmal für einen ohmschen Verbraucher. Für Spannungen im Bereich $U < 100V$ ist nur eine sehr geringe Heizwirkung sowie ein langsames Anlaufen des Lüfters (kaum fühlbarer Luftstrom) zu beobachten. Für die aufgenommenen Kennlinien gilt leicht zunehmende Steigung von Wirk- und Blindleistungsaufnahme während es zu einem geringen Abflachen der Stromkennlinie kommt.

Ähnlich zu den Verbrauchern der Geräteklasse „Haushalts-Kleingeräte mit rotierendem Bauteil“ verhält sich der Ventilator Honeywell KAZ HAT-112E. Dieser, auf drei Drehzahlen verstellbare Verbraucher, nimmt bei maximaler Geschwindigkeitsstufe und Netzspannung knapp die angegebene Wirkleistung von 40W auf. Die Erhöhung der Geschwindigkeitsstufen führt zu einer Erhöhung von Strom und Wirkleistung, gleichzeitig aber zu einer Reduktion der Blindleistung und der Stromverzerrung.

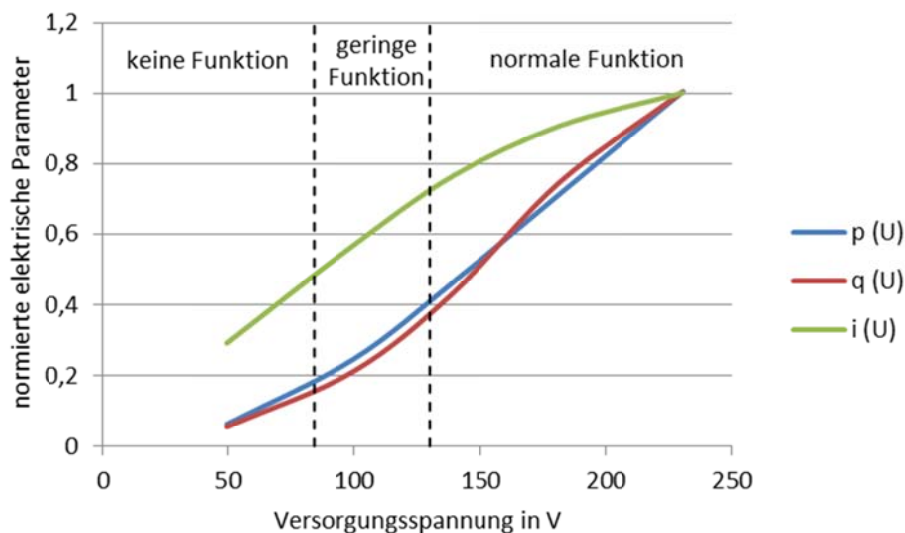


Abbildung 6.28: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ventilators Honeywell KAZ HAT-112E bei Geschwindigkeitsstufe 2

Auffällig bei der Veränderung der Versorgungsspannung ist das in Abbildung 6.28 ersichtliche Abflachen des aufgenommenen Stromes im oberen Spannungsdrittel. Die

Steigung der spannungsabhängigen Wirkleistungskennlinie steigt in der betrachteten oberen Spannungshälfte leicht aber stetig an. Die normierten Verläufe für Strom und Leistungen sind für die Geschwindigkeitsstufen 2 und 3 ähnlich der Geschwindigkeitsstufe 1. Vergleicht man die drei Geschwindigkeitsstufen, so besitzt Stufe 3 die größte Steigung. Diese Tendenz ist auch in Abbildung 6.29 erkennbar. Eine Rotation des Ventilators ist bereits bei geringer Spannung zu beobachten, jedoch reicht diese Rotation nicht aus, um einen Luftstrom zu erzeugen, welcher zur Kühlung der Raumluft notwendig wäre. Abhängig von der eingestellten Geschwindigkeitsstufe sind unterschiedliche Spannungen für das Beginnen der Rotationsbewegung notwendig, was auf eine Änderung des vorgeschalteten Widerstands zurückgeführt werden kann.

- Geschwindigkeitsstufe 1: Rotationsbewegung bei $U > 92\text{V} = U_{\min 1}$
- Geschwindigkeitsstufe 2: Rotationsbewegung bei $U > 84\text{V} = U_{\min 2}$
- Geschwindigkeitsstufe 3: Rotationsbewegung bei $U > 73\text{V} = U_{\min 3}$

Das Erreichen eines ausreichenden Luftstromes ist darum neben der Spannung auch von der gewählten Geschwindigkeitsstufe abhängig. Ein definierter Arbeitspunkt (definiert durch Wirkleistungsbezug) kann somit bei allen drei Geschwindigkeitsstufen durch Einstellung unterschiedlicher Versorgungsspannungen erreicht werden. Der erste definierte Arbeitspunkt liegt bei einer Wirkleistungsaufnahme von ca. 6 Watt, bei der es zu einer ersten Rotationsbewegung des Ventilators für alle drei Geschwindigkeitsstufen kommt. Dieser Arbeitspunkt kann wie in Abbildung 6.29 dargestellt für die verschiedenen Geschwindigkeitsstufen bei unterschiedlichen Spannungen erreicht werden.

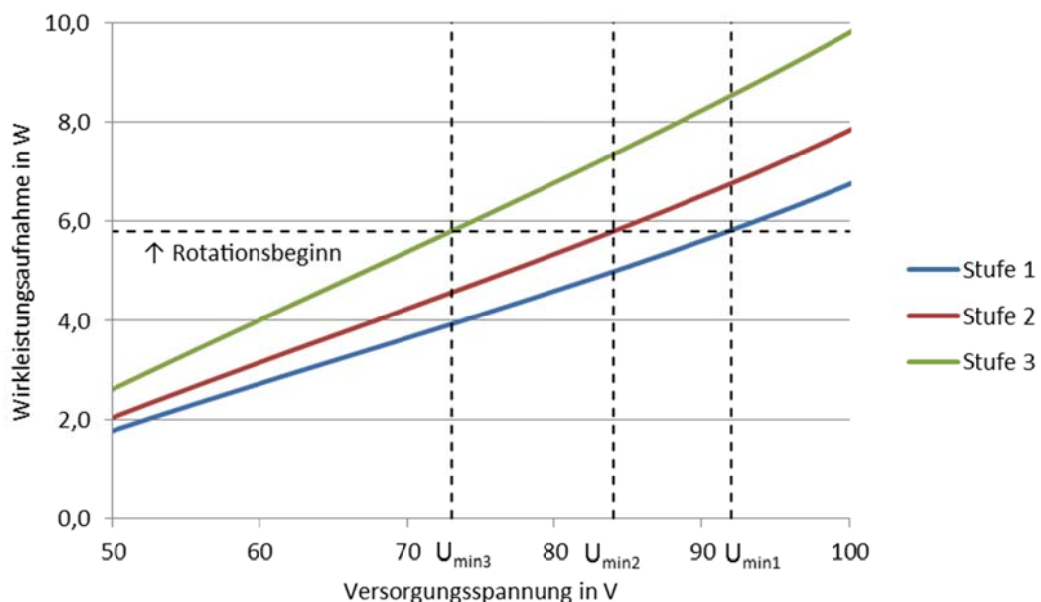


Abbildung 6.29: Verlauf Wirkleistungsaufnahme in Abhängigkeit von Geschwindigkeitsstufe und Versorgungsspannung im Bereich des Rotationsbeginns des Ventilators Honeywell KAZ-HAT-112E

6.2.6.2 Klimageräte

Ein Klimagerät hat die Aufgabe, in einem Raum, eine am Gerät eingestellte Raumtemperatur zu erzeugen und diese für den Rest des Betriebs der Anlage aufrecht zu halten. Abhängig von der Ausstattung der Klimaanlage können die Funktionen Lüftung, Heizung und Kühlung sowie Be- und Entfeuchtung zur Verfügung gestellt werden. Wird eine Klimaanlage eingeschaltet, wird die Umgebungstemperatur gemessen und das Gerät versucht, die Raumluft auf die eingestellte Endtemperatur zu kühlen bzw. erhitzen. Beim Erreichen dieser Temperatur schaltet das Gerät aus und arbeitet dann in einem quasi periodischen Ein-Aus-Zyklus in einem vorgegebenen Temperaturband. Je größer der Unterschied zwischen Umgebungstemperatur und Temperaturendwert, umso größer ist auch die aufzuwendende Energie, um diesen Zustand zu erreichen. Der erforderliche Wärme- bzw. Kältebedarf kann durch maximale Leistungsaufnahme über kurze Zeit oder definierte Leistungsaufnahme über längere Zeit erreicht werden.

Bei der im Labor untersuchten Klimaanlage DeLonghi Arigel AG 70 handelt es sich um eine mobile Teilklimaanlage mit Befeuchtungsfunktion. Dabei konnten bei den Messungen zwei Teilfunktionen unterschieden werden. Erstens der Betrieb des Lüfters, dessen Funktion auch mit dem zuvor beschriebenen Ventilator verglichen werden kann und zweitens die Kühlfunktion. In dieser zweiten Teilfunktion liegt das Hauptaugenmerk des folgenden Abschnitts.

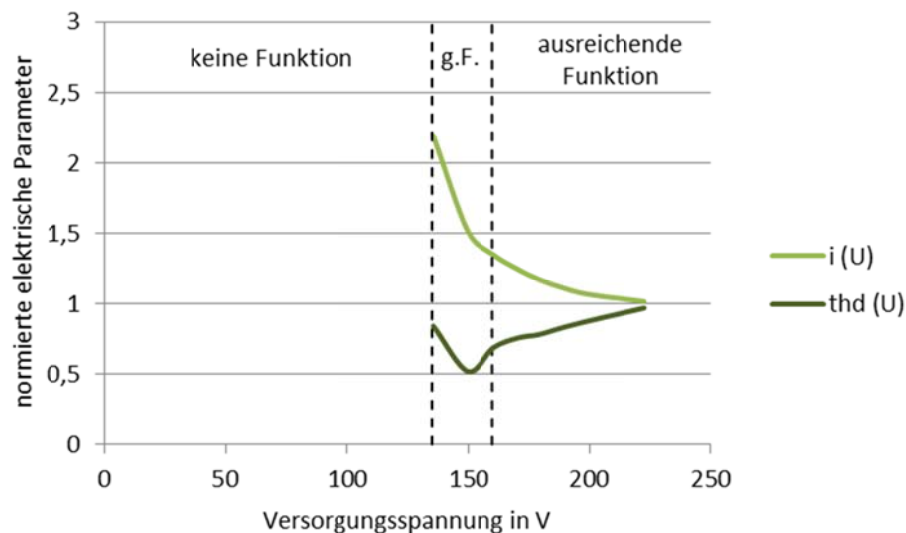


Abbildung 6.30: Steigende harmonische Verzerrung bei sinkendem Laststrom der Klimaanlage DeLonghi AriGel AG70

Bei Veränderung der Versorgungsspannung bleibt die aufgenommene Leistung zur Raumkühlung in einem großen Bereich ähnlich. Die Wirkleistungsaufnahme sinkt bei Spannungswerten um $U=180V$ ab und nimmt dann wieder leicht zu. Der Verlauf der Stromkennlinie ist mit steigender Spannung abfallend, die negative Steigung bzw. das

Martin Schwingshackl, BSc. Seite 94

Gefälle wird aber geringer. Das Klimagerät ist ab Spannungen $U > 130V$ betriebsfähig. Hier wird ein Strom aufgenommen, der durch Abschneiden der Stromspitzen (Sättigungsbereich der Stromzange) begrenzt wird und den doppelten Wert des aufgenommenen Stroms bei Netzspannung überschreiten kann. Mit steigender Spannung sinkt der aufgenommene Strom ab, was gleichzeitig zu einer Erhöhung der harmonischen Verzerrung führt.

Die Abbildung 6.31 zeigt die spannungsabhängigen Funktionsbereiche der Einzelgeräte aus der Geräteklasse „Raumheizungs- und Klimageräte“. Eine geringfügige Funktion ist dann gegeben, wenn nach subjektiver Einschätzung eine nicht ausreichende Funktion erkannt wurde bzw. eine Funktion des Geräts durch Senken der Spannung erst nach einmaligem Einschalten erreicht werden konnte. Ein ausreichende Funktion, bei der das Gerät seine Aufgabe vollständig erfüllen kann, ist bei allen Geräten bei $U = 150V$ gegeben.

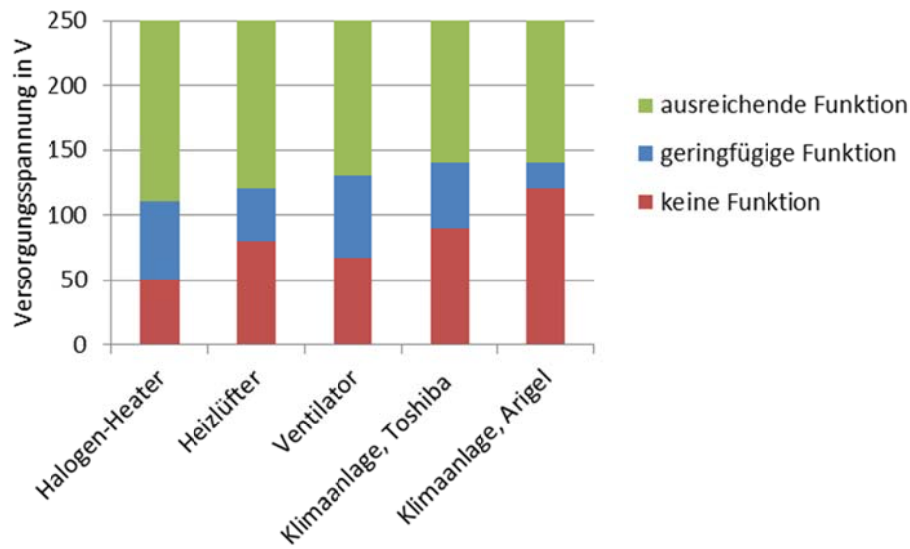


Abbildung 6.31: Funktionsbereiche der Geräteklasse „Raumheizungs- und Klimageräte“

6.2.7 Kühl- und Gefriergeräte

Bei dem für diese Arbeit untersuchten Gerät handelt es sich um einen Kühlschrank mit integriertem Gefrierfach. Zur Abschätzung der Normalfunktion bei Netzspannung wurde ein Lastprofil bei Netzspannung gemessen. Die Abbildung 6.32 zeigt die Kennlinie bei einer Versorgungsspannung von $U = 225V$:

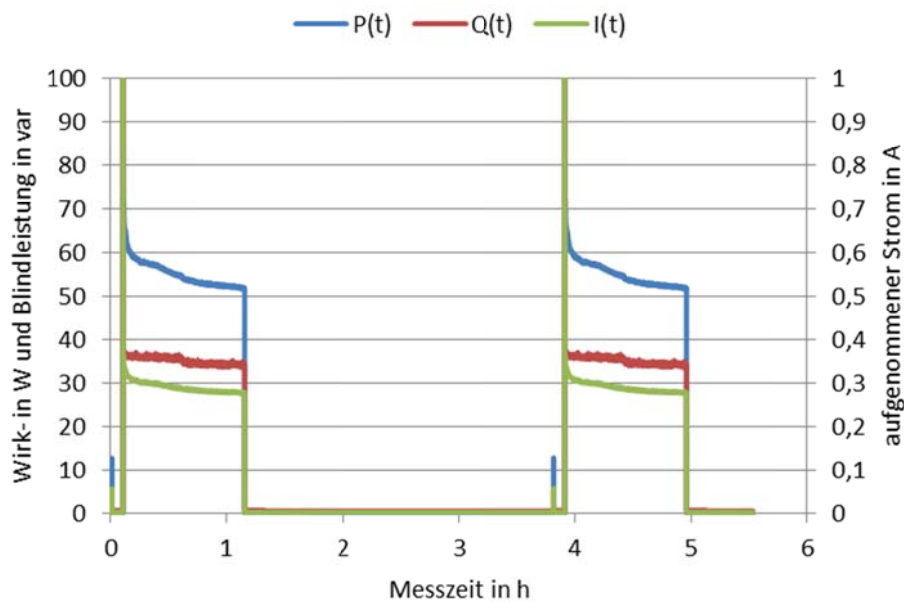


Abbildung 6.32: Leistungskennlinie des Kühlschranks Wirlpool ARC 1404/1/A+ bei $U=225V$

Beim Einschalten des Kühlgeräts tritt ein hoher Anfangsstoßstrom auf, der 10-20 mal größer als der später gemessene stationäre Strom ist. In Abbildung 6.32 wurde dieser Anfangsspitzenwert abgeschnitten, um den Restkurvenverlauf besser ersichtlicher zu machen. Sind andere Geräte eingeschaltet, kann der hohe Einschaltstoßstrom beobachtet werden (Flicker). Betrachtet man Wirkleistung (blau) und den aufgenommenen Strom (grün), so kann eine wesentliche Eigenschaft dieser Geräteklasse erkannt werden. Der aufgenommene Strom am Anfang des Kühlzyklus (Betrachtung ohne Einschaltstoßstrom) ist im Normalbetrieb etwa 20% höher als der aufgenommene Strom am Ende des Kühlzyklus. Während sich die beiden genannten Parameter stark ändern, sinkt die Blindleistung (rot) nur geringfügig.

Der kleine Peak vor dem tatsächlichen Beginn des Kühlzyklus resultiert vom Öffnen der Tür und damit zusammenhängendem Einschalten der Innenbeleuchtung.

Zur Bestimmung des Energieverbrauchs wurde das Lastprofil herangezogen. In dieser Arbeit wurde lediglich ein Schaltzyklus betrachtet und nach dem Schaltverhältnis auf 24h aufgerechnet. Der erhaltene Wert von $E_{24h}=0,531kWh$ ist der Angabe aus dem Datenblatt ($E_{24h}=0,48kWh$) ähnlich, die Messung kann als ausreichend betrachtet werden.

Erfolgt eine Versorgungsunterbrechung, so schaltet sich das Gerät aus, durch den isolierten Innenraum kann eine annehmbare Temperatur für eine Lagerzeit von ca. 10 Stunden gesichert werden. Bei längeren Ausfallzeiten kann der Kühlschrankinhalt nicht mehr hinreichend gekühlt werden, was zu einem Verderb der Lebensmittel führen kann.

Betrachtet man nun eine Veränderung der Versorgungsspannung, so ändern sich in erster Linie Leistungsaufnahme und Schaltzyklus. Die in Abbildung 6.32 gezeigte Leistungskennlinie verändert sich deutlich. Das Gerät versucht weiterhin die eingestellte

Lagertemperatur zu erreichen. Für die Spannungen 100V und 140V wurden Leistungskennlinien aufgenommen.

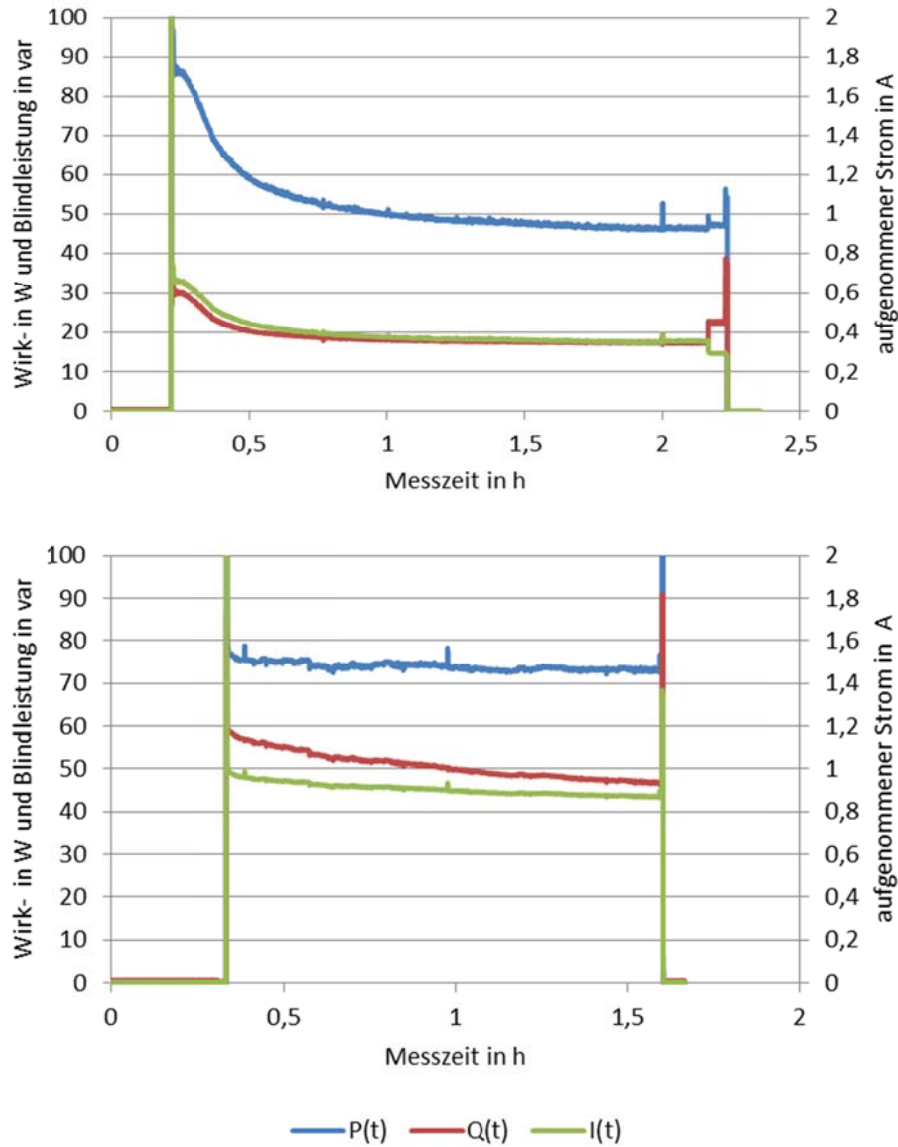


Abbildung 6.33: Leistungskennlinien des Kühlschranks Whirlpool ARC 1404/1/A+ bei einer Spannung von U=140V (oben) und U=100V (unten)

Die Anfangsstoßströme sind zwar vorhanden, erreichen aber nicht die Werte, welche bei Nennspannung vorhanden waren. Bei Wirkleistungsaufnahme und Strom sind bei einer Spannung von 140V noch Ähnlichkeiten mit Abbildung 6.32 zu erkennen, diese Eigenschaft geht bei einer Spannung von 100V verloren. Die elektrischen Parameter Strom und Leistung weisen höhere Werte als bei Netzspannung auf und die Einschaltdauer ist ebenfalls länger. Dies führt zu einem Energieverbrauch, der für einen untersuchten Schaltzyklus den doppelten Wert aufweisen kann. Die Definition eines Schaltzyklus bei verminderter Netzspannung wäre nur bei einer Langzeitmessung (24h) möglich, bei den untersuchten

Martin Schwingshackl, BSc. Seite 97

Messungen ergaben sich keine aussagekräftigen Werte für Ein- bzw. Ausschaltzeit. Zusammenfassend ist eine Funktion eines Kühlgerätes bei verminderter Spannung möglich, ein erhöhter Energieverbrauch ist jedoch gegeben.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Vielfalt an untersuchten Geräten zeigt unterschiedliches Verhalten beim Betrieb des Geräts mit Unterspannung. Ausschlaggebend für den Betrieb an Unterspannung sind die entscheidenden Bauteile, welche sensibel auf eine Änderung der Versorgungsspannung reagieren und eine Funktion zulassen oder nicht.

Abhängig von der Einteilung in die Geräteklassen zeigt Abbildung 7.1 in welchen Spannungsbereichen die Einzelgeräte der jeweiligen Klassen eine ausreichende oder normale Funktion aufweisen.

Im roten Bereich funktioniert kein, im grünen Bereich alle Verbraucher der untersuchten Geräteklassen. Im orangenen Bereich erfüllen bei steigender Versorgungsspannung immer mehr Geräte ihre normale Funktion, die Unterteilung des orangenen Bereiches zeigt jenen Spannungswert, bei dem etwa mindestens die Hälfte der untersuchten Einzelgeräte ihre normale Funktion erfüllen kann.

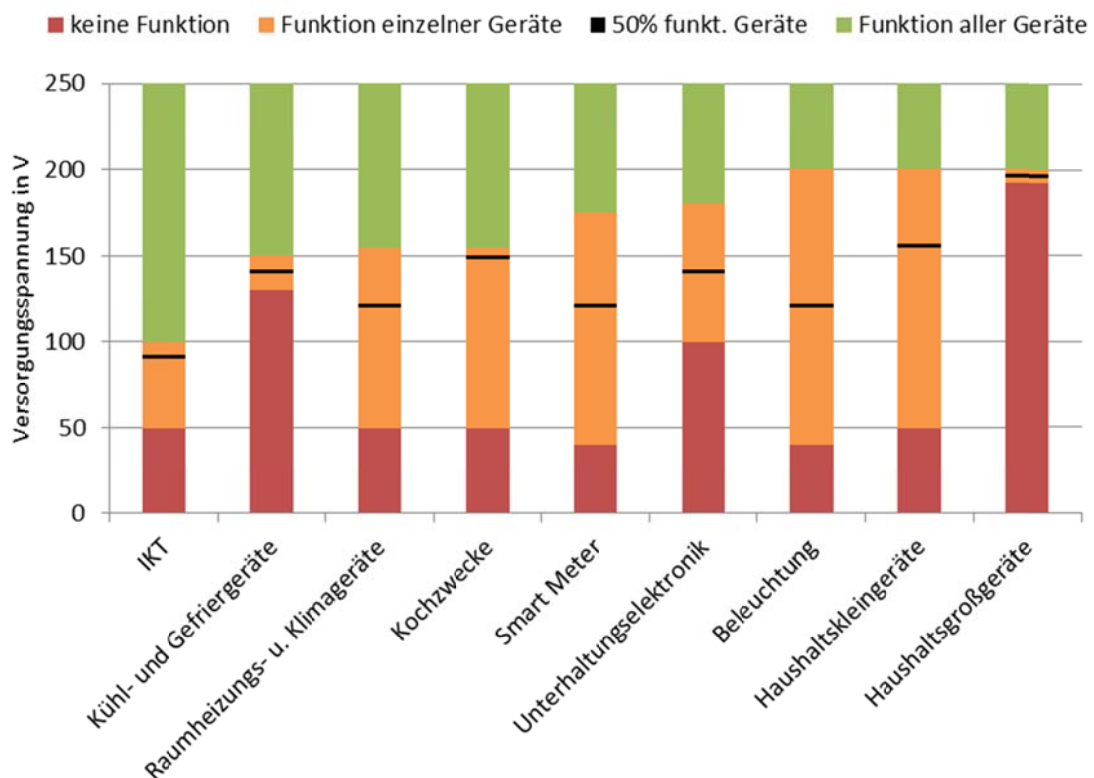


Abbildung 7.1: Funktionsbereiche der einzelnen Geräteklassen

Die Geräte der Unterklassen „IKT“ und „Smart Meter“ funktionieren auf Grund der Versorgung über Schaltnetzteile bzw. Gleichrichterschaltungen im Durchschnitt bereits bei geringen Spannungen. Die Verbraucher der Klasse „Unterhaltungselektronik“ werden zwar auch mit Netzteilen versorgt, diese werden normalerweise aber aus Kostengründen nicht auf

einen Weitbereichseingang der Spannung (100-240V) konstruiert. Die Schaltnetzteile haben am Weitbereichseingang für eine ansteigende Versorgungsspannung eine gleich bleibende Wirkleistungsaufnahme, bei steigender Blindleistungsaufnahme und sinkendem Laststrom. Teilweise werden auch Leuchten mit Netzeilen versorgt, dadurch funktionieren diese bereits bei niedrigen Spannungen. In Abbildung 7.1 sind aber alle Lampentypen, auch die Entladungslampen, im Balken Beleuchtung dargestellt, dadurch steigt die durchschnittliche Funktionsspannung dieser Geräteklasse. Die verringerte Funktion dieser Geräteklasse wird mit dem Erreichen von 20% der normierten Beleuchtungsstärke $e_v(U)$ angegeben. Die Geräte für Kochzwecke können teilweise schon bei geringen Spannungen betreiben werden, die elektronische Steuerung einzelner moderner Geräte schützt jedoch den Verbraucher vor einem Betrieb außerhalb eines definierten Spannungsbereichs. Interpretiert man die Messergebnisse für Geräte mit thermischem Hauptbestandteil, wie es teilweise in den Klassen „Kochzwecke“ und „Haushaltskleingeräte“ der Fall ist, nehmen diese bei anliegender Versorgungsspannung sofort einen Strom auf. Dieser Strom steigt proportional mit der Spannung, die aufgenommene Leistung steigt quadratisch dazu. Aufgrund geringerer verfügbarer Leistung verlängert sich die Betriebszeit des Verbrauchers, um auf das gleiche Ergebnis zu kommen. Höhere minimale Versorgungsspannungen haben jene Geräte, welche mit elektrischem Antrieb ausgestattet sind. Hier steigt mit zunehmender Belastung die Spannung, bei welcher das Gerät einen einwandfreien Betrieb durchführen kann. Dies ist darauf zurückzuschließen, dass für den Aufbau eines ausreichende Drehmoments eine geeignete Spannung am Gerät anliegen muss.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass verschiedene Geräte unterschiedlicher Geräteklassen in einem großen Spannungsbereich arbeiten können, die Erfüllung einer ordnungsgemäßen Funktion ist für den Großteil der Geräte ab einer Spannung von $U=150V$ möglich.

Für die praktische Anwendung dieser Erkenntnisse auf das Projekt „Smart Emergency-Innovative, dezentrale Notstromversorgung“ ist vor allem von der Funktion der Smart Meter abhängig, da diese der zentrale Baustein als Mess- und Schaltelemente sind. Funktionieren diese, kann erst weiter gedacht werden. Wichtig ist auch die Betrachtung der verwendeten elektronischen Steuerungen, welche bei modernen Geräten immer öfter vorhanden sind. Diese erkennen die zu geringe Spannung und verhindern den Betrieb des Gerätes.

Betrachtet man die Situation von der Verbraucherseite aus, bedeutet eine Versorgungsunterbrechung einen bedeutenden Einschnitt in den Alltag, denn eine Versorgung mit Elektrizität kann wegen ihrer Wichtigkeit und Durchdringung zur Grundversorgung gezählt werden. Deshalb ist es auch wichtig, bei der Versorgung mit reduzierter Versorgungsspannung die Wichtigkeit bzw. Relevanz des Benutzens einzelner Endverbraucher zu kennen. So muss der Kunde in der Zeit der Versorgungsunterbrechung einen Komfortverlust hinnehmen, sodass Verbraucher wie Haushaltsgroßgeräte sowie Geräte der Unterhaltungselektronik ausbleiben. Ein definiertes Maß an Gesundheit sowie Sicherheit soll aber bestmöglich gewährleistet werden. So ist eine Verwendung von Beleuchtung sowie Geräten zu Kochzwecken relevant, da der Versuch, dieses falls die

Möglichkeit vorhanden ist, mit Kerzen bzw. Feuer zu machen, die Gefahr eines Brandes erhöhen würde. Außerdem ist eine Aufrechterhaltung von Informations- und Kommunikationskanälen als wichtig anzusehen.

Durch immer neue Geräte, die auf den Markt kommen, sowie der Erforschung und Verwendung neuer Technologien, kann durch weitere Untersuchungen der Gerätepool dieser Arbeit immer wieder vervollständigt werden. Weiters kann durch die Messung relevanter Erwärmung der Elektronik durch erhöhte Stromaufnahme die Zerstörung oder Senkung der Lebensdauer der durch Netzteile versorgten Verbraucher verhindert werden.

8 Quellenverzeichnis

- [1] CENELEC, ÖVE/ÖNORM EN 50160 „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen“, Jänner 2005
- [2] VDE, DIN VDE 0100-520, „Errichten von Niederspannungsanlagen, Teil 5: Auswahl und Errichtung von elektrischen Betriebsmitteln, Kapitel 52: Kabel und Leitungsanlagen“, Juni 2003
- [3] Rüdiger Pascotta, Das RP-Energie Lexikon, Spannungshaltung, <http://www.energielexikon.info/spannungshaltung.html>, 27.08.2013
- [4] Johannes Reichl, Michael Schmidthaler „Blackouts in Österreich (BlackÖ.1), Teil I, Endbericht“, August 2011, S. 6 und S. 103
- [5] Sma Standards Association, „IEEE Std 1366™-2012: Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices“, Mai 2012
- [6] E-Control, „Ausfalls- und Störstatistik für Österreich, Ergebnisse 2012“, Juli 2013, S. 9f
- [7] Frontier Economics, „Kosten von Stromversorgungsunterbrechungen, RWE AG“, Juli 2008, S.17 und S.24
- [8] Markus Bliem, „Eine makroökonomische Bewertung zu den Kosten eines Stromausfalls im österreichischen Versorgungsnetz“, Institut für Höhere Studien Kärnten, Februar 2005
- [9] Christian Wakolbinger, „Smart Emergency- Innovative, dezentrale Notstromversorgung“, Dissertation, Institut für Elektrische Anlagen, TU Graz, 2013
- [10] Statistik Austria, „Strom- und Gastagebuch 2012, Strom und Gaseinsatz sowie Energieeffizienz österreichischer Haushalte, Auswertung Gerätebestand und –einsatz“, Projektbericht, Wien 2013
- [11] Statistik Austria, Direktion Raumwirtschaft, Energie „Modellierung des Stromverbrauchs in privaten Haushalten nach unterschiedlichen Verwendungszwecken“, Wien 2011
- [12] Stiftung Elektro-Altgeräte Register, http://www.stiftung-ear.de/service_und_aktuelles/fragen_und_antworten/elektro_und_elektronikgeraete/wie_lassen_sich_haushaltsgross_und_haushaltskleingeraete_voneinander_abgrenzen, 05. 08.2013
- [13] F. Böhme, Präsentation „Waschmaschinen im Spannungsfeld zwischen Beladungskapazität und Energieeffizienz“ an der Universität Bonn, 2008
- [14] Europäische Union, „Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1061/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltswaschmaschinen in Bezug auf den Energieverbrauch“, November 2010
- [15] Europäische Union, „Delegierte Verordnung (EU) Nr. 392/2012 der Kommission vom 01. März 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltswäschetrocknern in Bezug auf den Energieverbrauch“, Mai 2012

- [16] Europäische Union, „Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1059/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltsgeschirrspülern in Bezug auf den Energieverbrauch“, November 2010
- [17] Stefan Goßner, „Grundlagen der Elektronik, Halbleiter, Bauelemente und Schaltungen“, Shaker Verlag, 8. Ergänzte Auflage, Oktober 2011, ISBN-10: 3826588258
- [18] Klaus Krischan, Vorlesungsskript „Stromrichtertechnik“, Institut für Elektrische Maschinen und Antriebstechnik, TU Graz, 2012
- [19] ITwissen (Datacom Buchverlag GmbH), <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Konsumelektronik-consumer-electronics-CE.html>, 06.08.2013
- [20] Österreichische Energieagentur, „Outlook-Life Style 2030: Determinanten für den Stromverbrauch in österreichischen Haushalten“, 2012, S.93
- [21] Europäische Union, „Verordnung (EU) Nr. 1275/2008 der Kommission vom 17. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festigung der Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand“, Dezember 2008
- [22] Helmut Krcmar, „Informationsmanagement“, Springer Verlag, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin 2005, ISBN 3-540-23015-7
- [23] Christian Wakolbinger, „Abhängigkeit der Telekom-Infrastruktur von der öffentlichen Stromversorgung und Abhilfemaßnahmen“, Diplomarbeit, Institut für Elektrische Anlagen TU Graz, 2009
- [24] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, „Leitfaden für die Errichtung einer Notstromversorgung in Behörden und anderen wichtigen öffentlichen Einrichtungen“, Dezember 2005 (aktualisiert Juli 2008), S.6
- [25] Eaton Corporation, „USV- Handbuch, EMEA-Version“, 2011
- [26] Energie Graz, „Green Light Graz 2010, Energieeffiziente Straßenbeleuchtung“, 2011
- [27] Energie Graz, Prozentuelle Aufteilung der verwendeten Straßenbeleuchtungen der Stadt Graz, 11.03.2013
- [28] Europäische Union, „Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1060/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltskühlgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch“, November 2010
- [29] Kurt Rauschnabel, Vorlesungsunterlagen „Physik für Ingenieure: Kap. 5.6: Kreisprozesse“, Fakultät für Technik 1- Mechanik und Elektronik, Hochschule Heilbronn, Dezember 2006
- [30] Peter Bachl, Definitionen lineare Last und nicht-lineare Last, http://www.bachl.com/index.php?option=com_glossary&id=28644&Itemid=61, 31.08.2013

- [31] Helmut Alt, Hilfsblatt zur Vorlesung Elektrische Energieerzeugung und -verteilung „Verschiebungs- und Verzerrungsblindleistung“, Fachhochschule Aachen, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, 24.06.2010
- [32] CENELEC, ÖVE/ÖNORM EN 61000-3-2 „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)- Teil 3.2: Grenzwerte- Grenzwerte für Oberschwingungsströme“, Dezember 2006
- [33] Anatol Amon, „Analyse von Kundelastprofilen und automatische Zerlegung ins Gerätelastgänge“ Diplomarbeit, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, TU Wien, Oktober 2011
- [34] Markus Frerichs, emot- das Netzwerk für Elektrotechnik, 1-phasige Wechselstrommotoren, <http://www.emot.de/wissen/motor/kap4.htm>, 10.10.2013
- [35] IEEE Standards Association, „IEEE Std 1459TM-2010: IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions“, März 2010
- [36] Schneider Electric, „Berechnung von Kurzschlussströmen“, Technisches Heft Nr. 158, September 1999
- [37] G. Schenke, Hilfsblätter zur Vorlesung „Automatisierte Antriebe, Kap. 6: Elektrische Kleinantriebe“ an der FH Stralsund, März 2003, S. 65
- [38] B. Fuld, Vortrag an der TU Darmstadt „Oberschwingungsströme: EN 61000-3-2 & EN 61000-3-12: Ansätze zur Erfüllung der Anforderungen“, aktualisiert und ergänzt Mai 2010
- [39] Herwig Renner, Vorlesungsskript „Spannungsqualität und Versorgungssicherheit“, Institut für Elektrische Anlagen, TU Graz, 2012, S.106
- [40] Lothar Fickert, Christian Elbe, Thomas Mallits, „Messung des Eigenverbrauchs von Smart Metern“, Wissenschaftliches Gutachten, Institut für Elektrische Anlagen, TU Graz, Jänner 2012
- [41] Martin Weitzer, Erfahrungsbericht „Spannungsabsenkung bei Straßenbeleuchtungsanlagen“, 2005
- [42] Cariboni Lite, Levante Small Straßenoptik, <http://www.caribonilite.com/cariboni/codice.asp?Campo=02&Famiglia=0203&CodArt=06LV1B0008CHM3>, 23.10.2013
- [43] Philips WRTL, Mini Luma, <http://www.wrtl.co.uk/application-areas/road-and-highways/direct-lighting/mini-luma>, 23.10.2013
- [44] Canty New Lighting GmbH, Produktdatenblatt, <http://www.nbs-gmbh.de/produktinfos/CL-E27-27W%204000K.pdf>, 23.10.2013
- [45] Halogenkauf-Lightech GmbH, Strahler und Leuchtenserien mit Fortimo LED-Modulen, S.21, <http://www.fortimo.de/blaettern/page.pdf>, 23.10.2013
- [46] Christoph Zimmermann, Tridonic, E-Mail vom 12.03.2013

9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

9.1 Abbildungen

Abbildung 3.1: erlaubtes Spannungsband nach EN 50160 und DIN VDE 0100-520	14
Abbildung 3.2: Kosten durch Versorgungsunterbrechung [7].....	18
Abbildung 3.3: Struktur des Netzes für eine Versorgung im Normal- bzw. Notbetrieb [9].....	20
Abbildung 3.4: mögliche Szenarien des Spannungsverlaufs bei Notstromversorgung und Netzwiederaufbau [9]	21
Abbildung 4.1: Verteilung des Jahresstromverbrauchs 2008 und 2012 auf die Verbrauchergruppen [10].....	23
Abbildung 4.2: Lastprofil der Waschmaschine Elektrolux WE 50 bei einem Waschprogramm für Normalwäsche bei 40° (oben) und Lastprofil der Waschmaschine Bauknecht WAP 6460-1 bei einem Waschprogramm für Feinwäsche bei 40° (unten).....	27
Abbildung 4.3: Lastprofil des Wäschetrockners Wirlpool AZB 6070 bei Netzspannung von U=230V und einem 40° Trocknungsprogramm.....	28
Abbildung 4.4: Lastprofil der Spülmaschine Bauknecht GSFS 5321 bei einem 30° Reinigungsprogramm	29
Abbildung 4.5: Ausstattungsgrad an Haushaltskleingeräten in den Jahren 2008 und 2012 [10]	30
Abbildung 4.6: Schematischer Aufbau eines Einweggleichrichters mit Glättungskondensator (links) und Verlauf der Kondensatorspannung (rechts) [17].....	31
Abbildung 4.7: Schematischer Aufbau eines Vollweg-(Brücken)gleichrichters mit Glättungskondensator (oben) und Verlauf der Kondensatorspannung (unten) [17]	31
Abbildung 4.8: Lampentypen in österreichischen Haushalten 2008 (links) und 2012 (rechts)	36
Abbildung 4.9: Aufteilung der Arten der Straßenbeleuchtung der Stadt Graz, 2013 [27].....	37
Abbildung 4.10: Ausstattungsgrad mit Kühl- und Klimageräten sowie Zusatzheizgeräten in den Jahren 2008 und 2012 [10]	39
Abbildung 4.11: Quasi periodisches Verhalten einer Filterkaffeemaschine Braun 3083/ KF 22 bei U=222,0V	41
Abbildung 5.1: Messkonzept für leistungsschwache Verbraucher	43
Abbildung 5.2: Fehlerarten im elektrischen Netz und Berechnung des dazugehörigen Fehlerstromes mit „Impedanzen“-Methode [36]	51
Abbildung 5.3: Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Reihenschlussmotors [34]	54
Abbildung 6.1: Einzelne Teilfunktionen der Haushaltsgroßgeräte	60
Abbildung 6.2: Einteilung der Spannung in Bereiche in Abhängigkeit der Drehbewegung von Haushalts-Kleingeräten mit rotierendem Bauteil.....	62

Abbildung 6.3: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Staubsaugers Nilfisk Coupé Parquet (minimale Leistungsstufe), *g.D.= geringe Drehbewegung.	63
Abbildung 6.4: Leistungskennlinien bei unterschiedlichen Versorgungsspannungen beim Wasserkocher Swan-Elegance	64
Abbildung 6.5: Funktion der Ladegeräte im Spannungsbereich 0-250V	67
Abbildung 6.6: Verhalten des aufgenommenen Stromes des Bildschirms FlexScan L365 bei sich verändernder Versorgungsspannung, *S-b= Stand-by.....	69
Abbildung 6.7: Veränderung der normierten elektrischen Parameter beim Bildschirm Samsung SyncMaster P2250.....	70
Abbildung 6.8: Verlauf von Ausgangsstrom und -spannung und bei der Line Interactive USV FSP EP 1000 bei einer Belastung mit einer 200W Glühbirne.....	71
Abbildung 6.9:Verlauf von Eingangs- (links) und Ausgangsparametern (rechts) bei der Versorgung einer 200W Glühlampe über USV im Netzbetrieb mit Unterspannungskorrektur.....	72
Abbildung 6.10: Verlauf von Eingangs- (links) und Ausgangsparametern (rechts) bei der Versorgung einer 200W Glühlampe über USV im Netzbetrieb	72
Abbildung 6.11. Verlauf von Eingangs- (links) und Ausgangsparametern (rechts) bei der Versorgung einer 200W Glühlampe über USV im Netzbetrieb mit Überspannungskorrektur.....	73
Abbildung 6.12: Verlauf von Eingangsstrom und -spannung und bei der Line Interactive USV FSP EP 1000 ohne Belastung	73
Abbildung 6.13: Betriebsarten von Line Interactive USV abhängig von der Versorgungsspannung	74
Abbildung 6.14: Verlauf des aufgenommenen Stromes verschiedener 1-Phasen Smart Meter	76
Abbildung 6.15: verschiedene Stromaufnahme in den einzelnen Phasen des 3-Phasen Smart Meters Siemens AMIS TD 3511 bei Nennspannung	76
Abbildung 6.16: Funktion der untersuchten Smart Meter bei Unterspannung.....	77
Abbildung 6.17: Verläufe der normierten Kennlinien des 1-phasen Smart Meters Echelon 83331-1 VAD.....	80
Abbildung 6.18: Verhalten der elektrischen Parameter bei einer 15W Glühbirne	82
Abbildung 6.19: Strom- und Spannungsverläufe bei einer 15W Glühlampe bei U=100,1V (links) und U=231,4V (rechts)	82
Abbildung 6.20: Strom- und Spannungsverläufe bei der Leuchtstoffröhre Osram Lumilux L18 bei U=183,9V (links) und U=230,5V (rechts)	83
Abbildung 6.21: Strom- und Spannungsverläufe bei der Energiesparlampe BaseTech-11W bei U=139,4V (links) und U=229,1V (rechts)	83
Abbildung 6.22: LED-Außenleuchten	85
Abbildung 6.23: Kennlinien für die normierten Werte von Wirk- und Blindleistung, Strom und Beleuchtungsstärke am Beispiel der Cariboni Levante Small.....	87
Abbildung 6.24: Funktionsbereiche von LED-Außenleuchten	88

Abbildung 6.25: Quadratischer Zusammenhang zwischen Strom (grün) und Wirkleistungsaufnahme (blau) der Einzelkochplatte Silva-Homeline 2107 ..	89
Abbildung 6.26: Stromaufnahme der Kochplatte Silva-Homeline 2107 mit $U=216,8V$ (links) und des Wasserkochers Siemens TW 60103 Executive Edition bei $U=212,2V$ (rechts)	90
Abbildung 6.27: Funktionalität der Verbraucher der Geräteklasse „Kochzwecke“	91
Abbildung 6.28: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ventilators Honeywell KAZ HAT-112E bei Geschwindigkeitsstufe 2	92
Abbildung 6.29: Verlauf Wirkleistungsaufnahme in Abhängigkeit von Geschwindigkeitsstufe und Versorgungsspannung im Bereich des Rotationsbeginns des Ventilators Honeywell KAZ-HAT-112E	93
Abbildung 6.30: Steigende harmonische Verzerrung bei sinkendem Laststrom der Klimaanlage DeLonghi AriGel AG70	94
Abbildung 6.31: Funktionsbereiche der Geräteklasse „Raumheizungs- und Klimageräte“ ...	95
Abbildung 6.32: Leistungskennlinie des Kühlschranks Wirlpool ARC 1404/1/A+ bei $U=225V$	96
Abbildung 6.33: Leistungskennlinien des Kühlschranks Wirlpool ARC 1404/1/A+ bei einer Spannung von $U=140V$ (oben) und $U=100V$ (unten)	97
Abbildung 7.1: Funktionsbereiche der einzelnen Geräteklassen	99
Abbildung 10.1: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Staubsaugers Nilfisk Coupé Parquet bei minimal- (oben) und maximal (unten) einstellbarer Leistungsstufe	115
Abbildung 10.2: Verläufe der normierten elektrischen Parameter Haartrockners Voyager Twist 1400 bei Stufe 1 (oben) und Stufe 2 (unten)	116
Abbildung 10.3: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Bohrmaschine AEG BSM 550E	117
Abbildung 10.4: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Handmixers Philips Axedi AB bei Leistungsstufe 1 (oben) und Leistungsstufe 2 (unten)	118
Abbildung 10.5: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Dunstabzugshaube Neff Typ D-Ay21 bei Stufe 1 (oben) und bei Stufe 2 (unten)	119
Abbildung 10.6: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Wasserkochers Siemens TW 60103 Executive Edition	120
Abbildung 10.7: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Wasserkochers Swan Elegance	121
Abbildung 10.8: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Kaffeeautomaten Nespresso DeLonghi Essenza	122
Abbildung 10.9: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für die Kaffeezubereitung des Kaffeevollautomaten Philips SAECO Syntia	123
Abbildung 10.10: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Mikrowelle LG Intellowave	124
Abbildung 10.11: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Ladestation Oral-B Type 3757 mini	125

Abbildung 10.12: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ladegeräts für den Haartrimmer Babyliss E702YTE	126
Abbildung 10.13: Verläufe der normierten Parameter des AC Adapters Modell ADP-0932	127
Abbildung 10.14: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ladegeräts Nokia AC-3E	128
Abbildung 10.15: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Röhrenfernsehers SEG Premium MERANO-S	129
Abbildung 10.16: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Stereoanlage Universum Micro-Anlage VTC-CD130 bei minimaler- (links) und maximaler Lautstärkeinstellung (rechts)	130
Abbildung 10.17: Verläufe der normierten elektrischen Parameter eines PC mit Computer Schaltnetzteil Enermax Pro 82+	131
Abbildung 10.18: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Bildschirms EIZO FlexScan L885	132
Abbildung 10.19: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Bildschirms EIZO FlexScan L365	133
Abbildung 10.20: Verlauf der normierten elektrischen Parameter für den Bildschirm Samsung Sync Master P2250	134
Abbildung 10.21: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für den 1-Phasen Smart Meter Siemens AMIS TD-3512	135
Abbildung 10.22: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Kamstrup 162-L	136
Abbildung 10.23: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Itron ACE 4000 GSS	137
Abbildung 10.24: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Echelon 833331-1/VAD	138
Abbildung 10.25: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Landys+Gyr ZCF120	139
Abbildung 10.26: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Easymeter DIEHL Q3D	140
Abbildung 10.27: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Siemens AMIS TD-3511	141
Abbildung 10.28: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Kamstrup 382-L	142
Abbildung 10.29: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Iskra MT851	143
Abbildung 10.30: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter UHER TD MZ 15	144
Abbildung 10.31: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Itron ACE 4000 PLC	145
Abbildung 10.32: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Echelon 833331-3/VAD	146

Abbildung 10.33: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für den Datenkonzentrator Siemens AMIS CP 3410	147
Abbildung 10.34: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Glühlampe Elix 200W	148
Abbildung 10.35: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Glühlampe Philips 8M, 75W	149
Abbildung 10.36: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Glühlampe Tugstram 15W	150
Abbildung 10.37: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Halogenstiftlampe, 12V-20W	151
Abbildung 10.38: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Halogenstrahlers BAB+C, 12V, 20W.....	152
Abbildung 10.39: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Osram DuluxStar 17.....	153
Abbildung 10.40: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Osram DuluxStar 11.....	154
Abbildung 10.41: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Philips Tornado E-Saver 8	155
Abbildung 10.42: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Philips Genie 11	156
Abbildung 10.43: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Kompaktleuchtstofflampe TC-SEL 2G7	157
Abbildung 10.44: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Kompaktleuchtstofflampe Philips SL*9	158
Abbildung 10.45: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Leuchtstoffröhre Osram lumilux L18	159
Abbildung 10.46: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Leuchtstoffröhre Osram Cool White L18.....	160
Abbildung 10.47: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der LED 7E27, A60-1 ..	161
Abbildung 10.48: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Stiftleuchte LED Paulmann 1W.....	162
Abbildung 10.49: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der LED-Dekokette LED-Driver, a= Leuchte ausgeschaltet.....	163
Abbildung 10.50: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Außenleuchte NBS 27W	164
Abbildung 10.51: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Außenleuchte Philips Indal Luma mini.....	165
Abbildung 10.52: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Außenleuchte Cariboni Levante-Small	166
Abbildung 10.53: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Kochfelds Silva-Homeline	167

Abbildung 10.54: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Induktionskochfeldes CASO Basic 2002	168
Abbildung 10.55: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Induktionskochfeldes Mia Modell no. ikp221	169
Abbildung 10.56: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Heizlüfters Hellner Typ HL 585 am Beispiel der Stufe 1	170
Abbildung 10.57: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Halogen Heizstrahler Jasun JSNB-1204	171
Abbildung 10.58: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Klimaanlage Arigel AG 70, *= geringe Funktion	172
Abbildung 10.59: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ventilators Honeywell kaz-HT112E am Beispiel der Geschwindigkeitsstufe 2.....	173

9.2 Tabellen

Tabelle 3.1: Werte der Indikatoren über Versorgungssicherheit in Österreich 2012 [6]	17
Tabelle 4.1: Daten der einzelnen Bauteile des Kondenstroockners Wirlpool AZB 6070	26
Tabelle 6.1: Verhalten einzelner Geräteklassen bei Spannungswiederkehr	57
Tabelle 6.2: Untersuchte Verbraucher der Geräteklasse „Haushaltsgroßgeräte“	58
Tabelle 6.3: Im Labor gemessene Haushaltskleingeräte.....	60
Tabelle 6.4: Daten der im Labor untersuchten Ladegeräte	66
Tabelle 6.5: Im Labor untersuchte Geräte der Unterhaltungselektronik	67
Tabelle 6.6: Im Labor untersuchte Geräte der IKT	68
Tabelle 6.7: Daten der im Labor vorhandenen Line Interactive USV-Anlagen	70
Tabelle 6.8: Effektivmesswerte zu den oben abgebildeten Strom- und Spannungsverläufe des USV FSP EP 1000 je Betriebsart	74
Tabelle 6.9: Daten der untersuchten Smart Meter, (*= Angaben beziehen sich auf eine Phase, k.A.= keine Angaben in den Datenblättern).....	75
Tabelle 6.10: Mittelwerte aus den Langzeitmessung der Smart Meter, unbelastet	79
Tabelle 6.11: Untersuchte Verbraucher der Geräteunterklasse „Innenbeleuchtung“	81
Tabelle 6.12: Daten der untersuchten LED- Außenleuchten	85
Tabelle 6.13: im Labor untersuchte Geräte der Klasse „Kochzwecke“	88
Tabelle 6.14: untersuchte Geräte der Geräteklasse „Raumheizungs- und Klimageräte“	91
Tabelle 10.1: Messwerte aus der Leistungsmessung des Staubsaugers Nilfisk Coupé Parquet.....	115
Tabelle 10.2: Messwerte aus der Leistungsmessung des Haartrockners Voyager Twist 1400	116
Tabelle 10.3: Messwerte aus der Leistungsmessung der Bohrmaschine AEG BSM 550E.	117
Tabelle 10.4: Messwerte aus der Leistungsmessung des Handmixers Philips Axedi AB ...	118
Tabelle 10.5: Messwerte aus der Leistungsmessung der Dunstabzugshaube Neff Typ D- Ay21	119

Tabelle 10.6: Messwerte der Leistungsmessung des Wasserkochers Siemens TW 60103 Executive Edition	120
Tabelle 10.7: Messwerte der Leistungsmessung des Wasserkochers Swan Elegance	121
Tabelle 10.8: Messwerte der Leistungsmessung des Kaffeeautomaten Nespresso DeLonghi Essenza	122
Tabelle 10.9: Messwerte der Leistungsmessung des Kaffeevollautomaten Philips SAECO Syntia	123
Tabelle 10.10: Messwerte der Leistungsmessung der Mikrowelle LG Intellowave	124
Tabelle 10.11: Messwerte aus der Leistungsmessung der Ladestation Oral-B Type 3757 mini	125
Tabelle 10.12: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ladegeräts für den Haartrimmer Babyliss E702YTE	126
Tabelle 10.13: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ladegeräts AC Adapter Modell ADP-0932	127
Tabelle 10.14: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ladegeräts Nokia AC-3E	128
Tabelle 10.15: Messwerte der Leistungsmessung des Röhrenfernsehers SEG Premium MERANO-S	129
Tabelle 10.16: Messwerte aus der Leistungsmessung der Stereoanlage Universum Micro- Anlage VTC-CD130	130
Tabelle 10.17: Messwerte aus der Leistungsmessung einer Momentaufnahme eines PC mit Computer Schaltnetzteil Enermax Pro 82+	131
Tabelle 10.18: Messwerte aus der Leistungsmessung des Bildschirms EIZO FlexScan L885	132
Tabelle 10.19: Messwerte aus der Leistungsmessung des Bildschirms EIZO FlexScan L365	133
Tabelle 10.20: Messwerte aus der Leistungsmessung des Bildschirms Samsung Sync Master P2250	134
Tabelle 10.21: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Siemens AMIS TD-3512	135
Tabelle 10.22: Messwerte aus der Shunt-Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Kamstrup 162-L	136
Tabelle 10.23: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Itron ACE 4000 GSS	137
Tabelle 10.24: Messwerte aus der Shunt-Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Echelon 833331-1/VAD	138
Tabelle 10.25: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Landys+Gyr ZCF120	139
Tabelle 10.26: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Easymeter DIEHL Q3D	140
Tabelle 10.27: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Siemens AMIS TD-3511	141

Tabelle 10.28: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Kamstrup 382-L	142
Tabelle 10.29: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Iskra MT851	143
Tabelle 10.30: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät UHER TD MZ 15.....	144
Tabelle 10.31: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Itron ACE 4000 PLC	145
Tabelle 10.32: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Echelon 833331-3/VAD	146
Tabelle 10.33: Messwerte aus der Leistungsmessung für den Datenkonzentrator Siemens AMIS CP 3410.....	147
Tabelle 10.34: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Glühlampe Elix 200W	148
Tabelle 10.35: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Glühlampe Philips 8M, 75W	149
Tabelle 10.36: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Glühlampe Tugstram 15W.....	150
Tabelle 10.37: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung einer Halogenstiftlampe 12V, 20W	151
Tabelle 10.38: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung des Halogenstrahlers BAB+C, 12V, 20W.....	152
Tabelle 10.39: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe DuluxStar 17.....	153
Tabelle 10.40: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe DuluxStar 11.....	154
Tabelle 10.41: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe Philips Tornado E-Saver 8	155
Tabelle 10.42: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe Philips Genie 11	156
Tabelle 10.43: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Kompaktleuchtstofflampe TC-SEL 2G7.....	157
Tabelle 10.44: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Kompaktleuchtstofflampe Philips SL*9.....	158
Tabelle 10.45: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Leuchtstoffröhre Osram lumilux L18.....	159
Tabelle 10.46: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Leuchtstoffröhre Osram Cool White L18	160
Tabelle 10.47: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der LED 7E27 A60-1.....	161
Tabelle 10.48: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der LED- Stiftleuchte Paulmann 1W	162

Tabelle 10.49: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der LED-Dekokette LED-Driver.....	163
Tabelle 10.50: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Außenleuchte NBS 27W.....	164
Tabelle 10.51: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Außenleuchte Philips Indal Luma mini	165
Tabelle 10.52: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Außenleuchte Cariboni-Levante Small	166
Tabelle 10.53: Messwerte aus der Leistungsmessung des Kochfelds Silva-Homeline.....	167
Tabelle 10.54: Messwerte aus der Leistungsmessung des Induktionskochfeldes CASO Basic 2002.....	168
Tabelle 10.55: Messwerte aus der Leistungsmessung des Induktionskochfeldes Mia Modell no. ikp221	169
Tabelle 10.56: Messwerte aus der Leistungsmessung des Heizlüfters Hellner Typ HL 585170	
Tabelle 10.57: Messwerte aus der Leistungsmessung des Halogen Heizstrahlers Jasun JSNB-120Y4.....	171
Tabelle 10.58: Messwerte aus der Leistungsmessung der Klimaanlage Arigel AG 70	172
Tabelle 10.59: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ventilators Heneywell kaz HT-112E	173

10 Anhang: Messergebnisse aus den Leistungsmessungen und normierte Kennlinien

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse der untersuchten Einzelgeräte, geordnet nach Geräteklassen aufgelistet. Zusätzlich werden für die, auf Netzspannung normierten Werten für Wirk- und Blindleistung und aufgenommenen Strom für alle Verbraucher, sowie die Werte für die Beleuchtungsstärke bei Leuchten (normierte elektrische Parameter) als spannungsabhängige Kennlinien dargestellt. Die in den Kennlinien auf Grund von Platzmangel angegebenen Abkürzungen haben folgende Bedeutungen:

- *** = Spannungsreduktion nach erstem Einschalten möglich:** In diesem Bereich muss der Verbraucher vorher mindestens eine gering Funktion aufweisen, dann ist eine Verringerung der Versorgungsspannung ohne kompletten Ausfall des Verbrauches möglich.
- **a = Leuchte aus:** Die Leuchte kann zwar einen Strom aus dem Netz ziehen, gibt aber zu keine Zeitpunkt Licht ab
- **a.D. = ausreichende Drehbewegung:** Die Drehbewegung des rotierende Bauteils erlaubt die ordnungsgemäße Funktion des Verbrauchers
- **E = Fehlermeldung:** Das Gerät funktioniert auf Grund einer Fehlermeldung nicht mehr bzw. führt keine weiteren Aktionen aus
- **g.D. = geringe Drehbewegung:** Eine Rotation des elektrischen Antriebs ist feststellbar, diese reicht aber nicht aus, um die ordnungsgemäße Funktion des Endverbrauchers zu gewährleisten.
- **g.F. = geringe Funktion:** Ein Funktion des Gerätes ist möglich, jedoch reicht diese nicht aus, um die vom Benutzer gewünschte Handlung durchzuführen
- **k.F. = keine Funktion:** nach Außen keine Funktion des Verbrauchers feststellbar, auch wenn aus dem Netz Strom bezogen wird.
- **k.s.F. = keine sinnvolle Funktion:** Es wird ein Strom aus dem Netz gezogen, teilweise Funktionen können vom Gerät erfüllt werden, jedoch der Betrieb des Verbrauchers erlaubt unter gegebenen Bedingungen in den Augen des Benutzers keine sinnvolle Funktion.
- **LV = Low Voltage:** Das Gerät zeigt eine Fehler wegen zu geringer Spannung an.
- **v.F. = verringerte Funktion:** tritt bei Geräten der Klasse „Schaltnetzteile und Gleichrichter auf“. Teilweise kann die Gleichspannung an den Ausgang gelegt werden, diese kann am Ausgang aber nicht stabil gehalten werden.
- **W = Wartung:** Auf dem Display des Geräts wird die Notwendigkeit einer Wartung oder Kontrolle angezeigt.

Für die untersuchten Leuchten erfolgt die Unterteilung der Funktionsbereiche abhängig von der Beleuchtungsstärke. Normierte Beleuchtungsstärken $e_v < 20\%$ zeigen eine schwache Beleuchtung, Beleuchtungsstärken $e_v < 80\%$ verringerte Beleuchtung.

Tabelle 10.1: Messwerte aus der Leistungsmessung des Staubsaugers Nilfisk Coupé Parquet

Staubsauger Nilfisk Coupé Parquet							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	var	VA	A	-	%	%
minimale Leistung							
99,7	22,6	118,8	120,9	1,208	0,187	87,6	65,9
138,0	71,4	225,5	236,5	1,716	0,302	90,9	67,2
177,2	137,6	374,3	398,8	2,252	0,345	91,6	67,5
225,2	259,3	643,5	693,8	3,080	0,374	94,7	68,7
248,6	319,5	797,3	859,0	3,454	0,372	93,8	68,4
maximale Leistung							
95,7	285,3	70,0	293,7	3,066	0,971	15,0	14,8
132,6	507,0	108,0	518,4	3,906	0,978	15,2	15,0
169,9	799,0	158,1	814,5	4,796	0,981	16,3	16,1
214,3	1184,0	215,8	1203,5	5,618	0,984	15,6	15,4
237,7	1203,2	570,9	1329,1	5,598	0,905	33,9	32,1

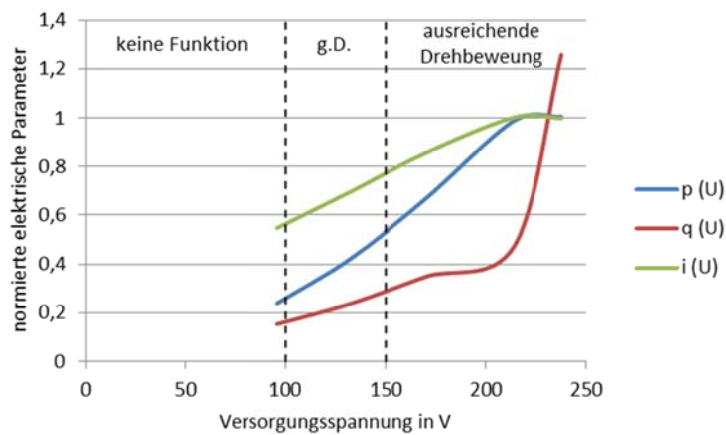
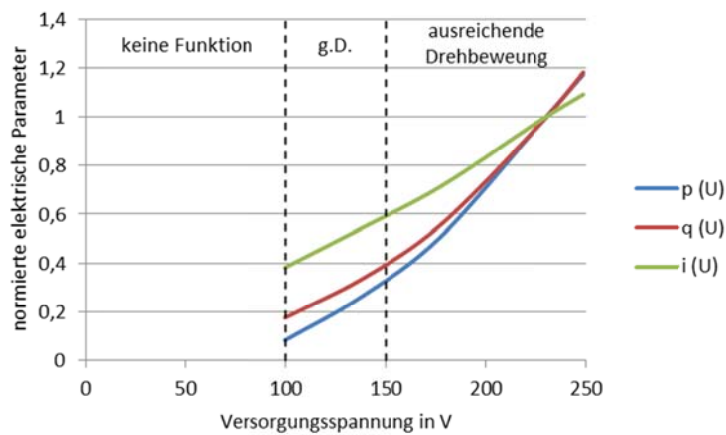


Abbildung 10.1: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Staubsaugers Nilfisk Coupé Parquet bei minimal- (oben) und maximal (unten) einstellbarer Leistungsstufe

Tabelle 10.2: Messwerte aus der Leistungsmessung des Haartrockners Voyager Twist 1400

Haartrockner Voyager Twist 1400								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
Stufe 1								
50,0	25,6	11,9	28,3	0,565	0,986	0,905	45,4	41,3
99,4	101,6	46,7	111,8	1,125	1,150	0,909	44,4	40,6
138,2	195,6	90,0	215,3	1,564	1,574	0,908	43,9	40,2
176,0	317,6	147,5	349,8	1,989	-	0,908	43,8	20,1
224,1	511,2	239,1	564,4	2,517	2,575	0,906	43,0	39,5
243,7	807,5	284,8	870,9	2,752	2,796	0,927	43,4	39,8
Stufe2								
49,0	59,3	2,6	59,3	1,209	1,233	1,000	3,0	3,0
96,6	230,3	11,5	230,6	2,367	2,412	0,999	2,4	2,4
134,3	445,7	21,8	446,3	3,323	3,385	0,999	2,4	2,4
171,8	728,2	35,1	729,1	4,245	4,304	0,999	2,2	2,2
216,0	1144,4	54,5	1145,7	5,312	5,446	0,999	2,4	2,4
235,6	1362,3	52,3	1364,3	5,791	5,902	0,999	2,6	2,6

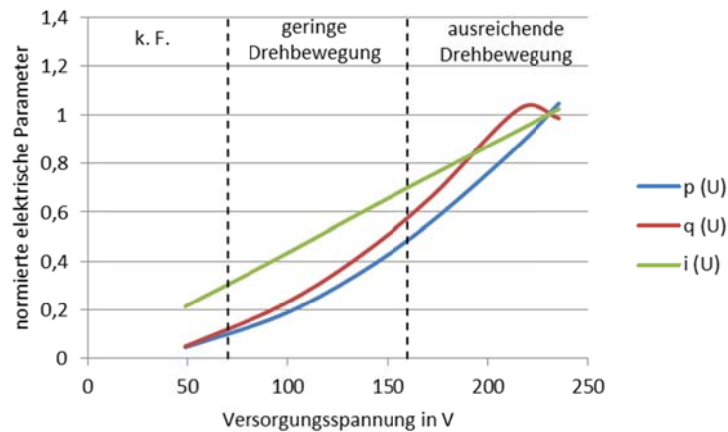
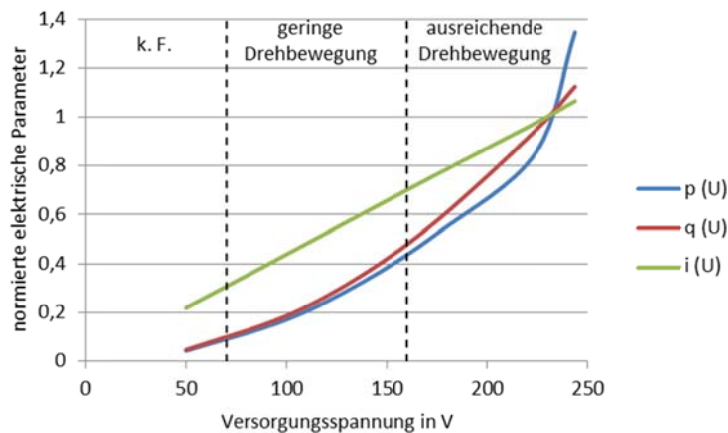


Abbildung 10.2: Verläufe der normierten elektrischen Parameter Haartrockners Voyager Twist 1400 bei Stufe 1 (oben) und Stufe 2 (unten)

Tabelle 10.3: Messwerte aus der Leistungsmessung der Bohrmaschine AEG BSM 550E

Bohrmaschine AEG BSM 550E								
U	P	Q	S	I	I_{max}	λ	THD _i	k_i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
43,9	12,3	20,3	23,7	0,463	-	0,519	9,3	9,2
99,9	62,6	21,7	66,2	0,665	-	0,946	12,3	12,2
139,0	105,1	27,7	108,8	0,783	3,564	0,966	15,3	15,1
177,1	147,8	33,9	151,7	0,858	3,502	0,974	17,5	17,2
226,5	226,1	55,2	233,1	1,029	3,922	0,970	21,6	21,3

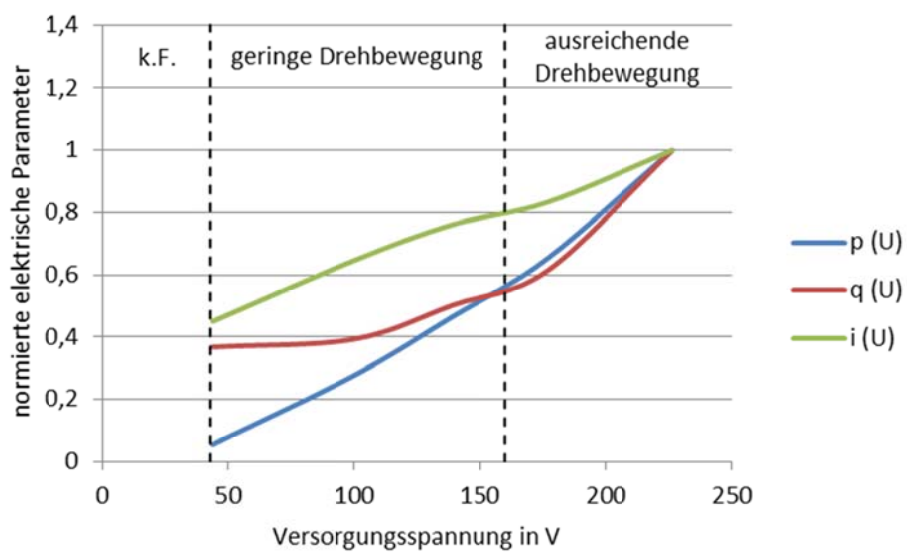


Abbildung 10.3: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Bohrmaschine AEG BSM 550E

Tabelle 10.4: Messwerte aus der Leistungsmessung des Handmixers Philips Axedi AB

Handmixer Philips Axedi AB								
U	P	Q	S	I	I_{max}	λ	THD _i	k_i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
Stufe 1								
57,0	6,7	5,4	10,3	0,180	-	0,650	37,8	35,1
100,3	14,8	7,0	16,4	0,163	0,257	0,902	45,1	40,9
139,8	21,1	10,2	23,4	0,170	0,318	0,902	47,7	43,0
179,0	26,8	13,4	30,0	0,167	0,392	0,893	47,6	42,7
229,6	37,4	19,2	42,0	0,183	0,596	0,890	48,9	43,6
Stufe 2								
57,0	13,2	6,2	15,5	0,273	-	0,852	7,5	7,4
100,1	22,0	2,7	22,2	0,221	0,434	0,991	7,2	7,2
138,5	30,5	2,5	30,6	0,221	0,496	0,997	3,7	3,7
179,3	38,7	4,4	38,9	0,217	0,684	0,995	4,0	3,9
228,2	55,6	7,3	56,1	0,245	0,986	0,991	4,4	4,4

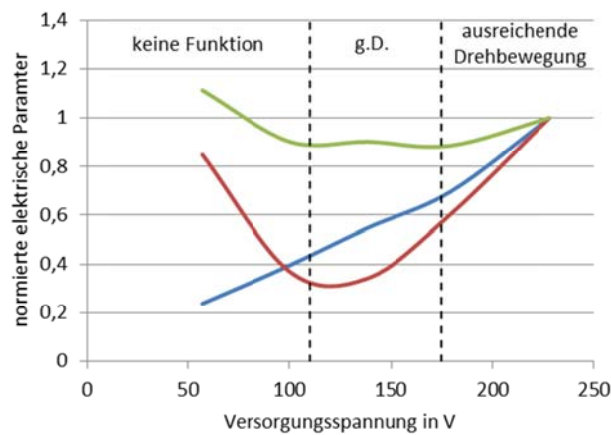
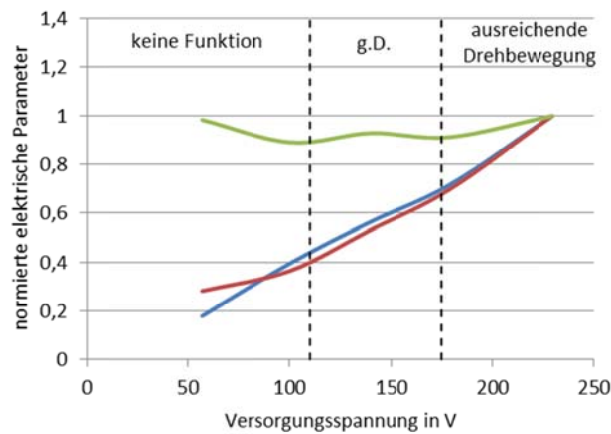


Abbildung 10.4: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Handmixers Philips Axedi AB bei Leistungsstufe 1 (oben) und Leistungsstufe 2 (unten)

Tabelle 10.5: Messwerte aus der Leistungsmessung der Dunstabzugshaube Neff Typ D-Ay21

Dunstabzugshaube Neff Typ D-Ay21								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
Stufe 1								
139,2	18,4	19,7	27,1	0,195	-	0,689	11,4	11,4
178,8	32,9	38,8	49,4	0,276	0,280	0,672	13,1	13,1
228,9	62,2	71,1	95,0	0,418	0,443	0,663	14,9	14,7
Stufe2								
138,8	27,4	31,6	41,8	0,301	-	0,661	12,9	12,7
178,5	50,0	58,6	78,8	0,430	0,453	0,656	14,5	14,4
227,8	90,6	106,5	140,0	0,613	0,780	0,655	15,7	15,5
Licht								
178,9	20,2	1,5	20,3	0,113	0,121	0,997	1,8	1,7
229,1	29,4	2,3	29,5	0,129	0,144	0,997	2,1	2,0

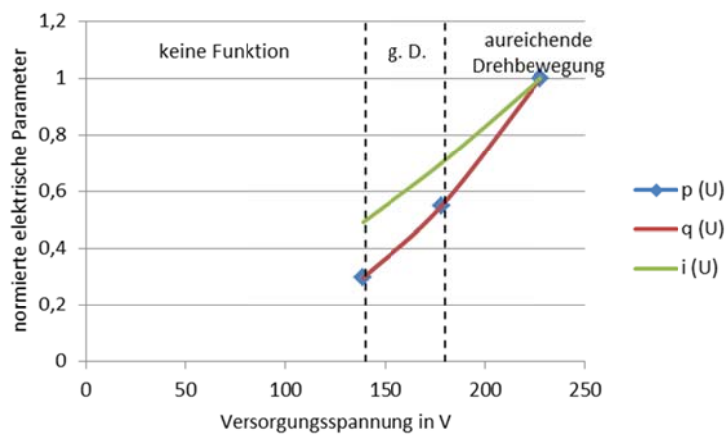
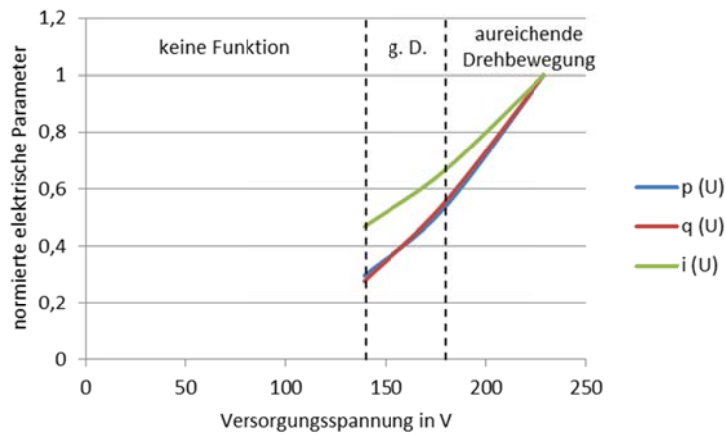


Abbildung 10.5: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Dunstabzugshaube Neff Typ D-Ay21 bei Stufe 1 (oben) und bei Stufe 2 (unten)

Tabelle 10.6: Messwerte der Leistungsmessung des Wasserkochers Siemens TW 60103 Executive Edition

Wasserkocher Siemens TW 60103 Executive Edition							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	var	VA	A	-	%	%
48,0	91,9	4,0	92,0	1,915	0,999	2,78	2,78
95,7	364,8	15,0	365,1	3,815	0,999	2,49	2,49
131,1	681,8	27,3	682,3	5,206	0,999	2,06	2,06
169,7	1108,2	54,7	1109,6	6,538	0,999	3,92	3,91
187,8	1283,2	103,2	1287,4	6,858	0,999	7,52	7,49
211,8	1501,8	176,2	1512,1	7,141	0,999	11,83	11,75
225,4	1617,7	226,0	1633,4	7,248	0,999	13,42	13,30

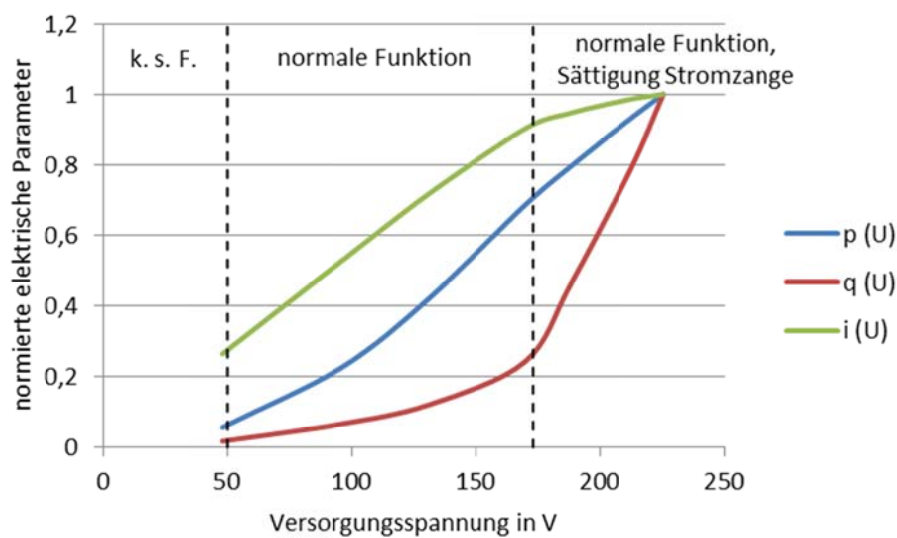


Abbildung 10.6: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Wasserkochers Siemens TW 60103 Executive Edition

Tabelle 10.7: Messwerte der Leistungsmessung des Wasserkochers Swan Elegance

Wasserkocher Swan Elegance							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	var	VA	A	-	%	%
96,0	331,0	30,9	332,9	3,463	0,995	1,86	1,86
133,5	636,2	57,8	638,8	4,794	0,996	1,58	1,58
167,9	1002,0	90,9	1006,1	5,979	0,996	1,69	1,69
210,2	1386,1	163,0	1295,7	6,654	0,997	8,93	8,90

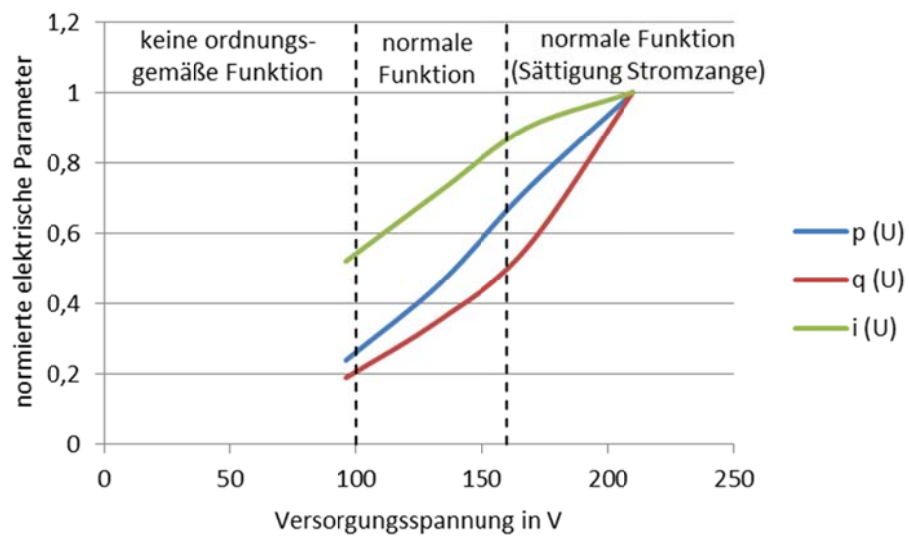


Abbildung 10.7: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Wasserkochers Swan Elegance

Tabelle 10.8: Messwerte der Leistungsmessung des Kaffeeautomaten Nespresso DeLonghi Essenza

Kaffeeautomat Nespresso DeLonghi Essenza							
U	P	Q	S	In	λ	THDi	k_i
V	W	var	VA	A	-	%	%
Warmwasserzubereitung							
47,4	24,0	18,6	33,2	1,036	0,723	6,88	4,39
136,4	409,6	34,7	411,0	3,011	0,997	1,64	1,64
156,4	537,4	45,3	541,3	3,459	0,993	1,92	1,92
173,3	660,9	56,9	663,3	3,825	0,996	1,81	1,81
222,8	1094,0	91,7	1097,8	4,926	0,997	1,68	1,68
Kaffe Zubereitung							
156,8	570,3	23,1	570,7	3,638	0,999	2,24	2,24
173,1	690,5	27,1	691,0	3,992	0,999	2,33	2,33
221,7	1142,1	44,2	1142,9	5,144	0,999	2,36	2,36

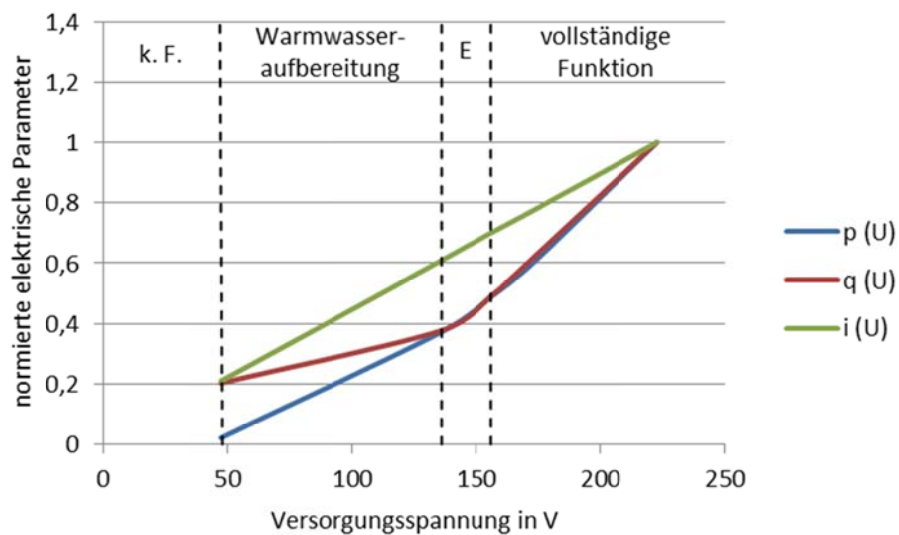


Abbildung 10.8: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Kaffeeautomaten Nespresso DeLonghi Essenza

Tabelle 10.9: Messwerte der Leistungsmessung des Kaffeevollautomaten Philips SAECO Syntia

Kaffeevollautomat Philips SAECO Syntia							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	var	VA	A	-	%	%
Kaffe Zubereitung							
135,3	451,2	10,0	541,4	3,345	0,999	3,01	3,01
150,0	553,0	11,4	553,1	3,871	0,999	2,62	2,62
172,1	728,2	14,0	728,3	4,232	0,999	2,61	2,61
219,1	1166,5	36,3	1167,1	5,336	0,999	3,08	3,08
237,0	1354,2	36,1	1354,5	5,716	0,999	2,66	2,66

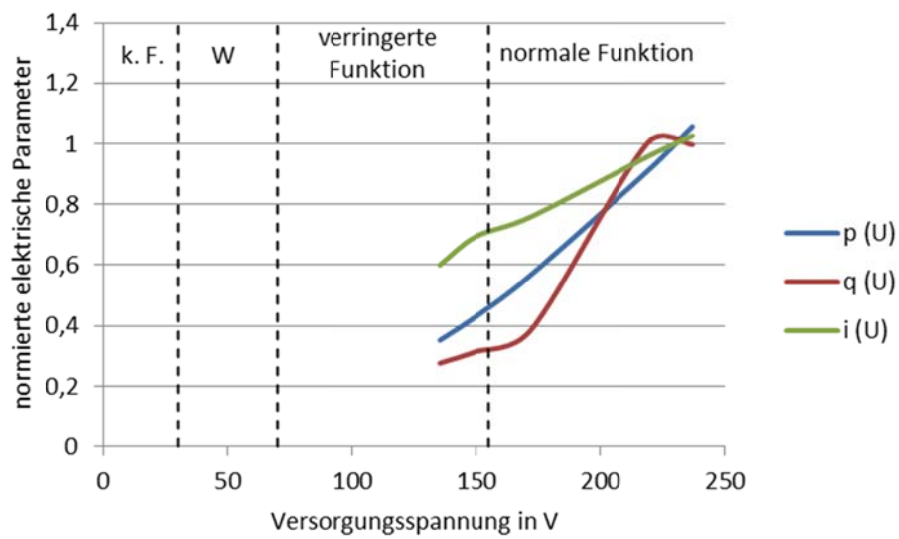


Abbildung 10.9: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für die Kaffe Zubereitung des Kaffeevollautomaten Philips SAECO Syntia

Tabelle 10.10: Messwerte der Leistungsmessung der Mikrowelle LG Intellowave

Mikrowelle LG Intellowave								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
140,5	53,1	35,0	63,7	0,453	0,651	0,839	9,01	8,97
180,2	93,3	93,2	131,9	0,703		0,721	19,43	19,07
199,7	997,5	293,9	1039,9	5,204	-	0,996	26,52	25,63
218,7	1126,0	327,1	1172,6	5,362	-	0,998	26,70	25,80

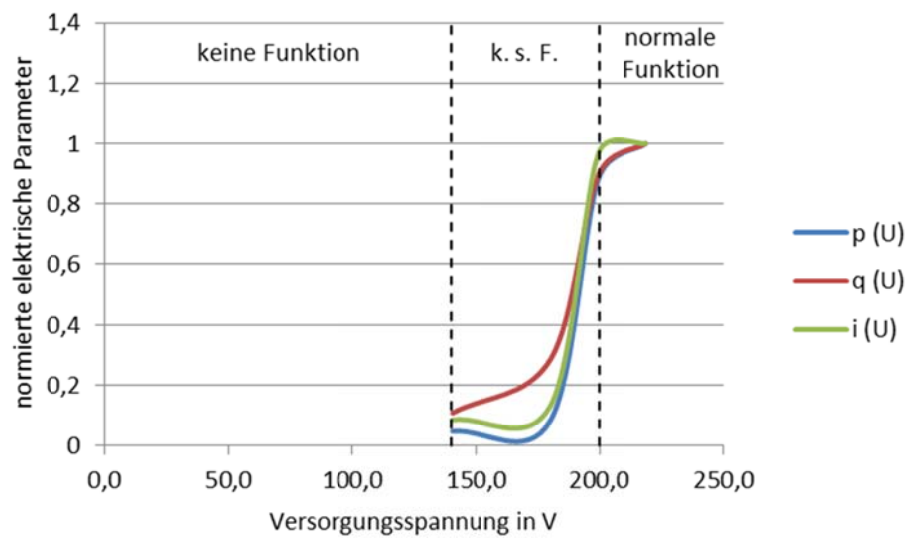


Abbildung 10.10: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Mikrowelle LG Intellowave

Tabelle 10.11: Messwerte aus der Leistungsmessung der Ladestation Oral-B Type 3757 mini

Ladestation Oral-B Type 3757 mini							
U	P	Q	S	I	λ	THDi	k_i
V	W	var	VA	mA	-	%	%
51,2	0,1	0,2	0,2	3	0,429	75,0	42,0
101,3	0,2	0,9	0,7	7	0,292	44,0	37,0
144,6	0,4	1,5	1,6	11	0,242	39,0	34,0
183,9	0,6	2,6	2,7	14	0,211	35,0	32,0
236,8	0,9	4,6	4,7	20	0,181	32,0	30,0

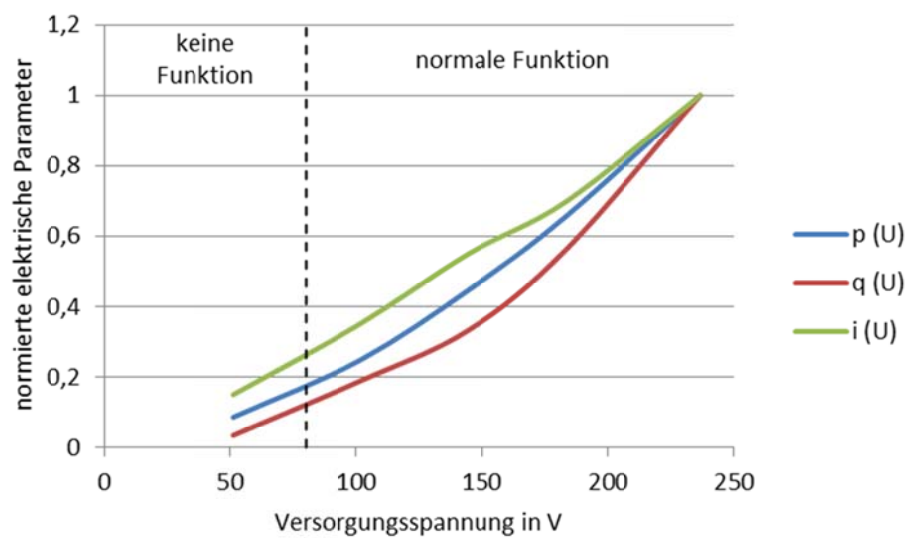


Abbildung 10.11: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Ladestation Oral-B Type 3757 mini

Tabelle 10.12: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ladegeräts für den Haartrimmer Babyliss E702YTE

Babyliss Haartimmer Ladegerät E702YTE								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	mA	mA	-	%	%
52,3	0,31	0,63	0,70	13	41	0,443	199	87,9
102,3	0,75	1,79	1,92	19	72	0,391	234	90,8
144,0	0,82	2,15	2,27	16	87	0,361	256	91,8
185,8	0,89	2,50	2,62	14	44	0,340	263	91,3
232,5	0,94	2,50	2,67	11	76	0,352	250	90,2

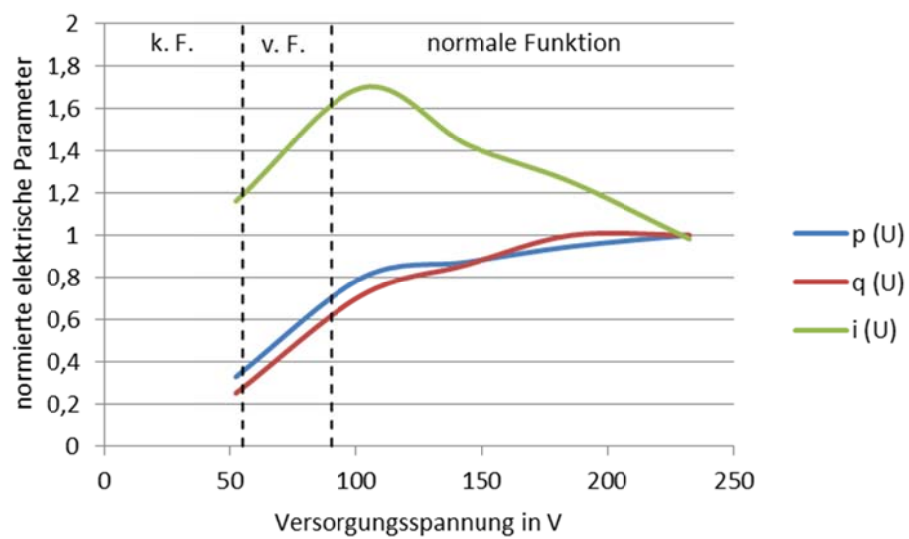


Abbildung 10.12: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ladegeräts für den Haartrimmer Babyliss E702YTE

Tabelle 10.13: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ladegeräts AC Adapter Modell ADP-0932

AC Adapter Modell ADP-0932								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	mA	mA	-	%	%
39,4	15,3	40,1	47,5	1,173	-	0,322	83,4	63,34
100	34,4	62,9	71,9	0,71	1,73	0,478	145,3	82,3
138	29,5	52,4	60,1	0,44	0,67	0,491	163,1	83,9
179,4	34	53,4	63,3	0,35	0,61	0,537	150,7	83,2
229,4	34,5	55,1	65	0,29	0,73	0,531	154,8	83,9

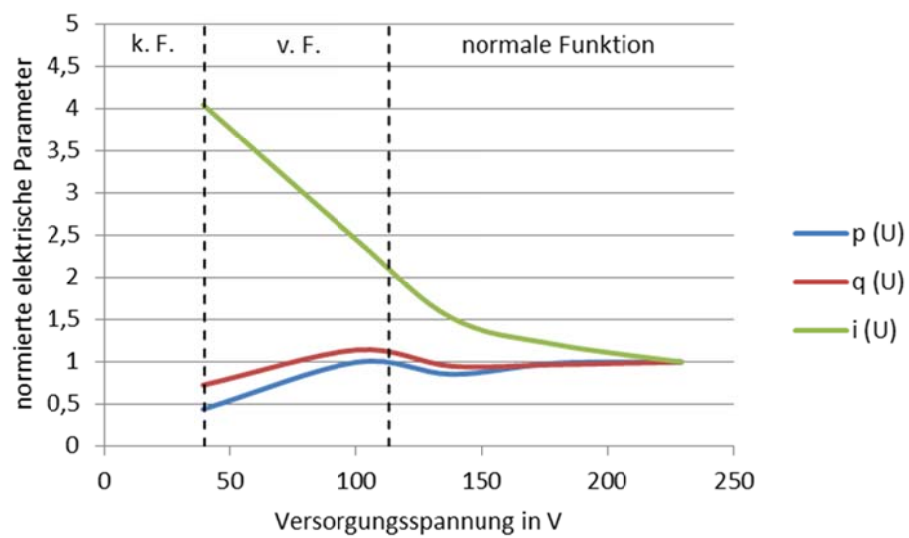


Abbildung 10.13: Verläufe der normierten Parameter des AC Adapters Modell ADP-0932

Tabelle 10.14: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ladegeräts Nokia AC-3E

Ladegerät Nokia AC-3E								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	mA	mA	-	%	%
100	2,7	4,1	4,9	49	62	0,551	130,64	76,50
140	2,7	5,2	5,9	42	114	0,458	169,70	81,46
180	2,7	5,7	6,4	35	115	0,422	179,93	80,42
229,5	2,8	5,8	6,4	28	132	0,438	163,81	74,88

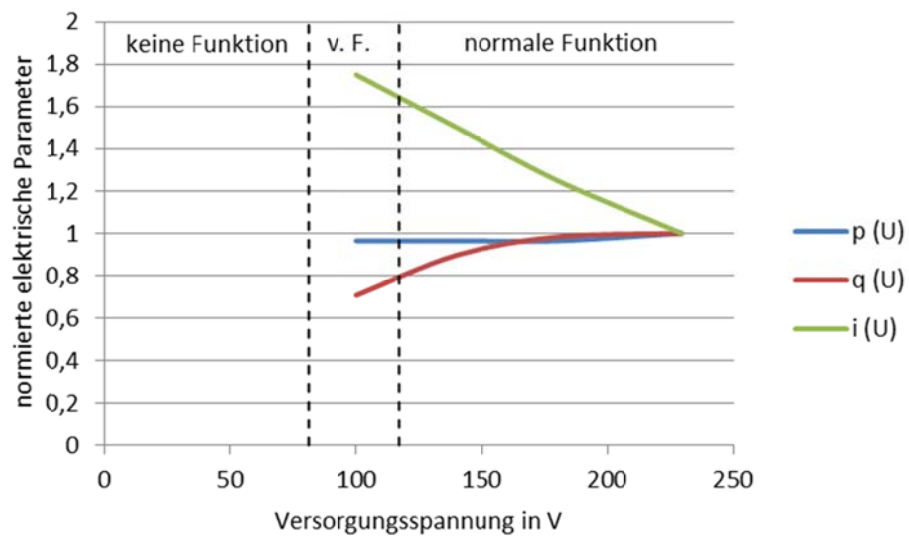


Abbildung 10.14: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ladegeräts Nokia AC-3E

Tabelle 10.15: Messwerte der Leistungsmessung des Röhrenfernsehers SEG Premium MERANO-S

Röhrenfernseher SEG Premium MERANO-S								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	mA	mA	-	%	%
unterschiedliche Video- und Audioausgangsleistung								
89,5	37,4	47,0	60,1	0,681	-	0,622	106,75	72,07
100,1	45,2	58,0	73,5	0,735	-	0,615	113,10	74,91
139,5	37,1	48,1	60,7	0,435	3,038	0,611	123,23	77,64
178,8	40,3	54,0	67,4	0,377	3,273	0,598	129,33	79,09
229,0	39,5	53,9	66,8	0,29	3,162	0,591	132,10	79,64

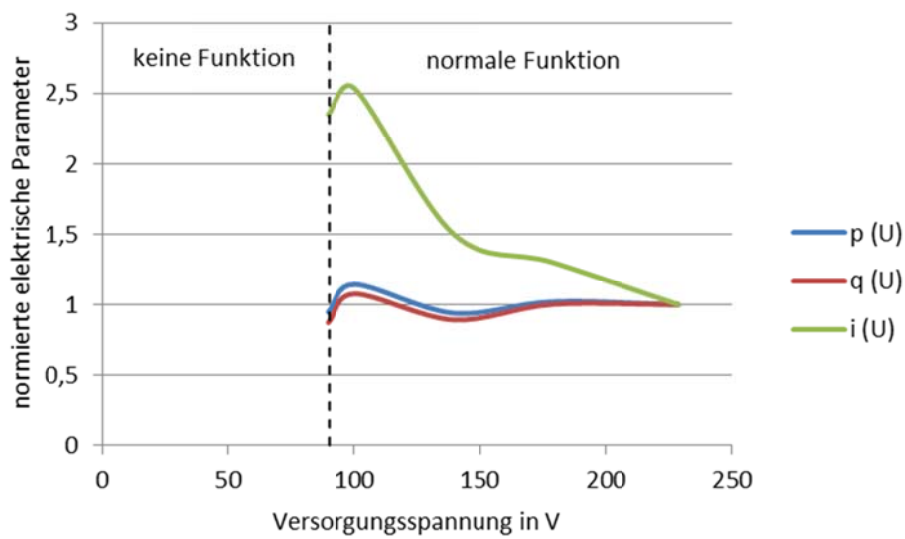


Abbildung 10.15: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Röhrenfernsehers SEG Premium MERANO-S

Tabelle 10.16: Messwerte aus der Leistungsmessung der Stereoanlage Universum Micro-Anlage VTC-CD130

Stereoanlage Universum Micro-Anlage VTC-CD1030								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	mA	mA	-	%	%
AUS-Zustand								
50,2	0,19	0,29	0,35	7,0	-	0,543	9,600	9,03
104,5	0,53	0,64	0,83	7,9	9,0	0,639	15,260	14,43
145,5	0,91	1,18	1,49	10,3	44,0	0,611	25,600	24,70
185,5	1,47	2,61	3,00	1,6	28,0	0,490	34,500	32,29
237,1	2,84	7,69	8,20	34,6	90,0	0,346	44,340	40,45
minimale Lautstärke								
104,4	0,96	0,73	1,20	11,6	20,0	0,800	31,92	29,81
145,5	1,81	1,38	2,28	15,6	34,0	0,794	36,29	33,74
185,4	2,90	2,77	4,01	21,7	49,0	0,723	35,35	33,14
236,8	4,97	7,35	8,87	37,4	71,0	0,560	35,96	33,79
maximale Lautstärke								
104,5	1,27	0,89	1,55	18,0	-	0,819	41,210	37,56
145,5	3,50	2,24	4,70	31,7	-	0,745	47,790	42,83
185,4	4,97	3,57	6,12	35,8	-	0,812	45,380	41,13
236,9	8,63	7,72	11,58	45,2	-	0,745	39,940	37,02

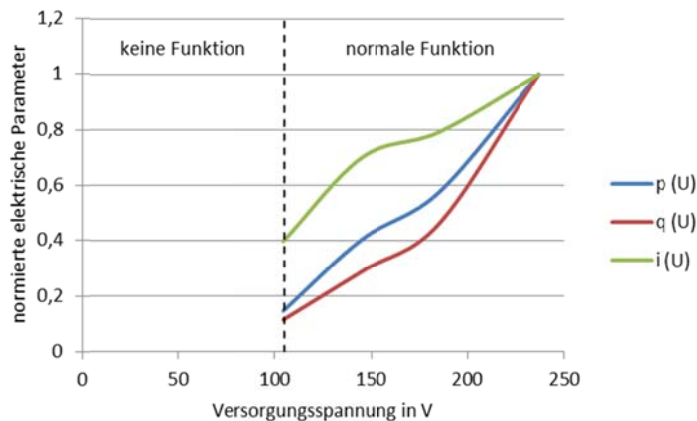
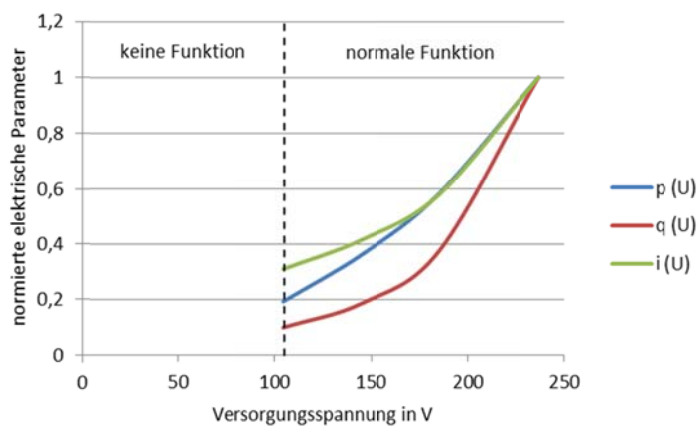


Abbildung 10.16: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Stereoanlage Universum Micro-Anlage VTC-CD130 bei minimaler- (links) und maximaler Lautstärkeeinstellung (rechts)

Tabelle 10.17: Messwerte aus der Leistungsmessung einer Momentaufnahme eines PC mit Computer Schaltnetzteil Enermax Pro 82+

PC mit Computer Schaltnetzteil Enermax Pro 82+							
U	P	Q	S	I	λ	THDi	k_i
V	W	var	VA	A	-	%	%
Momentaufnahme während eines PC-Spiels							
83,4	231,8	66,5	241,2	2,877	0,961	19,80	19,38
97,1	251,0	70,3	260,6	2,728	0,963	21,93	21,40
140,2	241,2	79,6	254,0	1,806	0,950	27,90	26,78
176,6	242,8	90,8	259,3	1,479	0,936	29,84	28,28
225,9	237,0	100,3	257,3	1,143	0,921	35,71	33,56

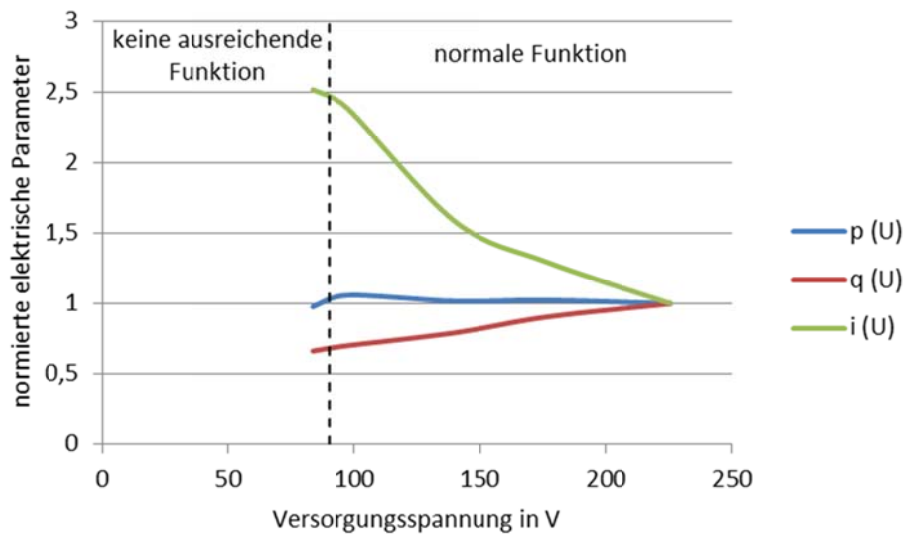


Abbildung 10.17: Verläufe der normierten elektrischen Parameter eines PC mit Computer Schaltnetzteil Enermax Pro 82+

Tabelle 10.18: Messwerte aus der Leistungsmessung des Bildschirms EIZO FlexScan L885

Bildschirm EIZO FlexScan L885								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
99,5	50	7,8	50,6	0,505	0,691	0,988	5,64	5,62
138,7	48,8	10,5	49,9	0,36	0,715	0,978	8,12	8,08
178,5	48	15,8	50,6	0,283	0,396	0,949	13,7	13,54
230,6	47,8	24,6	53,9	0,234	-	0,887	29,95	28,57

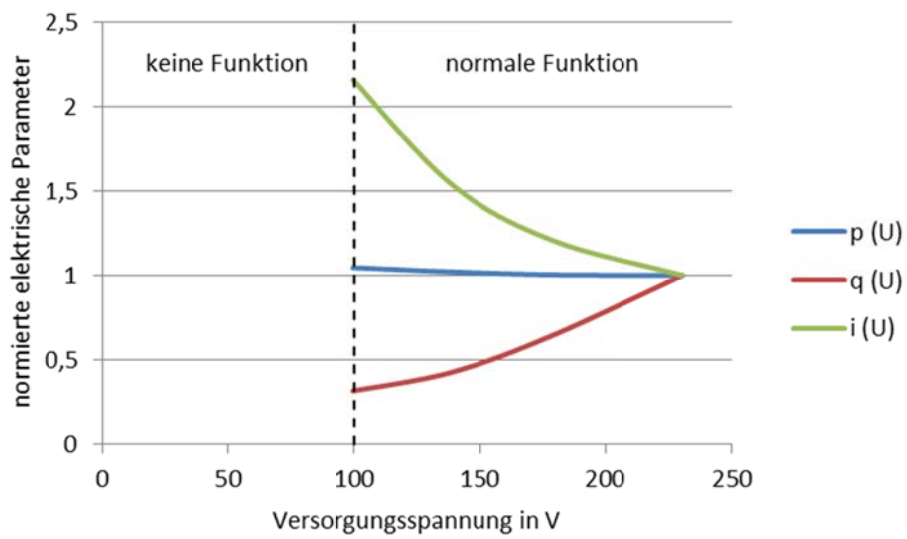


Abbildung 10.18: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Bildschirms EIZO FlexScan L885

Tabelle 10.19: Messwerte aus der Leistungsmessung des Bildschirms EIZO FlexScan L365

Bildschirm EIZO FlexScan L365								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
93,4	21,00	27,40	34,60	0,235	-	0,607	108,21	72,24
100,1	26,40	31,00	40,70	0,407	0,425	0,649	112,37	74,69
139,4	26,00	32,80	41,90	0,301	0,660	0,621	123,61	77,69
180,7	26,00	35,10	43,70	0,241	0,832	0,595	133,00	79,88
229,5	25,90	37,90	45,90	0,200	1,060	0,564	143,87	82,03

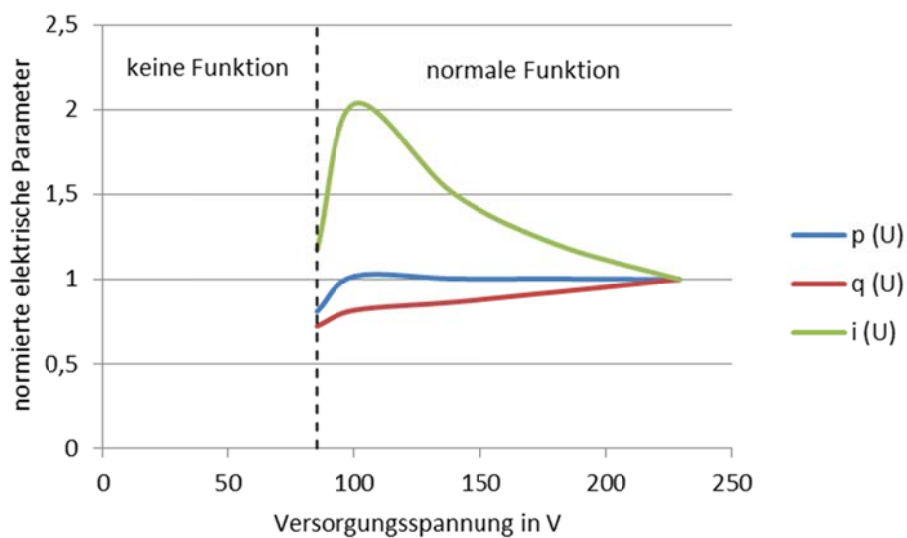


Abbildung 10.19: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Bildschirms EIZO FlexScan L365

Tabelle 10.20: Messwerte aus der Leistungsmessung des Bildschirms Samsung Sync Master P2250

Bildschirm Samsung Sync Master P2250							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	var	VA	A	-	%	%
48,6	44,4	39,6	59,5	1,225	0,746	66,56	55,41
103,5	37,2	51,0	63,3	0,609	0,588	120,67	76,99
142,5	36,9	49,2	61,5	0,431	0,600	123,64	77,74
182,1	36,8	51,3	63,1	0,347	0,583	130,80	79,38
234,8	36,4	55,6	66,4	0,281	0,548	141,50	81,53

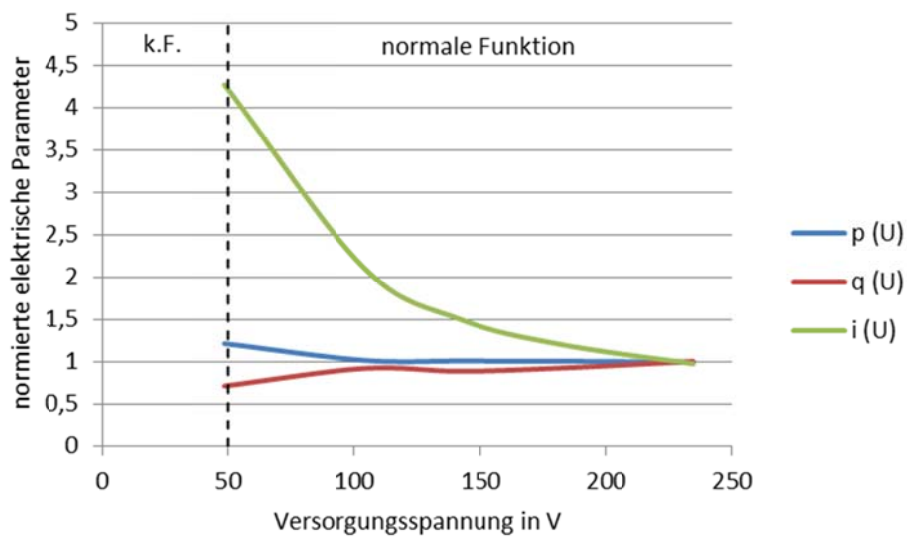


Abbildung 10.20: Verlauf der normierten elektrischen Parameter für den Bildschirm Samsung Sync Master P2250

Tabelle 10.21: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Siemens AMIS TD-3512

Siemens AMIS TD-3512					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
30,0	0	0,11	0,11	3,80	-
40,0	0	0,02	0,02	5,10	-
50,0	0,67	0,95	1,16	22,80	0,576
60,0	0,81	1,13	1,39	24,50	0,583
70,0	1,01	1,44	1,76	24,60	0,574
80,0	1,17	1,82	2,16	25,60	0,541
90,0	1,30	2,12	2,49	28,11	0,523
100,0	1,60	2,41	2,89	27,40	0,553
109,9	3,07	3,08	4,35	39,52	0,706
120,0	3,12	3,39	4,61	38,41	0,677
130,0	3,16	3,71	4,87	37,49	0,648
140,0	3,18	4,03	5,13	36,71	0,619
149,9	3,19	4,37	5,41	36,09	0,590
159,9	3,19	4,72	5,70	35,84	0,560
169,9	3,19	5,09	6,01	35,35	0,531
179,9	3,18	5,48	6,34	35,21	0,502
189,9	3,17	5,90	6,70	35,24	0,473
199,9	3,16	6,34	7,08	34,43	0,446
209,9	3,16	6,81	7,51	35,75	0,421
219,9	3,17	7,31	7,97	36,21	0,398
229,9	3,18	7,84	8,46	36,79	0,376
239,9	3,20	8,40	8,99	37,45	0,356
249,9	3,23	8,99	9,55	38,22	0,338

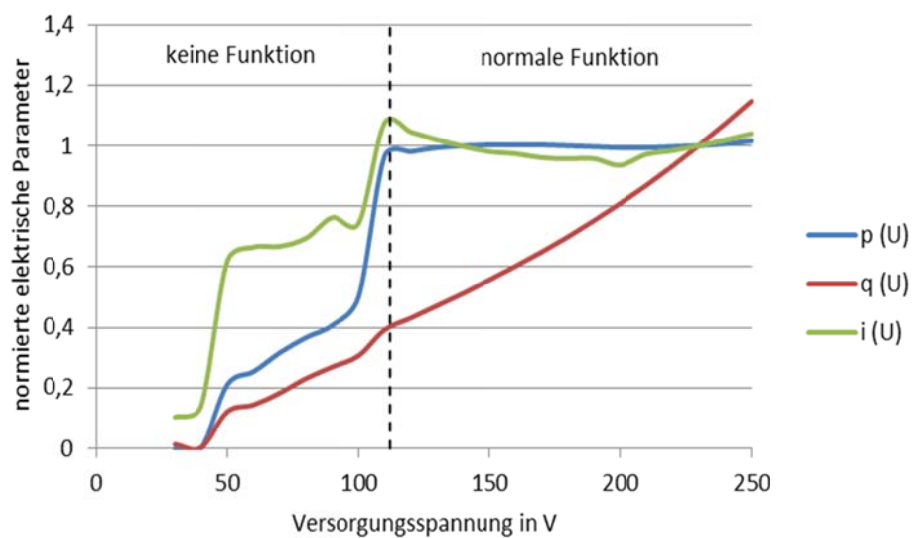


Abbildung 10.21: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für den 1-Phasen Smart Meter Siemens AMIS TD-3512

Tabelle 10.22: Messwerte aus der Shunt-Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Kamstrup 162-L

Kamstrup 162-L					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
30,0	0,07	0,16	0,17	5,66	0,401
40,0	0,40	0,62	0,74	18,51	0,542
50,0	0,36	0,63	0,73	14,58	0,496
60,0	0,37	0,68	0,77	12,60	0,478
70,0	0,37	0,71	0,80	11,41	0,462
80,0	0,38	0,75	0,84	10,45	0,452
90,0	0,38	0,78	0,87	9,70	0,438
100,0	0,39	0,83	0,92	9,14	0,425
109,9	0,40	0,87	0,96	8,73	0,418
120,0	0,57	1,21	1,34	11,11	0,426
130,0	0,58	1,27	1,40	10,72	0,415
140,0	0,60	1,33	1,46	10,36	0,411
149,9	0,61	1,39	1,52	10,11	0,402
159,9	0,63	1,45	1,58	9,88	0,398
169,9	0,65	1,52	1,65	9,70	0,393
179,9	0,67	1,59	1,73	9,56	0,388
189,9	0,69	1,66	1,80	9,45	0,384
199,9	0,71	1,73	1,87	9,35	0,380
209,9	0,73	1,81	1,95	9,30	0,374
219,9	0,75	1,89	2,03	9,25	0,369
229,9	0,77	1,98	2,12	9,23	0,362
239,9	0,80	2,06	2,21	9,22	0,362
249,9	0,82	2,15	2,30	9,22	0,356

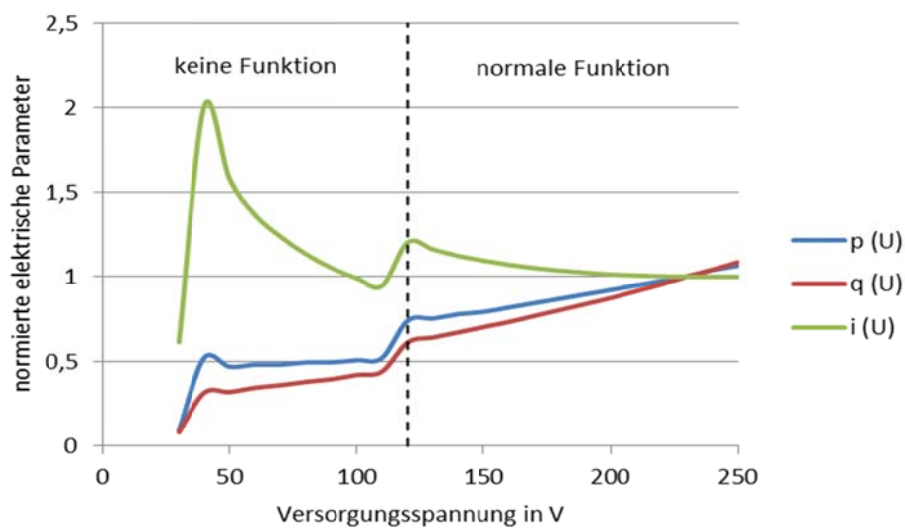


Abbildung 10.22: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Kamstrup 162-L

Tabelle 10.23: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Itron ACE 4000 GSS

Itron ACE 4000 GSS					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
30,0	0,64	0,67	0,93	30,87	0,691
40,0	1,18	1,30	1,76	45,58	0,672
50,0	1,70	1,77	2,45	49,10	0,693
60,0	1,13	1,35	1,76	29,42	0,642
70,0	1,00	1,30	1,64	23,51	0,610
80,0	0,96	1,33	1,64	20,46	0,585
90,0	0,93	1,37	1,66	18,38	0,562
100,0	0,93	1,42	1,70	16,93	0,548
109,9	0,93	1,48	1,75	15,85	0,532
120,0	1,04	1,66	1,96	16,29	0,531
130,0	1,04	1,71	2,00	15,40	0,520
140,0	0,79	1,41	1,62	11,50	0,489
149,9	0,80	1,46	1,66	11,10	0,481
159,9	0,81	1,51	1,71	10,72	0,473
169,9	0,82	1,57	1,77	10,40	0,463
179,9	0,83	1,61	1,81	10,09	0,458
189,9	0,89	1,70	1,92	10,06	0,464
199,9	0,89	1,76	1,97	9,84	0,451
209,9	0,90	1,81	2,02	9,65	0,445
219,9	0,92	1,87	2,08	9,48	0,441
229,9	0,94	1,94	2,16	9,35	0,436
239,9	0,96	2,00	2,22	9,24	0,433
249,9	0,99	2,06	2,29	9,15	0,433

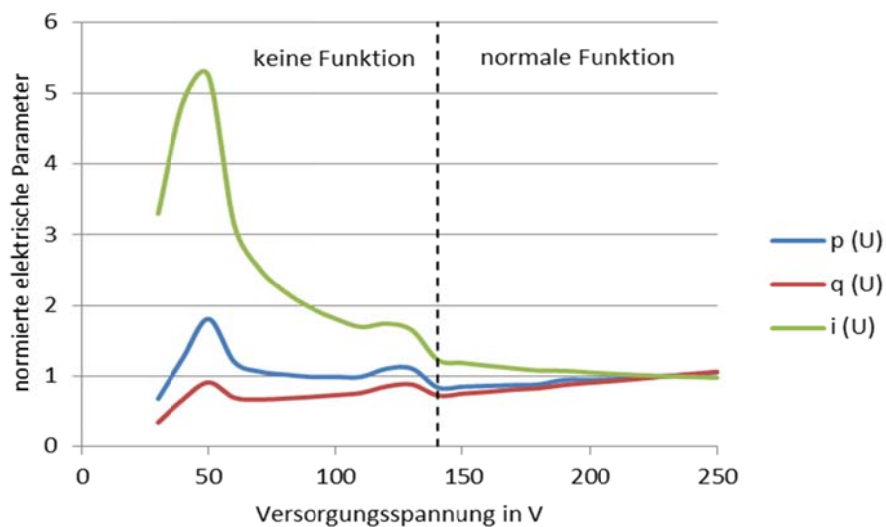


Abbildung 10.23: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Itron ACE 4000 GSS

Tabelle 10.24: Messwerte aus der Shunt-Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Echelon 833331-1/VAD

Echelon 833331-1/VAD					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
30,0	0,01	0,04	0,04	1,48	0,250
40,0	0,01	0,08	0,08	1,97	0,125
50,0	0,02	0,12	0,12	2,46	0,167
60,0	0,03	0,18	0,18	2,96	0,167
70,0	0,04	0,24	0,02	3,45	1,667
80,0	0,05	0,31	0,32	3,95	0,156
90,0	1,08	1,70	2,02	22,40	0,536
100,0	1,09	1,78	2,09	20,91	0,522
109,9	1,12	1,88	2,19	19,91	0,511
120,0	1,15	1,99	2,30	19,15	0,500
130,0	1,17	2,09	2,40	18,46	0,488
140,0	1,18	2,17	2,47	17,63	0,478
149,9	1,11	2,16	2,43	16,20	0,457
159,9	1,13	2,28	2,54	15,88	0,445
169,9	1,53	2,92	3,30	19,44	0,464
179,9	1,55	3,05	3,42	18,99	0,453
189,9	1,46	3,04	3,37	17,76	0,433
199,9	1,47	3,19	3,51	17,54	0,419
209,9	1,49	3,36	3,67	17,50	0,406
219,9	1,52	3,56	3,88	17,62	0,392
229,9	1,53	3,74	4,04	17,58	0,379
239,9	1,57	3,99	4,28	17,86	0,367
249,9	1,59	4,22	4,51	18,05	0,353

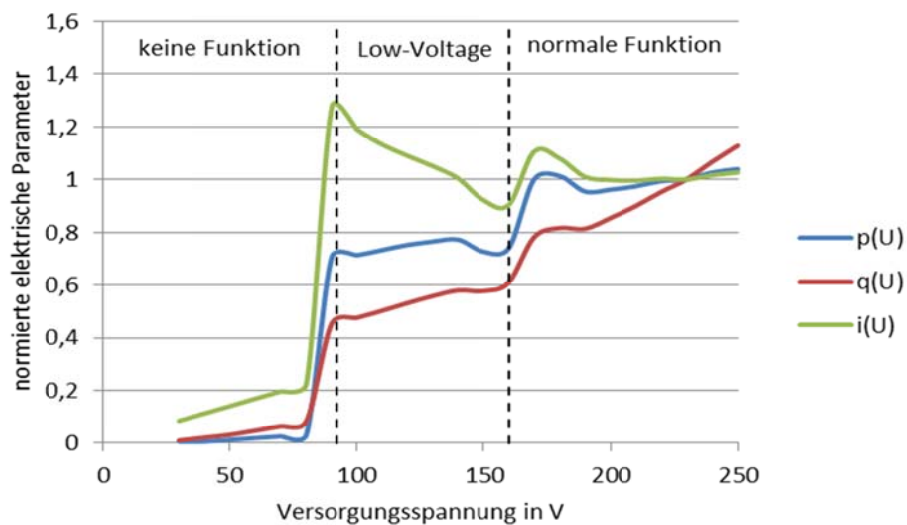


Abbildung 10.24: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Echelon 833331-1/VAD

Tabelle 10.25: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 1-phasige Gerät Landys+Gyr ZCF120

Landys+Gyr ZCF120					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
30,0	0,22	0,22	0,31	10,32	0,707
40,0	0,43	0,43	0,61	15,23	0,708
50,0	1,37	0,93	1,66	33,57	0,827
60,0	1,52	1,06	1,85	30,93	0,820
70,0	1,33	1,09	1,72	24,54	0,773
80,0	1,20	1,14	1,66	20,74	0,725
90,0	1,17	1,21	1,68	18,72	0,695
100,0	1,16	1,29	1,73	17,36	0,669
109,9	1,17	1,38	1,81	16,43	0,647
120,0	1,19	1,47	1,89	15,74	0,629
130,0	1,22	1,57	1,99	15,26	0,614
140,0	1,25	1,68	2,09	14,96	0,597
149,9	1,67	1,96	2,57	17,15	0,649
159,9	1,73	2,12	2,74	17,07	0,632
169,9	2,26	3,16	3,88	22,76	0,582
179,9	2,30	3,31	4,03	22,39	0,571
189,9	2,38	3,50	4,23	22,32	0,562
199,9	2,46	3,69	4,43	22,19	0,555
209,9	2,53	3,91	4,66	22,19	0,543
219,9	2,62	4,12	4,88	22,23	0,537
229,9	2,71	4,35	5,13	22,30	0,529
239,9	2,83	4,58	5,38	22,51	0,526
249,9	2,93	4,84	5,66	22,63	0,518

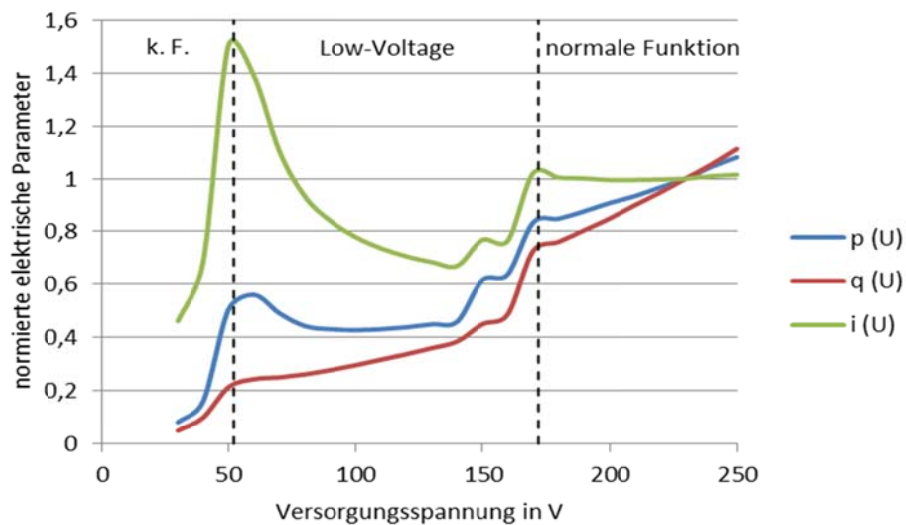


Abbildung 10.25. Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 1-Phasen Smart Meter Landys+Gyr ZCF120

Tabelle 10.26: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Easymeter DIEHL Q3D

Easymeter DIEHL Q3D					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
pro Phase	total	total	total	Phase 1	total
30,0	0,04	0,08	0,09	1,00	0,447
40,0	0,07	0,15	0,17	1,40	0,423
50,0	0,10	0,27	0,29	1,90	0,347
60,0	0,14	0,38	0,40	2,20	0,346
71,0	0,19	0,54	0,57	2,70	0,332
79,0	0,23	0,68	0,72	3,00	0,320
88,0	0,29	0,84	0,89	3,32	0,326
100,0	0,37	1,07	1,13	3,77	0,327
110,0	0,44	1,36	1,43	4,25	0,308
120,0	0,51	1,65	1,73	4,65	0,295
130,0	0,59	1,88	1,97	5,00	0,299
140,0	0,67	2,22	2,32	5,43	0,289
150,0	0,76	2,57	2,68	5,86	0,284
160,0	0,86	2,94	3,06	6,27	0,281
170,0	0,95	3,32	3,45	6,67	0,275
180,0	1,06	3,77	3,92	7,12	0,271
190,0	1,16	4,19	4,35	7,49	0,267
200,0	1,27	4,65	4,82	7,89	0,263
210,5	1,39	5,12	5,31	8,29	0,262
220,0	1,51	5,63	5,83	8,72	0,259
231,0	1,65	6,22	6,44	9,15	0,256
239,0	1,76	6,69	6,92	9,48	0,254
250,3	1,91	7,35	7,59	9,98	0,252

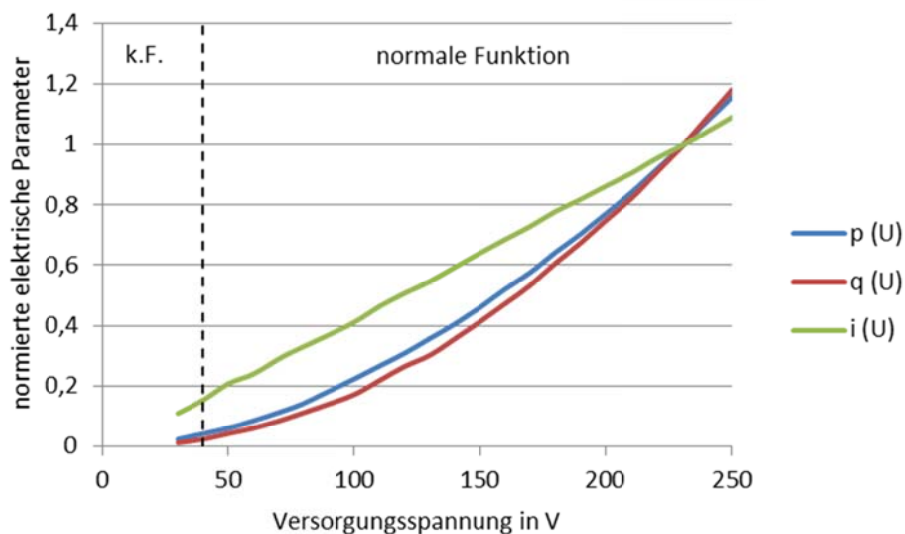


Abbildung 10.26: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Easymeter DIEHL Q3D

Tabelle 10.27: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Siemens AMIS TD-3511

Siemens AMIS TD-3511						
U	P	Q	S	I	I	λ
V	W	var	VA	mA	mA	-
pro Phase	total	total	total	Phase 1	Phase 2, 3	total
30,0	0,00	0,14	0,14	4,15	-	-
40,0	0,02	0,24	0,24	5,35	-	-
50,0	0,03	0,38	0,38	6,93	-	-
60,0	3,19	1,80	3,66	21,42	19,78	-
70,0	3,10	2,23	3,82	19,85	17,33	0,812
80,0	3,23	2,69	4,20	19,75	16,36	0,768
90,0	3,36	3,15	4,61	19,95	15,57	0,730
100,0	3,47	3,63	5,02	20,33	14,88	0,691
109,9	3,58	4,11	5,45	20,85	14,25	0,657
120,0	3,65	4,61	5,88	21,53	13,69	0,621
130,0	3,73	5,13	6,34	22,31	13,18	0,588
140,0	3,81	5,67	6,83	23,18	12,73	0,558
149,9	3,89	6,23	7,34	24,14	12,33	0,530
159,9	3,96	6,82	7,89	25,18	11,99	0,502
169,9	4,05	7,44	8,47	26,27	11,89	0,478
179,9	4,14	8,08	9,08	27,41	11,47	0,456
189,9	4,23	8,76	9,73	28,58	11,22	0,435
199,9	4,34	9,47	10,42	29,79	11,05	0,417
209,9	4,45	10,21	11,14	31,03	10,90	0,400
219,9	4,57	10,98	11,89	32,28	10,79	0,384
229,9	4,70	11,78	12,68	33,55	10,70	0,371
239,9	4,84	12,62	13,52	34,85	10,62	0,358
249,9	4,95	13,48	14,36	36,14	10,53	0,345

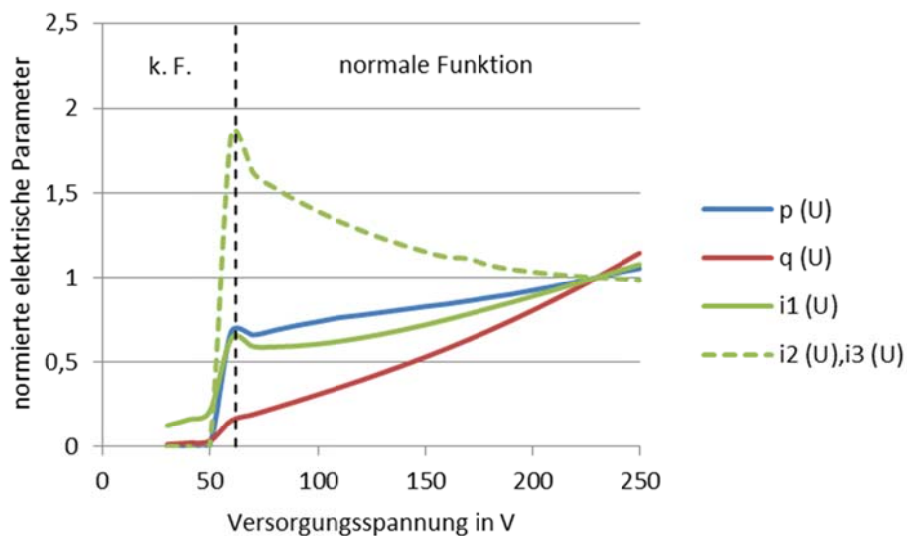


Abbildung 10.27: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Siemens AMIS TD-3511

Tabelle 10.28: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Kamstrup 382-L

Kamstrup 382-L						
U	P	Q	S	I	I	λ
V	W	var	VA	mA	mA	-
pro Phase	total	total	total	Phase 1	Phase 2, 3	total
30,0	1,00	1,30	1,64	15,4	2,1	0,610
40,0	0,90	1,20	1,50	12,2	14,5	0,600
50,0	0,80	1,30	1,53	10,0	10,9	0,524
60,0	0,78	1,20	1,43	8,9	9,2	0,545
71,0	0,65	1,20	1,36	6,8	6,5	0,476
79,0	0,76	1,40	1,59	7,1	7,1	0,477
88,0	0,78	1,50	1,69	6,8	6,5	0,461
100,0	0,81	1,50	1,70	6,5	5,8	0,475
110,0	0,84	1,60	1,81	6,1	5,6	0,465
120,0	0,87	1,60	1,82	5,9	5,6	0,478
130,0	0,90	2,50	2,66	5,9	10,1	0,339
140,0	0,94	3,60	3,72	5,9	13,2	0,253
150,0	0,97	4,10	4,21	5,9	13,8	0,230
160,0	0,99	4,50	4,61	5,9	14,2	0,215
170,0	1,02	5,20	5,30	5,9	15,1	0,192
180,0	1,04	5,60	5,70	5,9	15,5	0,183
190,0	1,06	5,90	5,99	5,9	15,4	0,177
200,0	1,09	6,20	6,30	5,9	15,2	0,173
210,5	1,11	6,60	6,69	5,9	15,4	0,166
220,0	1,13	6,80	6,89	5,9	15,3	0,164
231,0	1,17	7,30	7,39	5,9	15,5	0,158
239,0	1,19	7,60	7,69	1,0	15,6	0,155
250,3	1,23	8,10	8,19	1,0	15,9	0,150

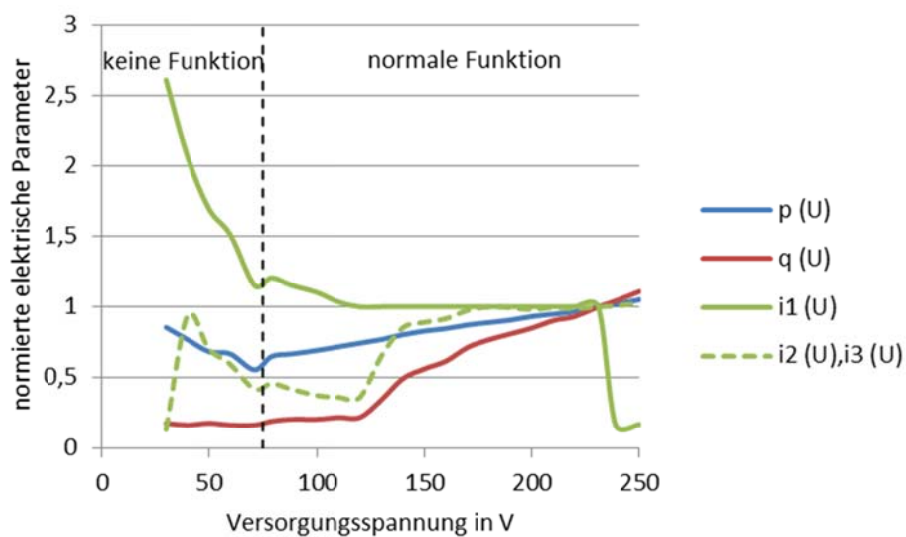


Abbildung 10.28: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Kamstrup 382-L

Tabelle 10.29: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Iskra MT851

Iskra MT851					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
pro Phase	total	total	total	Phase 1	total
30,0	0	0,03	0,03	1,00	-
40,0	0	0,05	0,05	1,50	-
50,0	0	0,10	0,10	2,20	-
60,0	0	0,14	0,14	2,81	-
71,0	0	0,21	0,21	3,80	-
79,0	0	0,24	0,24	4,37	-
88,0	0	0,29	0,29	3,89	-
100,0	1,09	0,35	1,14	3,86	0,952
110,0	1,12	0,41	1,19	3,58	0,939
120,0	1,16	0,47	1,25	3,48	0,927
130,0	1,21	0,53	1,32	3,38	0,916
140,0	1,28	0,61	1,42	3,35	0,903
150,0	1,35	0,70	1,52	3,37	0,888
160,0	1,43	0,81	1,64	3,41	0,870
170,0	1,51	0,91	1,76	3,47	0,856
180,0	1,61	1,05	1,92	3,58	0,838
190,0	1,69	1,18	2,06	3,67	0,820
200,0	1,79	1,33	2,23	3,77	0,803
210,5	1,90	1,51	2,43	3,89	0,783
220,0	2,01	1,70	2,63	4,12	0,764
231,0	2,15	2,00	2,94	4,30	0,732
239,0	2,25	2,27	3,20	4,56	0,704
250,3	2,42	2,75	3,66	4,98	0,661

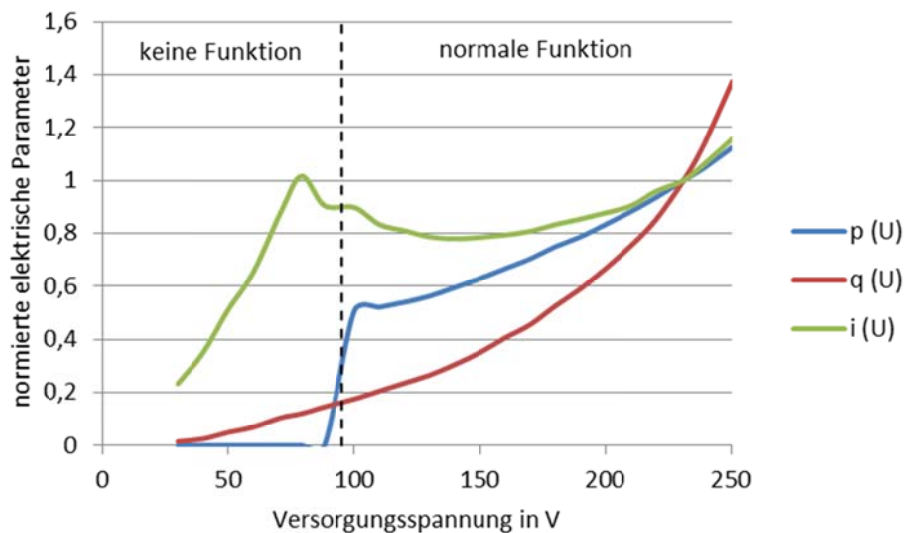


Abbildung 10.29: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Iskra MT851

Tabelle 10.30: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät UHER TD MZ 15

UHER TD MZ 15					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
pro Phase	total	total	total	Phase 1	total
30,0	0,03	0,03	0,04	-	-
40,0	0,06	0,04	0,07	-	-
50,0	0,12	0,14	0,18	-	-
60,0	0,19	0,24	0,31	1,65	0,621
70,0	0,27	0,36	0,45	2,09	0,600
80,0	0,36	0,52	0,63	2,54	0,569
90,0	0,47	0,69	0,83	2,98	0,563
100,0	0,72	0,90	1,15	3,76	0,625
109,9	0,95	1,17	1,51	4,48	0,630
120,0	1,16	1,42	1,83	5,00	0,633
130,0	1,36	1,67	2,15	5,40	0,631
140,0	1,51	1,87	2,40	5,60	0,628
149,9	1,67	2,09	2,68	5,81	0,624
159,9	1,81	2,31	2,93	5,97	0,617
169,9	1,96	2,55	3,22	6,14	0,609
179,9	2,11	2,81	3,51	6,35	0,600
189,9	2,27	3,09	3,83	6,55	0,592
199,9	2,43	3,40	4,18	6,79	0,581
209,9	2,59	3,74	4,55	7,03	0,569
219,9	2,77	4,10	4,95	7,29	0,560
229,9	2,96	4,46	5,35	7,55	0,553
239,9	3,22	4,73	5,72	7,72	0,563
249,9	3,48	5,00	6,09	7,89	0,571

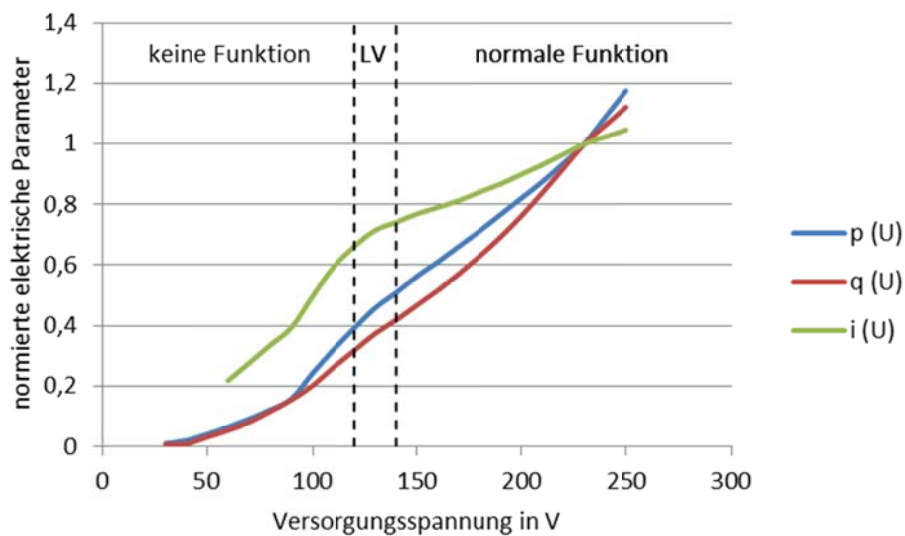


Abbildung 10.30: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter UHER TD MZ 15

Tabelle 10.31: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Itron ACE 4000 PLC

Itron ACE 4000 PLC						
U	P	Q	S	I	I	λ
V	W	var	VA	mA	mA	-
-	total	total	total	Phase 1	Phase 2, 3	total
30,0	0,70	0,15	0,72	5,00	0	0,978
40,0	0,67	1,27	1,44	13,02	11,64	0,467
50,0	0,67	1,39	1,54	11,87	9,45	0,434
60,0	0,66	1,57	1,70	11,93	8,15	0,388
70,0	0,67	1,77	1,89	12,52	7,24	0,354
80,0	0,67	2,02	2,13	13,39	6,57	0,315
90,0	0,69	2,30	2,40	14,45	6,08	0,287
100,0	0,74	2,63	2,73	15,70	5,76	0,271
109,9	0,81	3,00	3,11	17,02	5,60	0,261
120,0	0,89	3,39	3,50	18,31	5,34	0,254
130,0	0,96	3,82	3,94	19,75	4,78	0,244
140,0	1,03	4,15	4,28	20,91	4,58	0,241
149,9	2,01	6,61	6,91	24,40	10,80	0,291
159,9	2,03	7,13	7,41	25,51	10,37	0,274
169,9	2,07	7,68	7,95	26,70	9,98	0,260
179,9	2,10	8,25	8,51	27,94	9,63	0,247
189,9	2,14	8,86	9,11	29,22	9,31	0,235
199,9	2,18	9,50	9,75	30,54	9,02	0,224
209,9	2,21	10,15	10,39	31,86	8,76	0,213
219,9	2,26	10,86	11,09	33,21	8,54	0,204
229,9	2,31	11,60	11,83	34,58	8,36	0,195
239,9	2,36	12,37	12,59	35,95	8,20	0,187
249,9	2,42	13,16	13,38	37,38	8,03	0,181

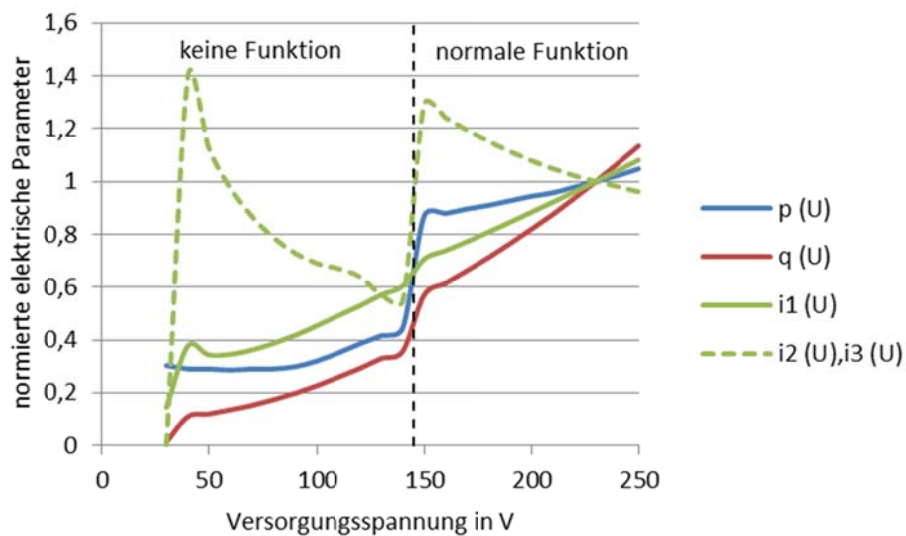


Abbildung 10.31: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Itron ACE 4000 PLC

Tabelle 10.32: Messwerte aus der Messung für Smart Meter für das 3-phasige Gerät Echelon 833331-3/VAD

Echelon 833331-3/VAD					
U	P	Q	S	I	λ
V	W	var	VA	mA	-
pro Phase	total	total	total	pro Phase	pro Phase
30,0	0,02	0,13	0,13	-	-
40,0	0,03	0,23	0,23	-	-
50,0	0,04	0,36	0,36	-	-
60,0	0,06	0,53	0,53	-	-
70,0	1,15	1,76	2,10	2,48	0,547
80,0	1,17	1,94	2,27	9,92	0,516
90,0	1,19	2,13	2,44	9,38	0,488
100,0	1,22	2,36	2,66	8,86	0,459
109,9	1,25	2,61	2,89	8,79	0,432
120,0	1,28	2,89	3,16	8,82	0,405
130,0	1,31	3,20	3,46	8,91	0,379
140,0	1,34	3,54	3,79	9,09	0,354
149,9	1,38	3,92	4,16	9,34	0,332
159,9	1,42	4,33	4,56	9,63	0,312
169,9	1,84	5,10	5,42	10,76	0,339
179,9	1,89	5,56	5,87	11,04	0,322
189,9	1,94	6,06	6,36	11,31	0,305
199,9	1,98	6,59	6,88	11,65	0,288
209,9	2,05	7,15	7,44	12,01	0,276
219,9	2,10	7,74	8,02	12,38	0,262
229,9	2,16	8,37	8,64	12,78	0,250
239,9	2,22	9,03	9,30	13,16	0,239
249,9	2,28	9,72	9,98	13,58	0,228

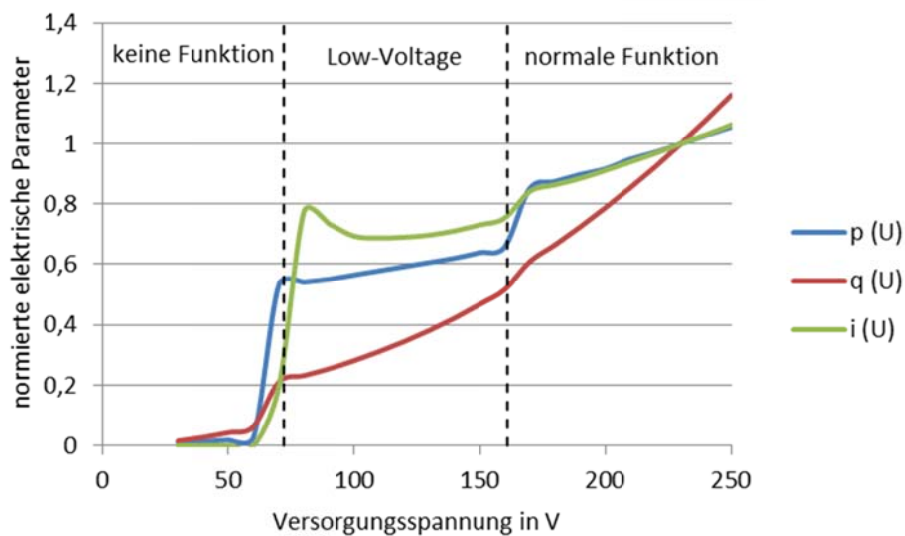


Abbildung 10.32: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für das 3-Phasen Smart Meter Echelon 833331-3/VAD

Tabelle 10.33: Messwerte aus der Leistungsmessung für den Datenkonzentrator Siemens AMIS CP 3410

Datenkonzentrator Siemens AMIS CP 3410							
U	P	Q	S	I	λ	THDi	ki
V	W	var	VA	mA	-	%	%
64,5	7,2	8,5	11,2	173,2	0,646	98,51	70,13
81,8	7,5	10,4	12,9	157,2	0,586	102,45	71,50
102,0	7,5	12,8	14,9	145,7	0,506	97,12	69,59
120,1	7,8	15,9	17,8	148,0	0,442	91,86	67,54
141,7	8,8	20,6	22,4	158,0	0,392	84,04	64,14
159,1	9,0	24,6	26,2	164,4	0,343	77,36	60,94
181,4	9,4	30,5	31,9	175,9	0,294	70,42	56,79
200,6	9,9	36,2	37,5	186,9	0,263	64,61	53,89
231,5	10,5	46,6	47,8	206,4	0,220	57,70	49,54
251,2	11,2	54,4	55,6	221,1	0,201	56,62	48,85

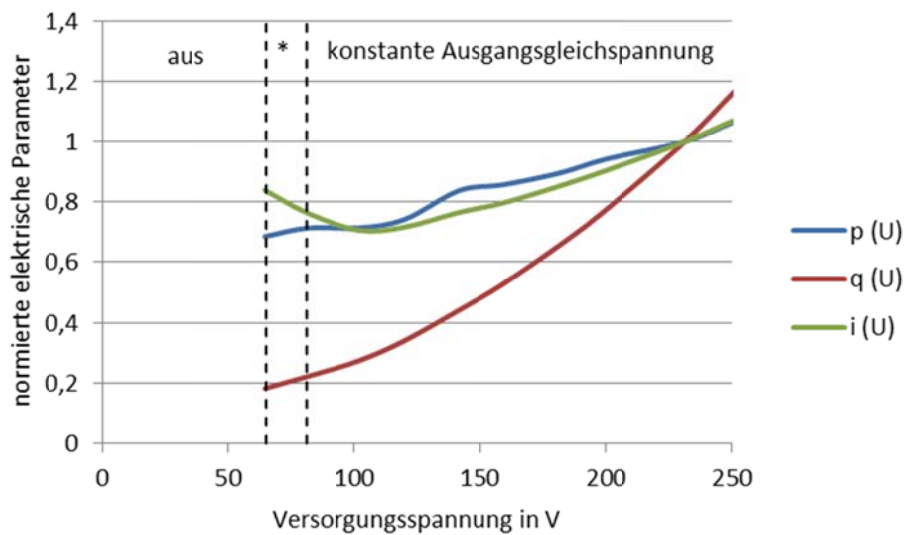


Abbildung 10.33: Verläufe der normierten elektrischen Parameter für den Datenkonzentrator Siemens AMIS CP 3410

Tabelle 10.34: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Glühlampe Elix 200W

Glühlampe Elix 200W						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	A	-	lx
53,3	22,31	1,97	22,50	0,429	0,992	1,8
99,9	59,17	5,20	59,60	0,595	0,993	20,3
140,5	99,50	8,85	100,20	0,711	0,993	91,8
180,4	137,90	17,70	138,70	0,768	0,994	247,0
200,3	156,61	18,90	157,90	0,788	0,992	361,0
229,8	183,90	25,90	185,70	0,808	0,990	586,0
250,3	202,73	30,90	205,00	0,819	0,989	780,0

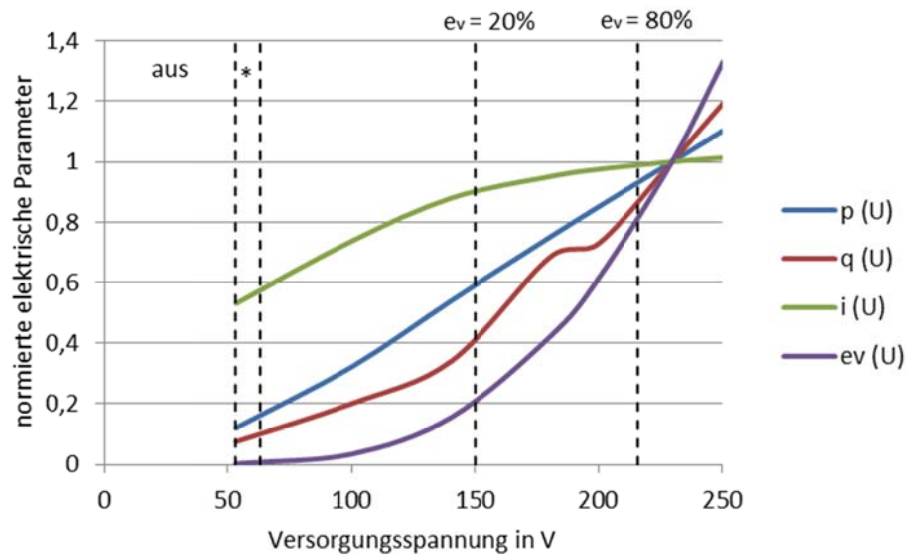


Abbildung 10.34: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Glühlampe Elix 200W

Tabelle 10.35: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Glühlampe Philips 8M, 75W

Glühlampe Philips 8M, 75W						
U	P	Q	S	I	λ	Ev
V	W	var	VA	mA	-	lx
52,1	7,87	0,71	7,91	152	0,995	1,7
101,5	21,34	1,94	21,39	210	0,998	5,8
139,4	34,41	3,16	34,65	248	0,993	20,5
180,9	51,22	4,75	51,38	284	0,997	57,0
199,9	59,56	5,56	59,95	300	0,993	82,5
229,6	73,60	6,93	74,15	322	0,993	137,5
250,3	84,15	7,95	84,72	338	0,993	187,0

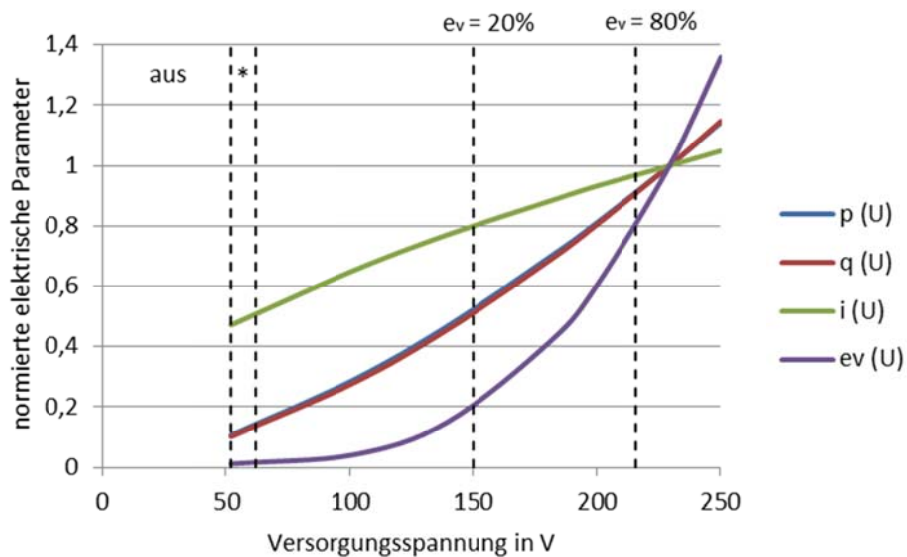


Abbildung 10.35: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Glühlampe Philips 8M, 75W

Tabelle 10.36: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Glühlampe Tugsram 15W

Glühlampe Tugsram 15W						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
55,3	2,14	0,20	2,15	39	0,995	1,6
100,5	4,91	0,46	4,93	49	0,996	1,7
140,5	8,01	0,76	8,05	57	0,995	2,5
180,1	11,58	1,11	11,63	65	0,996	5,9
200,2	13,55	1,31	13,61	68	0,996	8,8
231,8	16,85	1,65	16,93	73	0,995	15,6
251,2	19,01	1,88	19,10	76	0,995	21,2

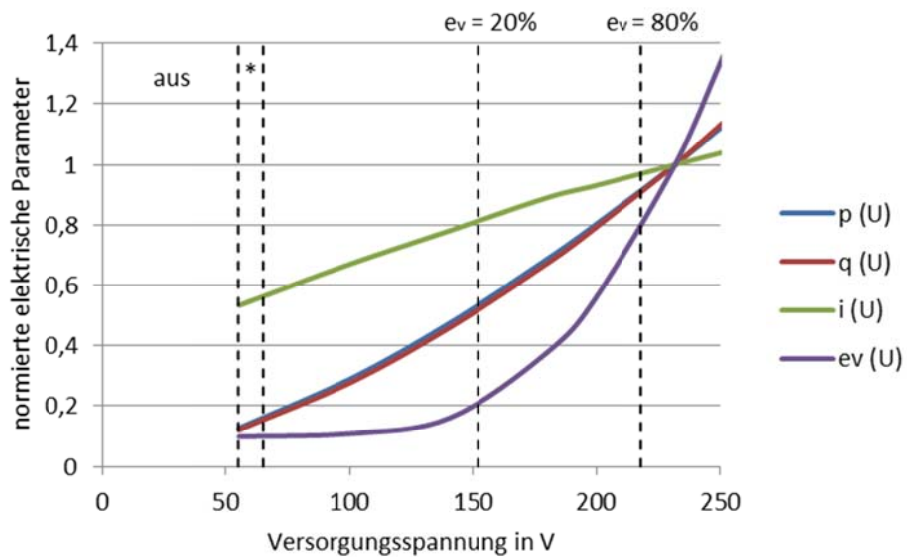


Abbildung 10.36: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Glühlampe Tugsram 15W

Tabelle 10.37: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung einer Halogenstiftlampe 12V, 20W

Halogenstiftlampe 12V,20W						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
74,4	3,70	0,19	3,71	50	0,997	2,5
101,3	6,13	0,26	6,14	61	0,998	3,3
140,2	10,61	0,64	10,63	76	0,998	19,2
160,5	13,30	1,26	13,36	83	0,996	36,4
180,5	16,20	2,45	16,38	91	0,989	64,3
200,8	19,45	4,92	20,06	100	0,970	100,0
229,5	24,91	15,50	29,34	121	0,849	165,0
250,0	30,30	24,60	39,03	150	0,776	226,0

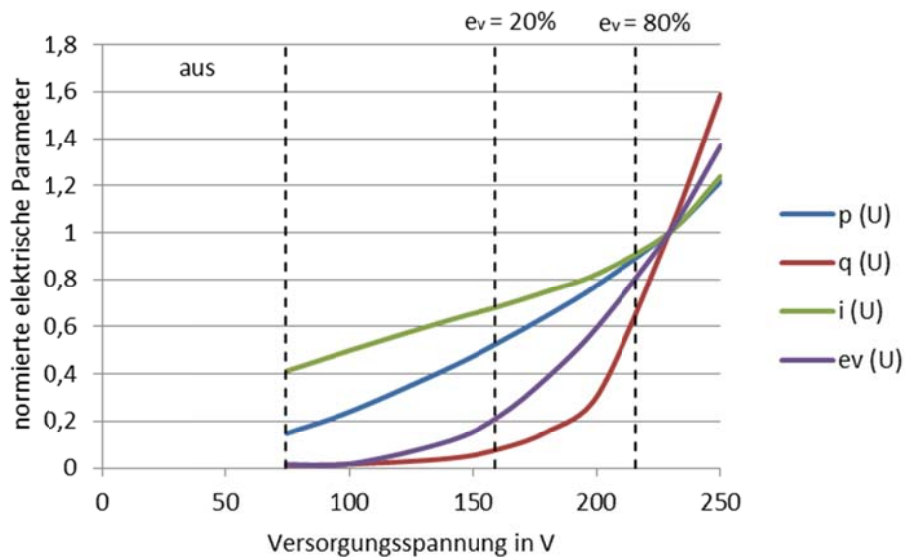


Abbildung 10.37: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Halogenstiftlampe, 12V-20W

Tabelle 10.38: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung des Halogenstrahlers BAB+C, 12V, 20W

Halogenstrahler BAB+C, 12V, 20W						
U	P	Q	S	I	λ	Ev
V	W	var	VA	mA	-	lx
51,6	2,22	0,13	2,23	43	0,996	1,6
100,7	6,39	0,25	6,40	63	0,998	11,7
140,3	10,85	0,65	10,91	78	0,995	64,2
161,2	13,57	1,27	13,60	85	0,998	119,8
200,5	19,46	3,87	19,85	99	0,980	296,0
229,5	24,57	8,38	25,95	113	0,947	494,0
249,4	28,63	14,77	32,17	129	0,890	657,0

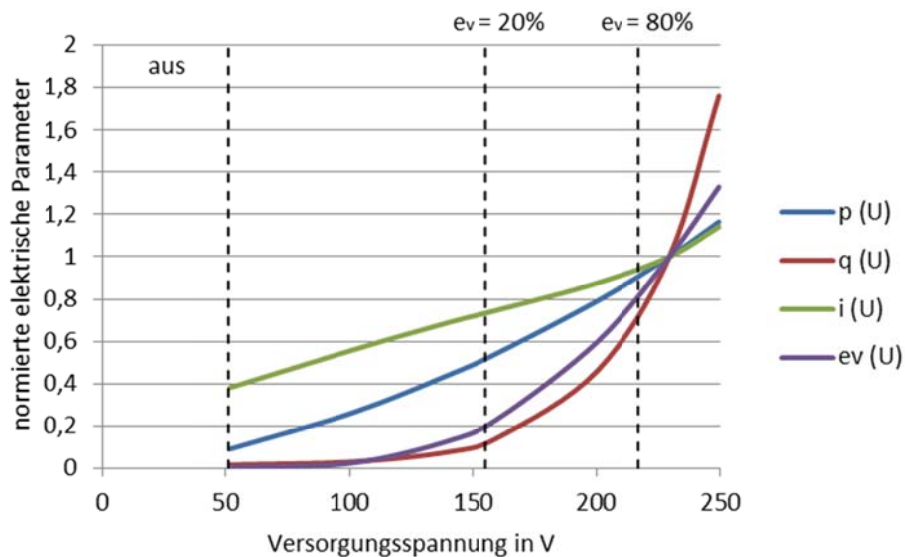


Abbildung 10.38 Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Halogenstrahlers BAB+C, 12V, 20W

Tabelle 10.39: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe DuluxStar 17

Energiesparlampe Osram DuluxStar 17								
U	P	Q	S	I	λ	E_v	THDi	k_i
V	W	var	VA	mA	-	lx	%	%
90,1	5,0	5,3	7,3	81,0	0,689	19	63,37	53,46
99,1	5,6	6,1	8,3	83,5	0,676	24	67,75	56,02
120,6	7,0	8,0	10,6	88,1	0,661	35	74,70	59,79
139,4	8,2	9,6	12,7	90,9	0,650	48	82,62	63,56
160,1	9,5	11,9	15,2	95,1	0,627	60	94,08	68,43
180,9	10,9	13,2	17,1	94,6	0,636	70	94,24	68,38
199,6	12,2	14,4	18,9	94,5	0,645	79	93,39	68,00
229,7	14,3	17,0	22,2	96,8	0,645	94	95,55	68,85
250,3	15,9	19,1	24,9	99,3	0,641	102	98,64	70,08

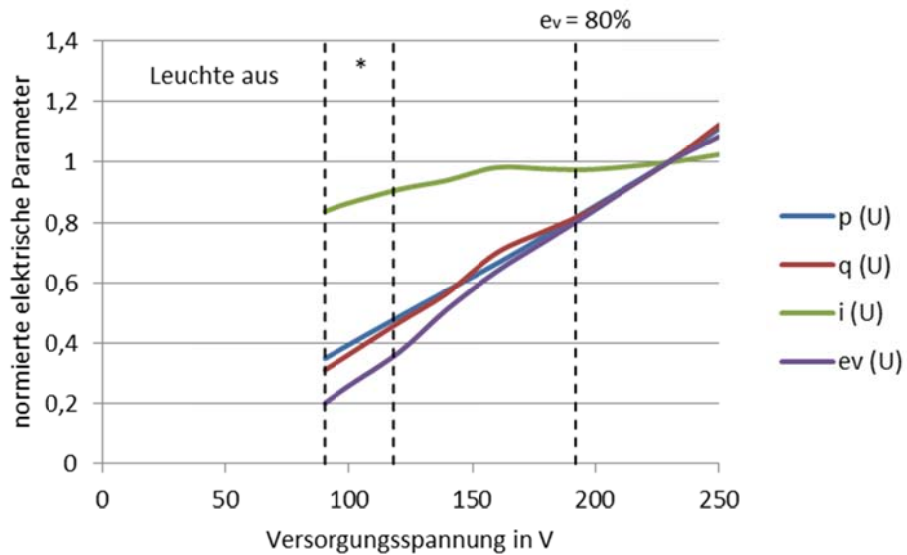


Abbildung 10.39: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Osram DuluxStar 17

Tabelle 10.40: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe DuluxStar 11

Energiesparlampe Osram DuluxStar 11						
U	P	Q	S	I	λ	Ev
V	W	var	VA	A	-	lx
100,5	4,7	6,0	7,6	76,5	0,618	18,0
140,7	6,6	8,9	11,1	79,0	0,595	32,0
161,0	7,4	10,0	12,4	77,3	0,597	37,7
180,4	8,1	10,6	13,3	74,0	0,609	43,0
199,7	8,9	11,4	14,5	72,2	0,614	47,7
231,3	10,5	14,1	17,6	75,6	0,597	54,4
251,0	11,6	16,1	19,8	79,0	0,586	57,5

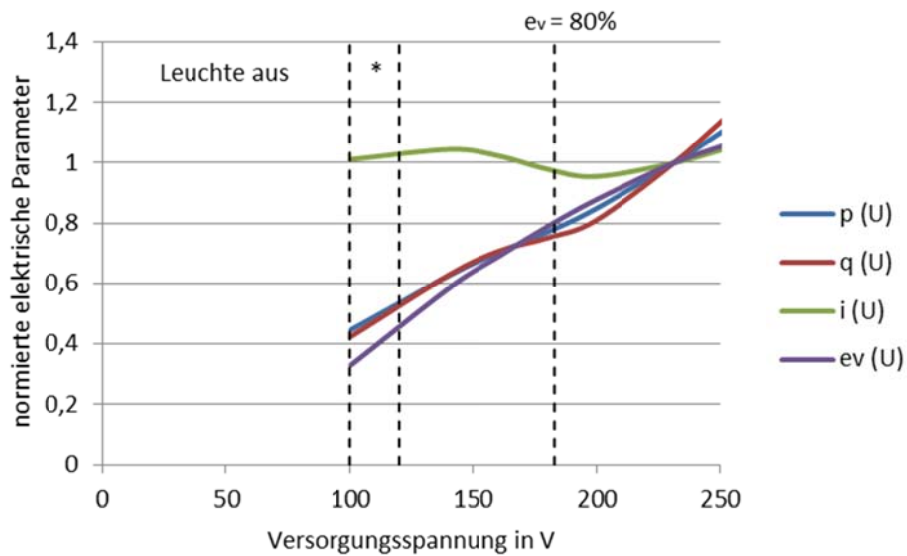


Abbildung 10.40: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Osram DuluxStar 11

Tabelle 10.41: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe Philips Tornado E-Saver 8

Energiesparlampe Philips Tornado E-Saver 8								
U	P	Q	S	I	λ	E_v	THDi	k_i
V	W	var	VA	mA	-	lx	%	%
99,9	3,2	3,7	4,9	49,1	0,657	23	78,11	61,16
120,0	4,1	4,9	6,3	52,8	0,643	39	85,72	64,89
139,9	4,8	6,2	7,8	56,1	0,617	56	96,79	69,22
160,0	5,5	6,9	8,9	55,3	0,625	72	97,09	69,18
180,0	6,2	7,5	9,7	54,0	0,636	85	96,46	69,02
200,1	6,8	8,4	10,8	53,8	0,628	96	101,37	70,91
230,5	7,8	10,4	13,0	56,3	0,598	108	114,45	75,20
250,7	8,6	11,9	14,6	58,3	0,584	122	120,23	76,61

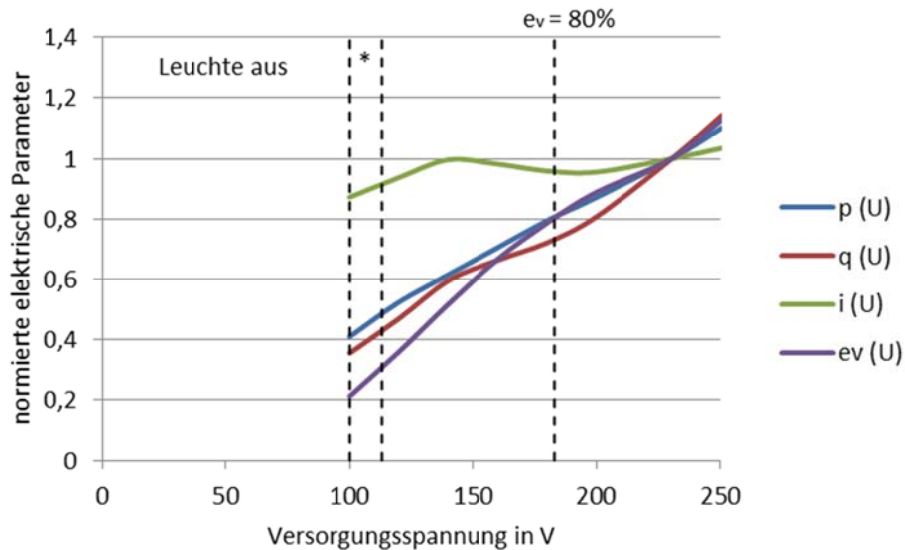


Abbildung 10.41: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Philips Tornado E-Saver 8

Tabelle 10.42: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Energiesparlampe Philips Genie 11

Energiesparlampe Philips Genie 11								
U	P	Q	S	I	λ	E_v	THDi	k_i
V	W	var	VA	mA	-	lx	%	%
70,8	3,2	3,3	4,6	64,6	0,703	18	57,26	49,62
90,0	4,1	4,6	6,2	68,7	0,671	29	68,79	56,56
99,5	4,6	5,3	7,0	70,3	0,657	34	74,97	59,90
120,7	5,6	6,6	8,7	72,0	0,644	44	83,90	64,08
140,3	6,5	8,1	10,4	73,9	0,624	53	95,27	68,78
159,5	7,4	9,0	11,6	72,8	0,636	66	94,45	68,34
179,1	8,4	10,0	13,1	73,0	0,644	76	94,56	68,34
199,2	9,6	11,4	14,9	74,8	0,643	82	96,49	69,12
230,0	11,3	14,2	8,2	79,0	0,621	92	105,56	72,49
251,4	12,4	16,6	20,8	82,6	0,597	100	115,00	75,37

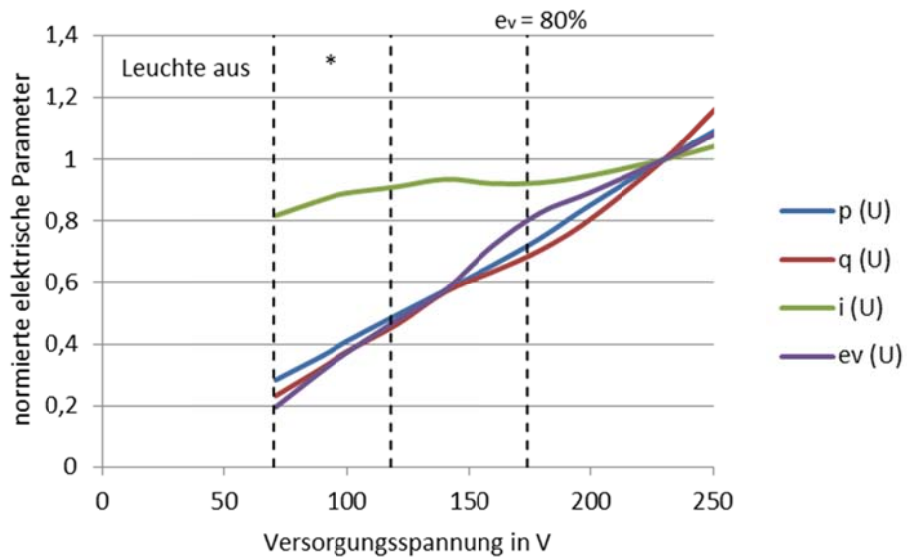


Abbildung 10.42: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Energiesparlampe Philips Genie 11

Tabelle 10.43: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Kompaktleuchtstofflampe TC-SEL 2G7

Kompaktleuchtstofflampe TC-SEL 2G7						
U	P	Q	S	I	λ	Ev
V	W	var	VA	mA	-	lx
113,5	5,1	6,7	8,4	74	0,606	104
140,0	6,7	9,1	11,3	80	0,593	180
160,0	8,0	10,7	13,4	83	0,599	238
179,8	9,2	12,3	15,4	86	0,599	300
199,9	10,5	14,7	18,6	90	0,565	357
230,8	12,6	17,6	21,7	94	0,582	434
249,0	13,7	19,1	23,5	95	0,583	471

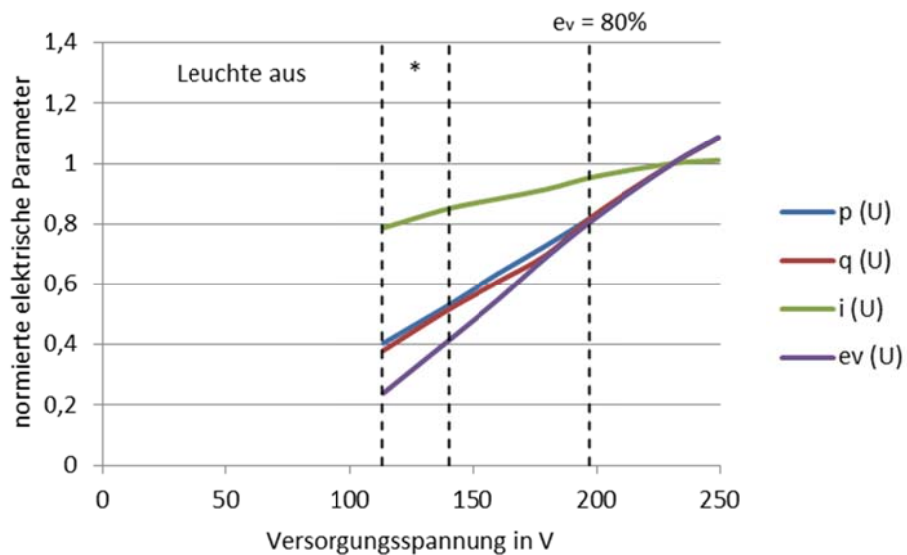


Abbildung 10.43: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Kompaktleuchtstofflampe TC-SEL 2G7

Tabelle 10.44: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Kompaktleuchtstofflampe Philips SL*9

Kompaktleuchtstofflampe Philips SL*9						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
180,4	5,87	6,61	8,84	49	0,664	29,0
199,8	7,82	10,30	12,93	65	0,605	38,0
231,2	12,51	20,94	24,39	106	0,513	49,8
250,8	18,62	36,42	40,90	163	0,455	61,3

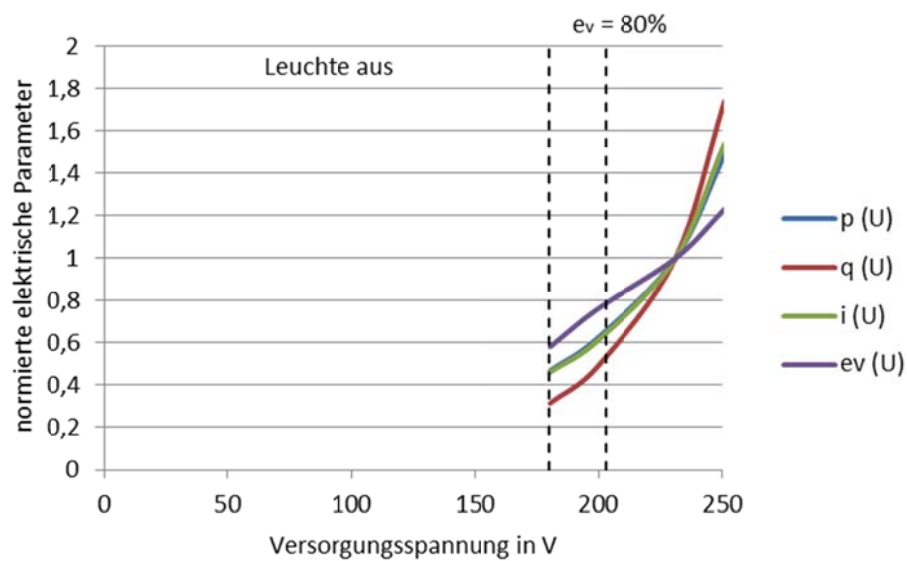


Abbildung 10.44: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Kompaktleuchtstofflampe Philips SL*9

Tabelle 10.45: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Leuchtstoffröhre Osram lumilux L18

Leuchtstoffröhre Osram lumilux L18								
U	P	Q	S	I	λ	E_v	THDi	k_i
V	W	var	VA	mA	-	lx	%	%
100,8	5,2	5,0	7,2	71,2	0,720	92	19,87	19,48
120,0	9,2	11,7	14,9	124,3	0,619	161	12,13	12,05
140,7	12,9	20,4	24,1	171,4	0,535	212	8,98	8,95
159,4	16,1	29,4	33,5	210,2	0,480	252	7,44	7,42
179,5	19,6	40,7	45,2	251,8	0,433	286	6,44	6,43
200,2	23,3	54,2	59,0	294,6	0,394	320	5,89	5,87
230,2	29,3	77,3	82,7	359,1	0,355	364	5,81	5,80
251,5	34,3	97,2	103,1	409,9	0,333	397	6,57	6,56

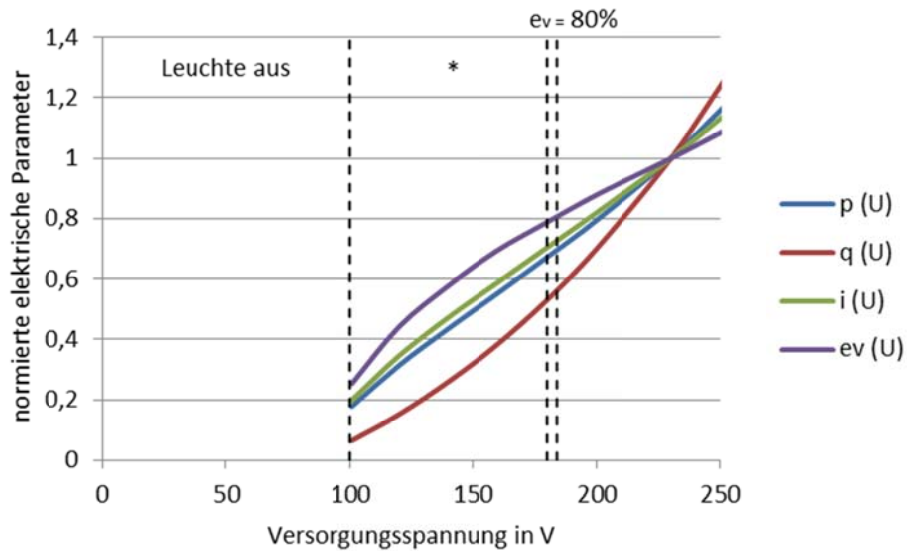


Abbildung 10.45: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Leuchtstoffröhre Osram lumilux L18

Tabelle 10.46: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Leuchtstoffröhre Osram Cool White L18

Leuchtstoffröhre Osram Cool White L18								
U	P	Q	S	I	λ	E_v	THDi	k_i
V	W	var	VA	mA	-	lx	%	%
46,9	1,4	0,3	1,5	31,3	0,979	10	10,97	10,89
59,9	2,2	0,5	2,3	37,6	0,980	18	8,71	8,67
79,2	3,6	0,8	3,7	46,8	0,979	44	9,88	9,82
100,4	5,5	1,2	5,7	56,4	0,977	81	9,91	9,84
119,4	7,6	1,7	7,8	65,0	0,976	117	9,46	9,40
139,9	10,1	2,2	10,3	73,7	0,977	155	8,60	8,57
160,2	12,8	2,9	13,1	81,8	0,975	200	8,89	8,84
180,8	15,7	3,7	16,2	89,4	0,973	242	9,33	9,28
200,6	18,6	4,6	19,2	95,6	0,971	280	9,37	9,32
230,1	20,0	6,4	21,0	91,3	0,952	299	12,10	12,00
250,7	19,9	7,9	21,4	85,3	0,930	292	14,76	14,58

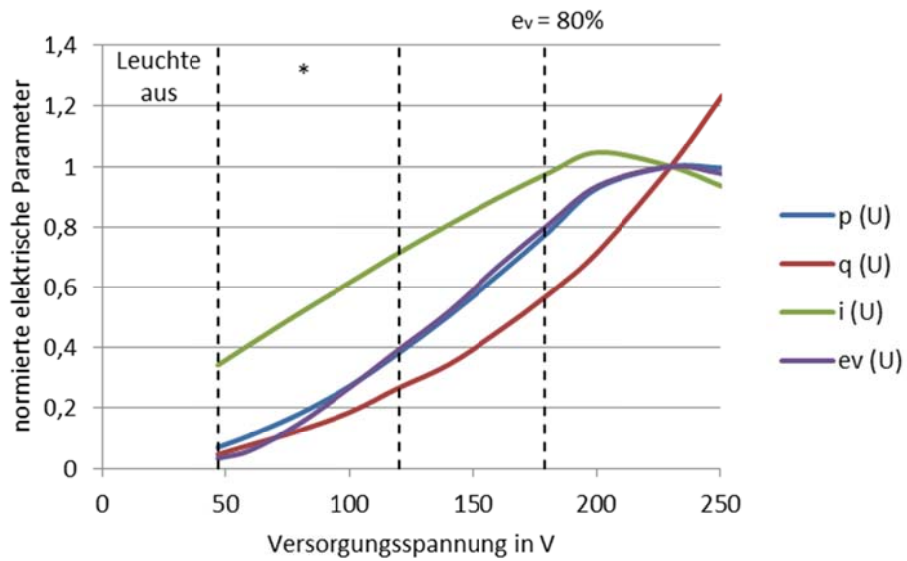


Abbildung 10.46: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Leuchtstoffröhre Osram Cool White L18

Tabelle 10.47: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der LED 7E27 A60-1

LED E27 7W, A60-1						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
50,9	0,57	0,56	0,80	16	0,713	1,64
99,0	0,67	0,96	1,17	12	0,573	8,30
140,6	3,01	3,08	4,30	30	0,700	37,70
181,9	5,26	6,12	8,07	44	0,652	59,80
201,5	5,80	6,86	8,98	45	0,646	64,30
231,2	6,31	7,62	9,89	43	0,638	68,40
251,2	6,60	7,73	10,16	41	0,650	70,30

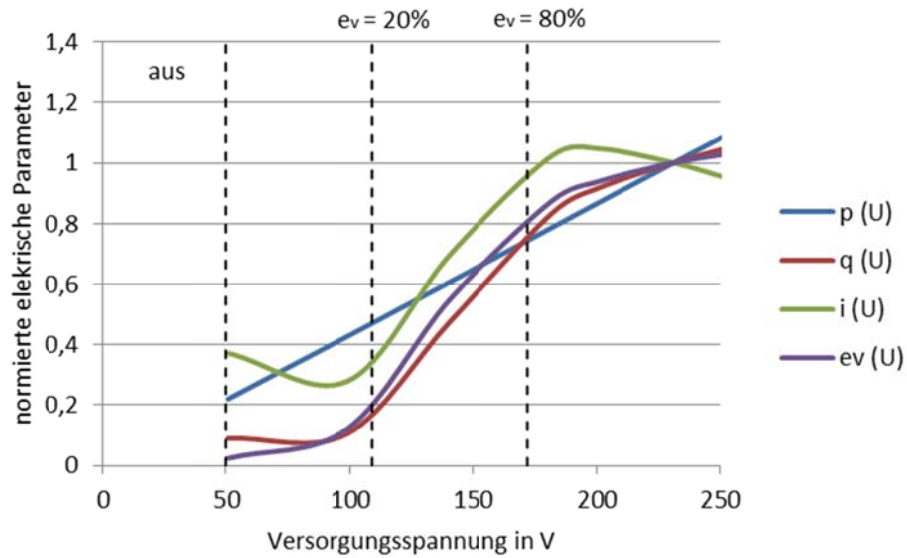


Abbildung 10.47: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der LED 7E27, A60-1

Tabelle 10.48: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der LED-Stiftleuchte Paulmann 1W

Paulmann LED-Stiftleuchte 1W						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
100,8	0,56	0,37	0,67	7	0,836	5,0
139,4	1,51	1,08	1,85	13	0,816	38,6
160,6	2,04	2,16	2,97	19	0,687	46,7
178,7	2,58	3,99	4,45	27	0,580	48,4
199,8	3,48	8,06	8,78	44	0,396	50,7
230,2	6,40	22,06	22,97	101	0,279	53,2
250,2	11,60	42,30	43,86	175	0,264	53,4

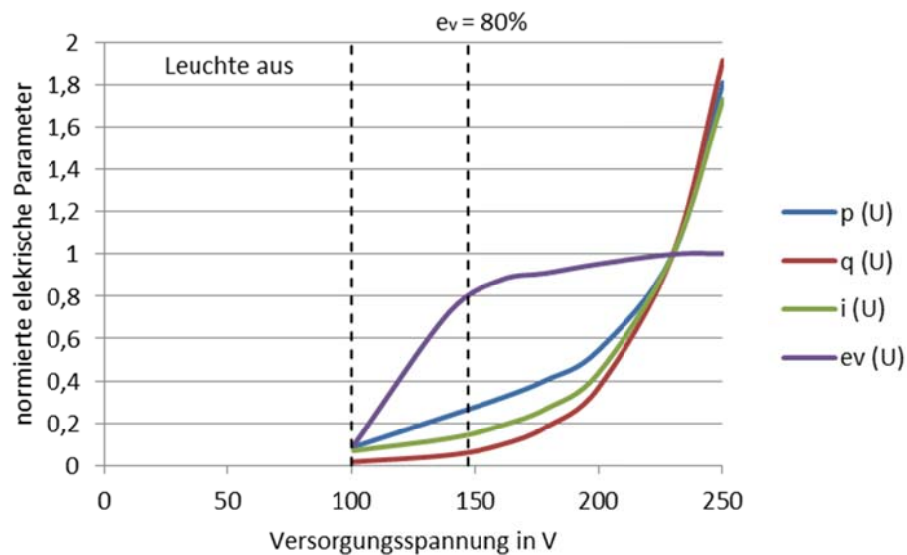


Abbildung 10.48: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Stiftleuchte LED Paulmann 1W

Tabelle 10.49. Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der LED-Dekokette LED-Driver

LED-Kette, LED Driver 12V, 2,4W						
U	P	Q	S	I	λ	Ev
V	W	var	VA	mA	-	lx
21,0	4,5	2,4	5,1	243	0,882	16
50,4	2,9	3,8	4,8	95	0,604	33
101,5	2,8	5,5	6,2	61	0,452	33
141,4	2,9	5,8	6,4	46	0,453	35
161,4	3,0	5,7	6,5	40	0,462	36
181,3	3,0	6,3	7,0	38	0,429	38
200,1	3,0	6,6	7,3	36	0,411	41
231,4	3,1	7,1	7,7	33	0,403	46
250,1	3,1	7,2	7,8	32	0,397	48

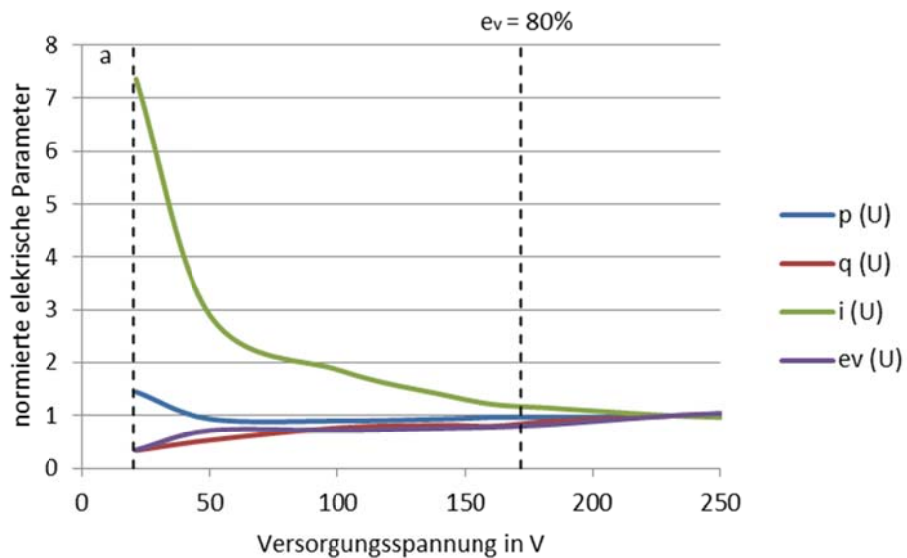


Abbildung 10.49 Verläufe der normierten elektrischen Parameter der LED-Dekokette LED-Driver, a= Leuchte ausgeschaltet

Tabelle 10.50: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Außenleuchte NBS 27W

NBS 27W						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
10,1	2,3	0,5	2,4	233	0,977	25
20,0	7,9	0,9	8,0	386	0,994	104
30,7	15,5	1,7	15,6	510	0,994	203
40,0	24,5	2,7	24,6	611	0,994	308
60,2	30,8	4,0	31,1	516	0,992	388
80,5	29,3	4,7	29,7	369	0,987	386
100,2	28,6	5,4	29,1	290	0,983	384
121,1	28,1	6,2	28,8	238	0,977	383
141,2	27,8	7,2	28,7	203	0,968	381
160,6	27,7	8,2	28,9	180	0,959	379
181,0	27,7	9,4	29,3	162	0,947	379
200,5	27,8	10,8	29,8	148	0,932	379
230,0	28,0	13,0	30,9	134	0,907	378
250,2	28,2	14,6	31,8	127	0,888	377

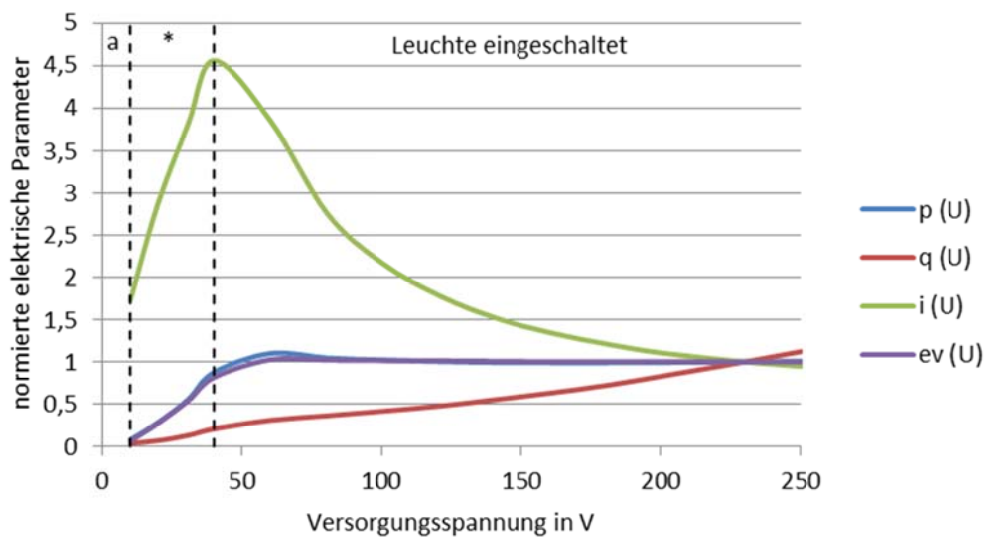


Abbildung 10.50: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Außenleuchte NBS 27W

Tabelle 10.51: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Außenleuchte Philips Indal Luma mini

Philips Indal Luma mini						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
80	14,8	3,5	15,2	191	0,973	656
90	14,9	3,9	15,4	170	0,967	656
100	14,9	4,4	15,5	156	0,959	660
120	15,0	5,6	16,0	132	0,937	659
140	15,0	7,0	16,6	118	0,906	660
160	15,1	8,5	17,3	108	0,871	659
180	15,1	10,2	18,2	101	0,829	656
200	15,1	11,9	19,2	98	0,785	657
230	15,1	15,3	21,5	93	0,702	656
250	14,9	18,5	23,8	95	0,627	657

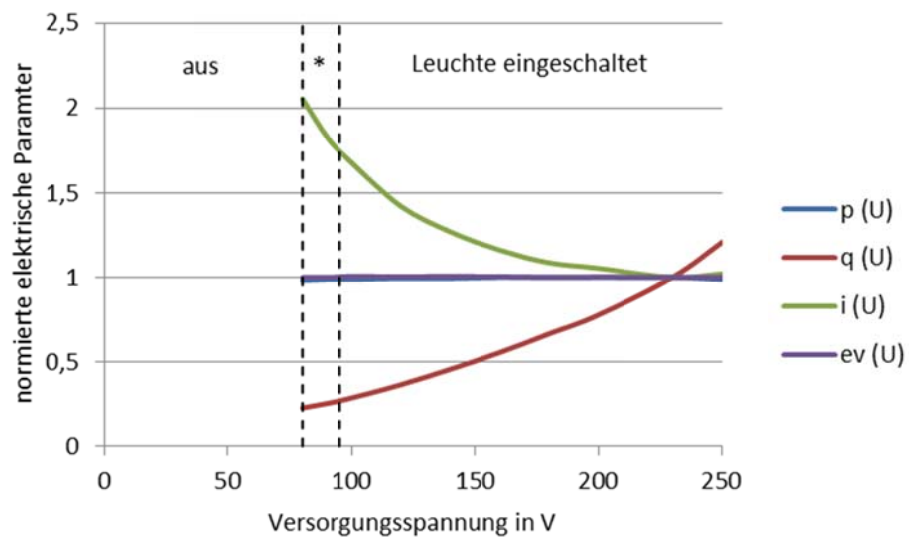


Abbildung 10.51: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Außenleuchte Philips Indal Luma mini

Tabelle 10.52: Messwerte aus der Leistungs- und Beleuchtungsstärkemessung der Außenleuchte Cariboni-Levante Small

Cariboni-Levante Small						
U	P	Q	S	I	λ	E_v
V	W	var	VA	mA	-	lx
99,9	0,0	1,1	1,1	11	-	0,48
120,5	0,0	1,6	1,6	13	-	0,48
140,1	23,7	4,2	24,1	172	0,985	970
159,5	29,0	5,4	29,5	185	0,983	1130
181,0	30,2	6,6	30,9	171	0,977	1163
199,2	30,0	7,4	30,9	155	0,971	1175
229,7	29,8	9,1	31,2	136	0,956	1180
249,9	29,7	10,4	31,5	126	0,944	1180

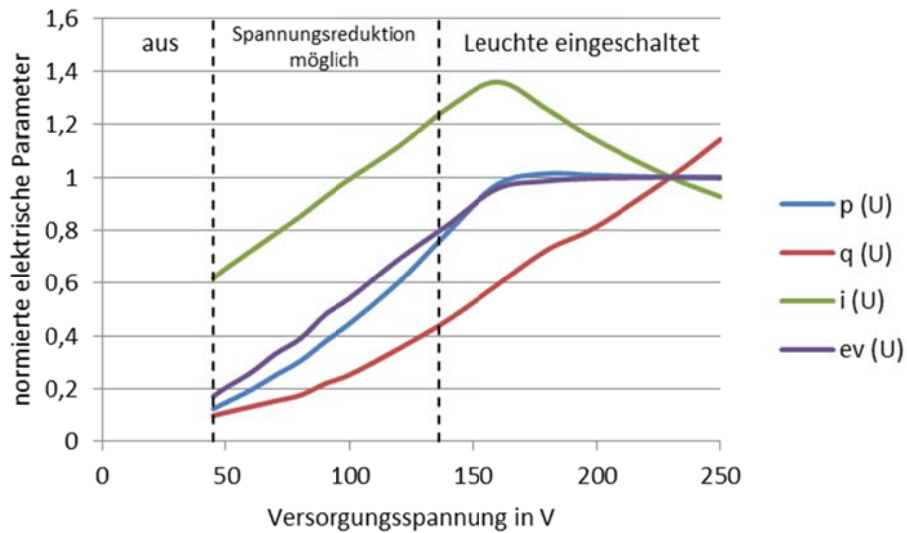


Abbildung 10.52: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Außenleuchte Cariboni Levante-Small

Tabelle 10.53: Messwerte aus der Leistungsmessung des Kochfelds Silva-Homeline

Kochfeld Silva Homeline							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	var	VA	A	-	%	%
maximale Leistungsstufe							
10,4	3,1	0,2	3,1	0,301	0,999	2,43	2,42
48,5	67,7	3,0	67,7	1,398	0,999	2,48	2,48
96,8	269,6	11,3	269,9	2,778	0,999	2,32	2,32
135,2	526,0	21,5	526,4	3,893	0,999	2,15	2,14
171,2	844,1	33,6	844,7	4,935	0,999	2,19	2,19
190,9	1046,3	41,6	1047,1	5,483	0,999	2,06	2,06
216,7	1341,8	53,5	1342,9	6,196	0,999	2,34	2,34
234,4	1525,5	74,9	1527,3	6,527	0,999	3,90	3,89

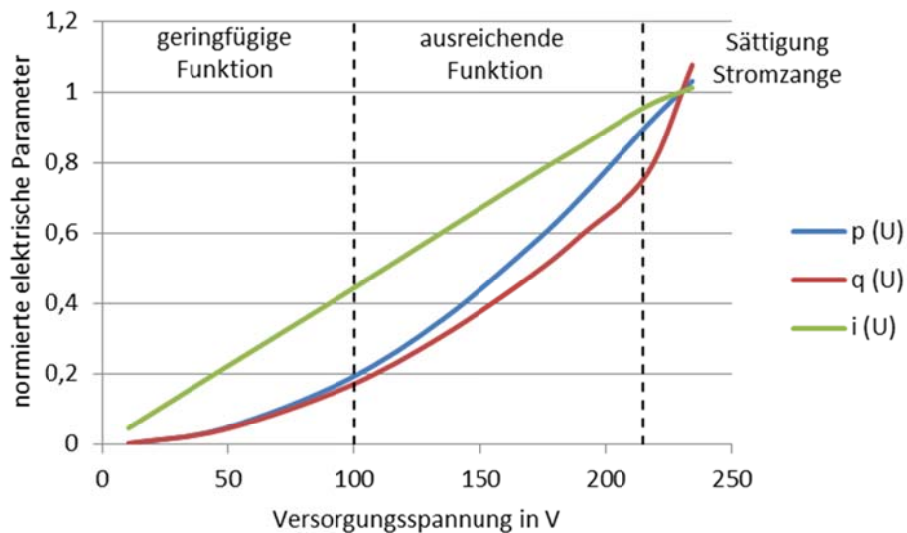


Abbildung 10.53: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Kochfelds Silva-Homeline

Tabelle 10.54: Messwerte aus der Leistungsmessung des Induktionskochfeldes CASO Basic 2002

Induktionskochfeld CASO Basic 2002							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	var	VA	A	-	%	%
maximale Leistung							
154,7	674,2	165,2	694,2	4,483	0,971	6,91	6,90
169,5	1144,2	202,6	1162,0	6,851	0,985	8,20	8,17
187,0	1286,9	245,4	1310,1	7,012	0,982	10,60	10,50
212,8	1494,4	312,7	1526,8	7,180	0,979	13,15	13,04
231,2	1609,8	355,6	1648,6	7,130	0,976	12,34	12,25

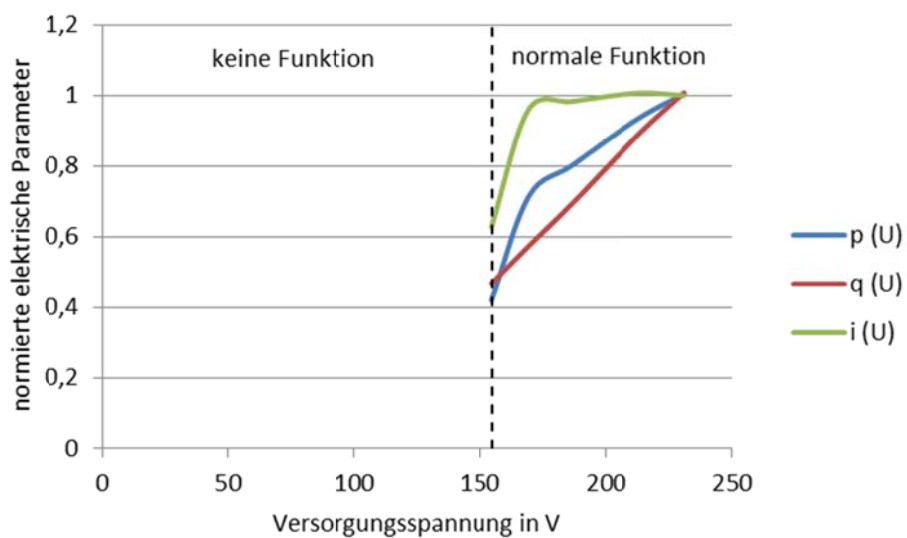


Abbildung 10.54: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Induktionskochfeldes CASO Basic 2002

Tabelle 10.55: Messwerte aus der Leistungsmessung des Induktionskochfeldes Mia Modell no. ikp221

Induktionskochfeld Mia Modell no. ikp221							
U	P	Q	S	I	λ	THDi	k_i
V	W	var	VA	A	-	%	%
maximale Leistung							
151,0	888,1	162,2	902,8	5,964	0,984	4,72	4,72
170,4	1047,8	196,4	1066,0	6,255	0,983	4,78	4,78
174,1	1096,7	204,6	1115,6	6,344	0,983	4,94	4,94
200,1	1211,6	261,2	1239,5	6,189	0,977	5,17	5,16
222,4	1134,7	299,5	1173,6	5,280	0,967	6,18	6,17
230,2	1229,2	319,9	1270,1	5,538	0,968	6,07	6,06

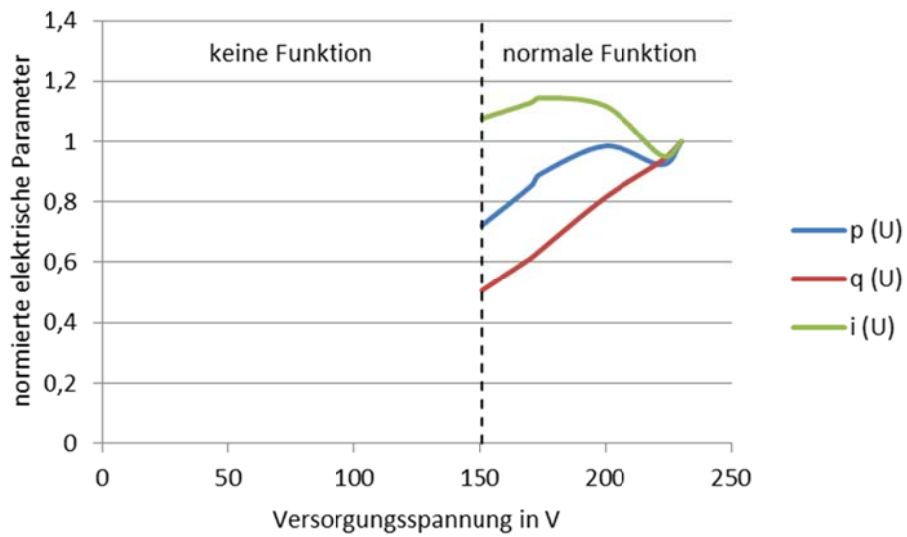


Abbildung 10.55: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Induktionskochfeldes Mia Modell no. ikp221

Tabelle 10.56: Messwerte aus der Leistungsmessung des Heizlüfters Hellner Typ HL 585

Heizlüfter Hellner Typ HL 585								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
nur Lüfter								
100,3	1,7	1,4	2,2	0,022	-	0,773	15,90	15,56
140,0	3,7	3,5	5,1	0,036	-	0,747	18,30	17,94
179,2	7,0	6,5	9,5	0,053	-	0,745	20,29	19,85
230,0	12,3	11,5	16,8	0,073	0,082	0,742	19,73	19,34
251,5	15,1	14,4	20,9	0,083	0,092	0,738	19,22	18,86
Stufe 1								
97,7	189,2	2,7	189,2	1,936	2,020	0,999	1,91	1,91
173,1	583,1	8,3	583,1	3,368	3,600	0,999	1,82	1,82
219,2	919,9	13,7	920,0	4,198	4,570	0,999	2,30	2,29
239,5	1068,0	21,6	1068,5	4,466	4,865	0,999	2,17	2,17
Stufe 2								
50,2	86,6	0,9	86,6	2,070	-	0,999	2,52	2,51
96,3	360,7	3,4	360,7	3,741	3,920	0,999	2,08	2,08
133,2	685,5	6,3	685,5	5,150	5,450	0,999	1,87	1,87
169,0	1094,1	10,0	1094,2	6,471	6,932	0,999	1,82	1,82
212,6	1702,9	16,1	1702,9	8,016	8,590	0,999	1,73	1,73
235,9	2078,3	20,4	2078,4	8,812	8,829	0,999	1,71	1,72

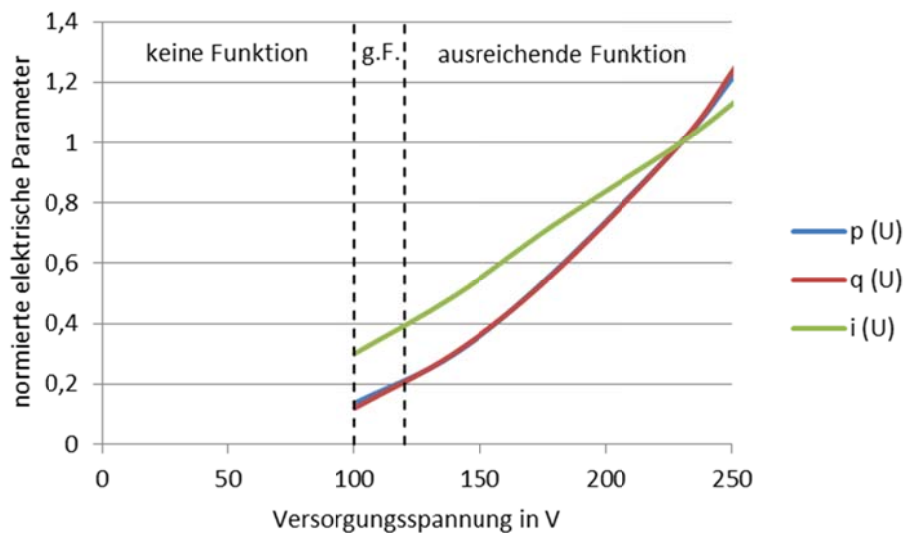


Abbildung 10.56: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Heizlüfters Hellner Typ HL 585 am Beispiel der Stufe 1

Tabelle 10.57: Messwerte aus der Leistungsmessung des Halogen Heizstrahlers Jasun JSNB-120Y4

Halogen Heizstrahler Jasun JSNB-120Y4								
U	P	Q	S	I	I_{max}	λ	THDi	k_i
V	W	var	VA	A	A	-	%	%
maximale Leistung								
48,2	129,8	5,5	129,9	2,697	4,477	0,999	2,43	2,43
96,2	332,4	16,6	332,8	3,46	6,348	0,999	1,71	1,71
133,8	527,5	26,3	528,2	3,946	6,266	0,999	1,84	1,84
171,9	759,7	37,5	760,6	4,421	6,071	0,999	1,68	1,68
199,6	951,9	49,4	953,2	4,837	-	0,999	1,71	1,71
217,3	1072	52,6	1073,3	4,941	5,937	0,999	2,03	2,03
236,8	1214,9	50,2	1215,9	5,133	6,774	0,999	2,15	2,15

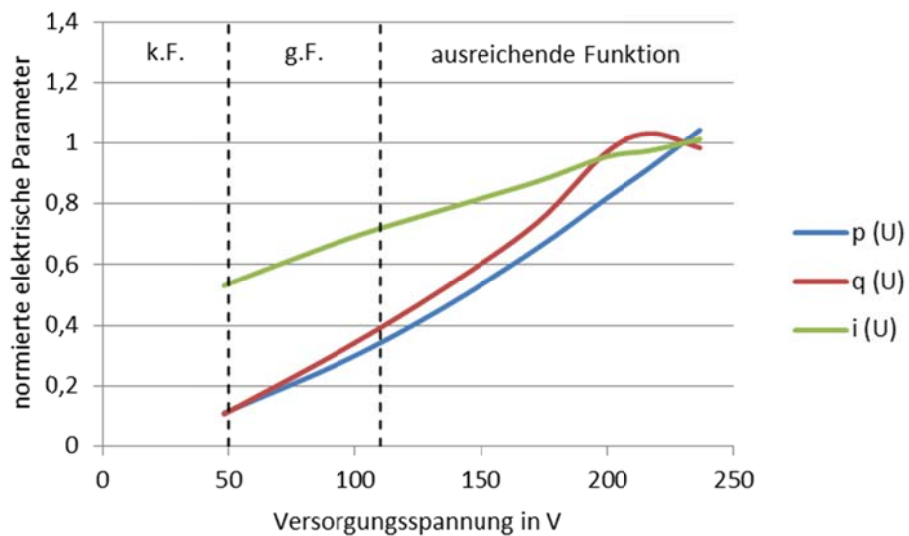


Abbildung 10.57: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Halogen Heizstrahler Jasun JSNB-1204

Tabelle 10.58: Messwerte aus der Leistungsmessung der Klimaanlage Arigel AG 70

Klimaanlage AriGel AG 70							
U	P	Q	S	I	λ	THD _i	k _i
V	W	Var	VA	A	-	%	%
eingestellte Temperatur 18°, Umgebungstemperatur 25°							
135,5	854,0	383,1	936,4	6,908	0,921	12,94	12,84
149,8	705,9	111,8	715,8	4,772	0,993	7,99	7,96
160,4	675,1	91,1	681,3	4,247	0,997	10,57	10,53
170,7	663,1	85,9	669,4	3,918	0,999	11,65	11,67
179,2	655,7	90,8	661,3	3,695	0,999	12,01	11,92
187,8	656,6	91,0	662,2	3,529	0,999	12,68	12,56
199,2	663,4	96,4	669,8	3,365	0,999	13,47	13,34
222,8	700,5	133,0	712,7	3,2	0,994	14,92	14,74

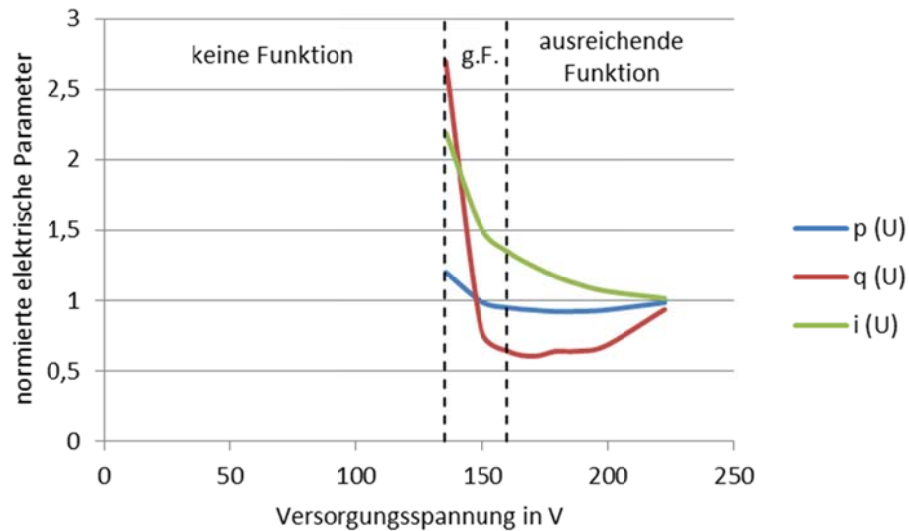


Abbildung 10.58: Verläufe der normierten elektrischen Parameter der Klimaanlage Arigel AG 70, *= geringe Funktion

Tabelle 10.59: Messwerte aus der Leistungsmessung des Ventilators Honeywell kaz HT-112E

Ventilator Honeywell kaz HT-112E (FT30-6HY)								
U	P	Q	S	I	I _{max}	λ	THDi	k _i
V	W	var	VA	mA	mA	-	%	%
Geschwindigkeitsstufe 1								
49,5	1,72	0,31	1,72	34,8	-	0,988	7,34	7,31
99,6	6,70	1,21	6,80	68,5	-	0,986	6,41	6,39
139,6	12,86	2,42	13,09	93,7	97	0,985	6,87	6,85
181,6	20,68	4,33	21,13	116,3	124	0,980	6,87	6,85
232,0	29,64	6,84	30,42	131,3	157	0,977	7,78	7,75
Geschwindigkeitsstufe 2								
49,5	1,98	0,24	2,00	40,4	-	0,995	5,38	5,36
99,5	7,76	0,91	7,82	78,6	-	0,994	5,13	5,12
139,4	14,67	1,87	14,79	106,1	109	0,993	5,38	5,38
181,7	22,54	3,22	22,80	125,6	135	0,990	6,01	6,00
230,8	31,77	4,33	32,08	138,7	152	0,992	7,33	7,30
Geschwindigkeitsstufe 3								
49,5	2,54	0,24	2,55	51,5	-	0,997	2,01	2,00
99,4	9,70	0,77	9,73	98,0	-	0,997	2,20	2,20
139,4	17,36	1,12	17,4	124,8	135	0,998	2,16	2,16
181,5	24,98	2,31	25,09	138,2	158	0,996	2,88	2,88
231,9	37,15	6,80	37,67	162,5	152	0,987	4,04	4,04

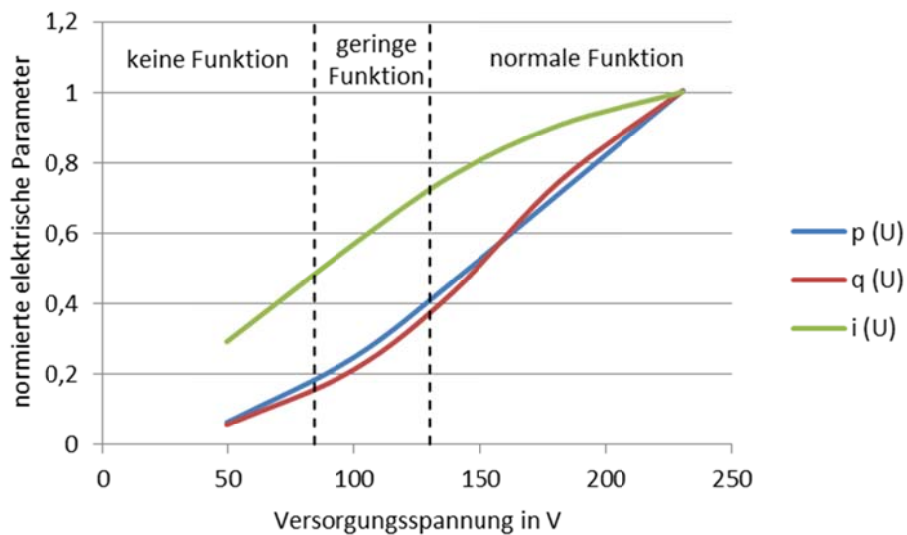


Abbildung 10.59: Verläufe der normierten elektrischen Parameter des Ventilators Honeywell kaz-HT112E am Beispiel der Geschwindigkeitsstufe 2